Autószerelő

Gépjármű-szerkezettan, járművillamosság, diagnosztika és javítási gyakorlat önálló tanuláshoz – a belső égésű motortól a nagyfeszültségű hibrid és elektromos hajtásig

Gellai István

2026

Tartalomjegyzék

Impresszum **8**

I. RÉSZ – Útmutató, munkabiztonság és közlekedési alapok **9**

1 Olvasói útmutató **10**
1.1 A könyv használata és a szakma követelménytérképe 10
1.2 Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés 18
1.3 Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai 27

2 Munka-, tűz- és környezetvédelem a járműjavító műhelyben **35**
2.1 Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök 35
2.2 Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő 45
2.3 Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben 55
2.4 Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben 67

3 Közlekedési alapismeretek **78**
3.1 A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság 78
3.2 A közúti, vasúti, vízi és légi közlekedés technikája 85
3.3 Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai 95

II. RÉSZ – Műszaki rajz, mechanika és menetdinamika **106**

4 Műszaki rajz **107**
4.1 Rajzi alapok, síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás 107
4.2 Metszetek és szelvények 117
4.3 Méretmegadás, felületi érdesség, tűrések és illesztések 125
4.4 Jelképes ábrázolások: menetek, fogazatok, csapágyak, rugók, kötések 135
4.5 Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása 143

5 Mechanika **153**
5.1 Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók 153
5.2 Szilárdságtan I: feszültség, Hooke-törvény, húzás, nyomás és nyírás 164
5.3 Szilárdságtan II: hajlítás, csavarás, összetett igénybevétel és kifáradás 173
5.4 Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia 182

6 A járművek menetdinamikája **193**
6.1 Menetellenállások és teljesítményszükséglet 193
6.2 Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás 204
6.3 Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség 215

III. RÉSZ – Anyagismeret, gyártástechnológia, megmunkálás és gépelemek **224**

7 Anyagismeret **225**
7.1 Anyagtani alapfogalmak, fémtan és a vas–szén diagram 225
7.2 Acélok, öntöttvasak és jelölésük; könnyű- és színesfémek 235
7.3 Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok 245

8 Gyártás- és felújítási technológiák **254**
8.1 Öntészet, melegalakítás és hőkezelések . . . 254
8.2 Hidegalakítás és forgácsolás . . . 262
8.3 Kötések: hegesztés, forrasztás és ragasztás . . . 272
8.4 Felújítási technológiák . . . 282
8.5 Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok . . . 290

9 Kézi és gépi megmunkálás, mérés és szerelés a tanműhelyben **300**
9.1 Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek . . . 300
9.2 Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás 311
9.3 Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás . . . 324
9.4 Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések . . . 335

10 Gépelemek **347**
10.1 Kötőgépelemek: csavarok, szegecsek, csapszegek, reteszek és biztosítások . . . 347
10.2 Tengelyek és csapágyazások . . . 357
10.3 Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten . . . 369
10.4 Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok . . . 378
10.5 Rugók, lengéscsillapítók, csövek és csőszerelvények . . . 386

IV. RÉSZ – Elektrotechnika, elektronika és villamos mérések **399**

11 Villamos alapfogalmak és egyenáramú hálózatok **400**
11.1 Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok . . . 400
11.2 Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás . . . 410
11.3 Generátorok, belső ellenállás és a szuperpozíció . . . 423
11.4 Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió . . . 434

12 Villamos és mágneses tér **443**
12.1 Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó . . . 443
12.2 Mágneses tér, mágneses kör és erőhatások . . . 453
12.3 Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció . . . 463

13 Váltakozó áram, transzformátor, háromfázisú rendszer és villamos gépek **471**
13.1 Váltakozó áram, reaktanciák, RLC-körök és teljesítmény . . . 471
13.2 A transzformátor és a háromfázisú rendszer . . . 483
13.3 Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok . 494

14 Elektronika **504**
14.1 Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók . . . 504
14.2 Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika . . . 514
14.3 Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger . . . 524
14.4 Digitális alapok: számrendszerek, logikai függvények, hálózatok, regiszterek . . . 533

15 Villamos mérések **545**
15.1 Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó . . . 545
15.2 Egyenáramú alapmérések . . . 560
15.3 Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata . . . 572

V. RÉSZ – Belső égésű motorok **584**

16 Motorelmélet **585**
16.1 Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata . . . 585
16.2 Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás . . . 595
16.3 Égés, kopogás és jelleggörbék . . . 604
16.4 Kétütemű Otto-motorok . . . 614
16.5 A dízelmotor működése és keverékképzése . . . 623

17 Motorszerkezet **633**
17.1 A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd . . . 633
17.2 Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés . . . 644
17.3 Hengertömb, hengerfej, hengerfejtömítés, égéstér, szívó- és kipufogórendszer . . . 654
17.4 A töltéscsere vezérlése: vezérlési diagram, szelepek, szelephézag, hidraulikus szelepemelők . . . 663
17.5 Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje . . . 673
17.6 Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés 684

18 Motorok hűtése és kenése **694**
18.1 A motor hűtése . . . 694
18.2 A motor kenése, olajszűrés, olajhűtés és a levegő- és tüzelőanyag-szűrők . . . 703

19 Otto-motorok tüzelőanyag-ellátása és keverékképzése **715**
19.1 Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken) 715
19.2 Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek . . . 724
19.3 Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok . . . 734

20 Dízelmotorok tüzelőanyag-ellátása **746**
20.1 A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók . . . 746
20.2 Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés . . . 757

21 Kipufogógáz, utókezelés és környezetvédelem **769**
21.1 A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés . . . 769
21.2 Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás . . . 777
21.3 Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő 787
21.4 Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok . . . 799

VI. RÉSZ – Erőátvitel, futómű, kormányzás és fékrendszerek **810**

22 Tengelykapcsolók és nyomatékváltók **811**
22.1 Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus . . . 811
22.2 Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet . . . 822
22.3 Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó . . . 835
22.4 Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók . . . 846

23 Kardánhajtás, kiegyenlítőmű és összkerékhajtás **855**
23.1 Kardánhajtás, csuklók és féltengelyek . . . 855
23.2 Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak . . . 865
23.3 Összkerékhajtás . . . 875

24 Futómű, kerekek és karosszéria **885**
24.1 Rugózás és lengéscsillapítás . . . 885

24.2 Kerékfelfüggesztések . . . 896
24.3 Kerekek és gumiabroncsok . . . 906
24.4 Alváz, önhordó karosszéria, aktív és passzív biztonság . . . 916

25 Kormányzás **926**
25.1 Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők . . . 926
25.2 Kormányművek és kormányrudazat . . . 934
25.3 Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás . . . 943

26 Fékrendszerek **953**
26.1 A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások . . . 953
26.2 A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék 961
26.3 Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás . . . 970
26.4 Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA . . . 979
26.5 Rögzítőfékek és tartós lassító fékek . . . 989
26.6 Légfékek és pótkocsifékek . . . 997

VII. RÉSZ – Gépjármű-villamosság és -elektronika **1008**

27 A gépjármű villamos hálózata **1009**
27.1 A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz . . . 1009
27.2 Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek . . . 1019
27.3 Elektronikai elemek a gépjármű villamos hálózatában . . . 1030

28 Villamosenergia-ellátás **1040**
28.1 Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés . . . 1040
28.2 A generátor . . . 1050
28.3 Feszültségszabályozás és energiamenedzsment . . . 1059

29 Indítás és gyújtás **1069**
29.1 Indítómotorok . . . 1069
29.2 Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig . . . 1079
29.3 Dízelmotorok indítási segédberendezései . . . 1092

30 Világítás, komfort- és biztonsági elektronika, klíma **1101**
30.1 Fénytechnika és világítóberendezések . . . 1101
30.2 Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés . . . 1112
30.3 Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés . . . 1122
30.4 Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő . . . 1131

31 Elektronikus motorirányítás **1142**
31.1 A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek . . . 1142
31.2 Érzékelők és jeladók . . . 1153
31.3 Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep . . . 1164

32 Adatbuszok és vezetőtámogató rendszerek **1177**
32.1 Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet . . . 1177
32.2 Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája . . . 1186
32.3 Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk . . . 1198

VIII. RÉSZ – Hibrid és elektromos járművek **1207**

33 Hibrid és elektromos hajtás **1208**
33.1 Hibrid és elektromos hajtások áttekintése 1208
33.2 A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) 1219
33.3 Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment 1229
33.4 Töltés: AC és DC töltés, töltőcsatlakozók, töltési módok 1240

34 Nagyfeszültségű rendszerek biztonsága **1251**
34.1 HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés 1251
34.2 Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése 1262
34.3 Mérések a HV-rendszeren: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés 1272
34.4 Sérült HV-jármű és -akkumulátor: mentés, tűz, szállítás, tárolás és újrahasznosítás 1281

IX. RÉSZ – Járműkarbantartás, hatósági vizsgálat és diagnosztika **1291**

35 Járműkarbantartás és dokumentáció **1292**
35.1 Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok 1292
35.2 Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések 1301
35.3 Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása 1312
35.4 Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása 1323

36 Hatósági műszaki vizsga **1332**
36.1 A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga 1332
36.2 Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj 1339
36.3 Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára 1350

37 Motordiagnosztika **1359**
37.1 Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata 1359
37.2 Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD 1369
37.3 Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás . . 1377
37.4 Gázelemzés és füstölésmérés 1387
37.5 Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC 1397
37.6 Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája . 1405

38 Futómű- és fékdiagnosztika **1415**
38.1 Futóműbemérés 1415
38.2 Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás 1426
38.3 Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata 1435
38.4 Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája 1446

39 Villamos diagnosztika **1456**
39.1 Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája 1456
39.2 Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika 1465
39.3 Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal 1473
39.4 Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram 1483

X. RÉSZ – Szerelési gyakorlat **1492**

40 Motorjavítás **1493**
40.1 A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése 1493
40.2 Hengerfej, szelepek és a vezérlés javítása 1503
40.3 A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása 1513

41 Erőátvitel, futómű, kormány, fék és kerék szerelése **1524**
41.1 Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere 1524
41.2 Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése 1535
41.3 Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű 1546
41.4 Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB 1559
41.5 Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban 1573

42 Elektromos berendezések szerelése **1582**
42.1 Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése 1582
42.2 Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS . . 1593

XI. RÉSZ – Kapcsolódó szakképesítések, foglalkoztatás, vállalkozás és vizsgafelkészülés **1604**

43 Kerékpárszerelés **1605**
43.1 Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű 1605
43.2 Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása 1618

44 Gépkezelő és emelőgépkezelő ismeretek **1630**
44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás 1630
44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat 1639

45 Foglalkoztatás, vállalkozás és ügyfélkapcsolat **1652**
45.1 Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése 1652
45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv 1659
45.3 Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok 1667
45.4 Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben . 1677

46 Vizsgafelkészülés **1688**
46.1 Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok 1688
46.2 Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok 1696
46.3 Próbavizsga és önértékelés 1704

Függelékek **1715**
Fogalomtár (magyar–angol) 1715
Képlet-, adat- és jelölésgyűjtemény 1720
Kompetenciatérkép és tanulási útvonal 1722
Bibliográfia és forráskulcsok 1752

Impresszum

- **Szerző:** Gellai István
- **Szerkesztő:** Gellai István
- **Kiadó:** Tananyag Simple
- **Kiadás:** 0.1.0 – 2026
- **Licenc:** MIT
- **Forráskód:** nincs futtatandó kód; a számítások, kapcsolási rajzok és javítási útmutatók a fejezetekben, az interaktív ábrák a figures/ mappában

I. RÉSZ – Útmutató, munkabiztonság és közlekedési alapok

1 Olvasói útmutató

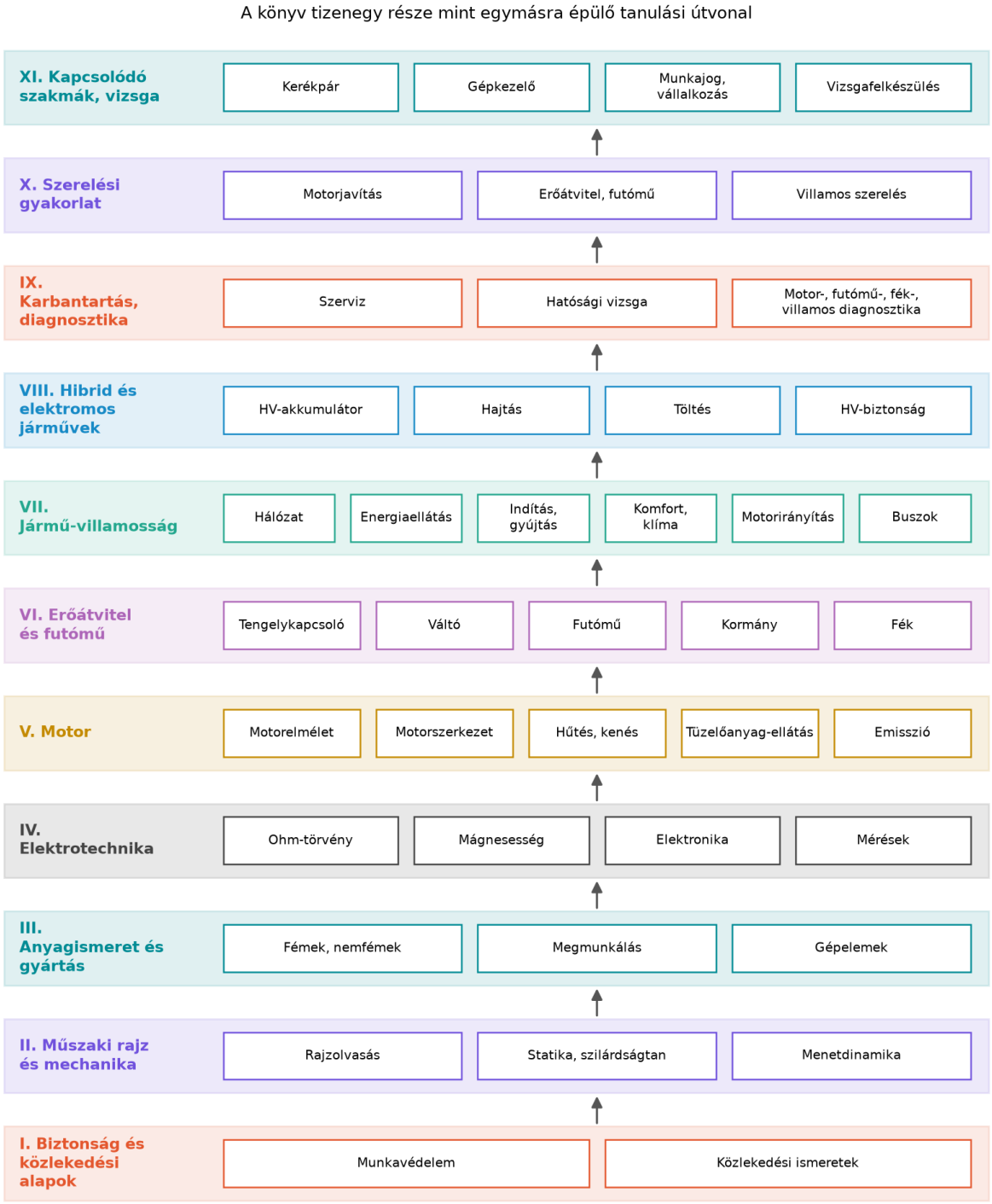
1.1. A könyv használata és a szakma követelménytérképe

1.1.1. Miért éppen így tanulod?

Képzeld el, hogy belépsz egy autószervizbe: az egyik állásban egy turbómotoros autó hibakódját olvassák ki, a másikban féktárcsát cserélnek, a harmadikban hibrid jármű nagyfeszültségű rendszerét készítik elő javításra. Az autószerelőnek mindezt értenie kell: nem elég különálló mondatokat megtanulni, a rendszerek összefüggnek. Ez a könyv azért készült, hogy ezt az összefüggő tudást az alapoktól felépítve, önállóan is elsajátítsd.

1.1.2. A könyv felépítése egy pillantásra

A könyv tizenegy fő részre tagolódik, amelyek alulról felfelé épülnek. Az alábbi rétegábra mutatja a tanulási útvonalat: a biztonsági és közlekedési alapokra épül a műszaki rajz és mechanika, arra az anyagismeret, majd az elektrotechnika. Csak ezek után következik a belső égésű motor, az erőátvitel és futómű, a gépjármű-villamosság, a hibrid és elektromos hajtás. A felső szinteken a karbantartás, a diagnosztika, a szerelési gyakorlat és a vizsgafelkészülés található.



1.1. ábra. A könyv tizenegy része mint egymásra épülő tanulási útvonal - A rétegek alulról felfelé épülnek; a szilárd alapok nélkül a felsőbb szintek nem érthetők. Az ábra szemléltető, nem jogi kategória.

Az ábra lényege: a felsőbb szintek ismeretei mindig visszautalnak az alsóbbakra. Például a fékdiagnosztika (IX. rész) feltételezi a fékek felépítésének ismeretét (VI. rész), a motorirányítás (VII. rész) pedig az elektrotechnikát (IV. rész). Ha egy felső szinten elakadsz, általában érdemes visszalépned az alatta lévő rétegre.

1.1.3. A szakma és a kerettanterv

Definíció. (Autószerelő) – Az autószerelő olyan szakember, aki a közúti gépjárművek – elsősorban az M és N kategóriájú járművek – szerkezetét, villamos és elektronikus rendszereit karbantartja, javítja, diagnosztizálja, és a járműveket hatósági műszaki vizsgára felkészíti. Tevékenységéhez gépelemek, anyagismeret, mechanika, elektrotechnika, elektronika, járműdiagnosztika és biztonsági előírások ismerete szükséges.

Definíció. (Kompetenciatérkép) – A kompetenciatérkép a szakmai követelmények (kerettantervi tantárgyak, képzési kimeneti követelmények) és a tananyag (a könyv részei, alfejezetei) közötti kapcsolatot mutatja be. Célja, hogy a tanuló mindig tudja, miért tanulja az adott témát, és hol fogja használni a műhelyben.

A főbb munkaterületek:

- karbantartás és időszakos szerviz;
- mechanikai és villamos hibakeresés, diagnosztika;
- alkatrészcsere, felújítás és szerelés;
- hatósági műszaki vizsgára való felkészítés;
- elektronikus rendszerek (ABS, ESP, légzsák, ADAS) ellenőrzése és javítása;
- hibrid és elektromos járművek nagyfeszültségű rendszereinek biztonságos előkészítése.

A szomszédos szakmák határait is ismerni kell: az autóelektronikai műszerész a jármű elektronikájára, a karosszérialakatos a váz- és felépítmény-szerkezetre, a kocsivizsgáló a hatósági vizsgálati folyamatra specializálódik. Az autószerelő ezekkel együttműködik, de a külön képesítést vagy jogosultságot igénylő munkákat csak a megfelelő képesítéssel végezheti (pl. HV-rendszeren végzett munka a HV-jogosultsági szint szerint, a klíma-hűtőközeg kezelése F-gáz képesítéssel, a légzsákegység kezelése a gyártói előírás szerint; ellenőrizendő: a hazai jogosultsági követelmények). Feszültség alatti HV-munkát a könyv nem tanít.

A kerettanterv a szakmai képzés tantárgyi szerkezetét írja elő. Itt a könyv tizenegy részét feleltetjük meg a jellemző tantárgyi területeknek. A pontos tantárgynevek és a hivatalos tantervi beosztás időközben változhat; ezért a táblázat tanulást segítő, nem jogi kategória.

Tantárgyi terület (kerettanterv)	Könyv része	Főbb alfejezet-csoportok	Műhelyi hasznosulás
Munkavédelem, környezetvédelem	I.	2.1–2.4	Biztonságos munkavégzés, veszélyes anyagok kezelése
Közlekedési ismeretek	I.	3.1–3.3	Járműkategóriák, közlekedésbiztonság, a jármű mint közlekedési eszköz
Műszaki rajz, mechanika	II.	4.1–6.3	Rajzolvasás, erő- és teljesítményszámítások
Anyagismeret, gyártás, gépelemek	III.	7.1–10.5	Anyagválasztás, kötések, csapágyak, megmunkálás
Elektrotechnika, elektronika, mérés	IV.	11.1–15.3	Áramkör-elemzés, műszerezés, félvezetők

Tantárgyi terület (kerettanterv)	Könyv része	Főbb alfejezet-csoportok	Műhelyi hasznosulás
Belső égésű motorok	V.	16.1–21.4	Motordiagnosztika, tüzelőanyag-ellátás, emisszió
Erőátvitel, futómű, fék, kormány	VI.	22.1–26.6	Hajtáslánc, futómű, fékjavítás, ABS/ESP
Gépjármű-villamosság és -elektronika	VII.	27.1–32.3	Fedélzeti hálózat, motorirányítás, buszdiagnosztika
Hibrid/elektromos hajtás	VIII.	33.1–34.4	HV-biztonság, feszültségmentesítés
Diagnosztika, karbantartás, hatósági vizsga	IX.	35.1–39.4	OBD, gázelemzés, fékvizsgálat, villamos hibakeresés
Szerelési gyakorlat	X.	40.1–42.2	Munkalapok, szerelési eljárások
Kapcsolódó szakképesítések, vizsga	XI.	43.1–46.3	Kerékpárszerelés, gépkezelő, vállalkozás, vizsgafelkészülés

A táblázat csoportosítás; a kerettanterv tantárgyainak és témaköreinek alfejezetszintű megfeleltetését a Kompetenciatérkép függelék tartalmazza. Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a hatályos kerettanterv és képzési kimeneti követelmények tantárgystruktúrája). A régi OKJ-szám (54 525 02) és a Szakképzés 4.0 rendszer szerinti jogutód szakma pontos megnevezése is ellenőrizendő.

1.1.4. Az alfejezetek állandó szerkezete

Definíció. (Tanulási szerződés) – A tanulási szerződés a könyv minden alfejezetére érvényes, állandó belső szerkezet: motiváció, szemléletes kép, definíciók, működés, példák, mérés/javítás, hibakeresés, önellenőrzés, feladatok, összefoglaló. Ez biztosítja, hogy az olvasó ne csak ismerje, hanem használni is tudja a tudást.

A szerkezet fő lépései:

1. **Motiváció** – konkrét műhelyi helyzet vagy ügyfélpanasz, amely miatt érdemes a témát megtanulni.
2. **Szemléletes kép** – ábra, metszet, kapcsolási rajz vagy kis számpélda, mielőtt a formális definíciót kimondanád.
3. **Pontos definíciók és összefüggések** – kiemelve, a jelölési konvenciók szerint.
4. **Felépítés és működés** – a szerkezet feladata, részei, működése, változatai, anyagai, jellemző paraméterei.
5. **Kidolgozott példák** – legalább kettő, fokozódó nehézséggel, mértékegységekkel.
6. **Minőségellenőrzés** – mit, mivel és mihez képest ellenőrzünk.
7. **Valós életbeli alkalmazás** – részletes műhelyi eset.
8. **Gyakorlati útmutató** (ha a fejezetben szükséges) – munkalap-szerű, számozott lépésekkel, biztonsági korláttal.
9. **Tipikus hibák** – legalább három jellegzetes hiba, a helyes gyakorlattal.
10. **Önellenőrzés** – 4–6 rövid kérdés.

11. **Feladatok** – legalább hat fokozatos feladat, szintezve (A, B, C, D).
12. **Megoldások** – teljes, lépésenkénti megoldások.
13. **Rövid összefoglaló** – 120–180 szó, benne a továbbvitt eredményekkel.
14. **Források és ellenőrzési hiányok** – a bizonytalan, ellenőrizendő állítások listája.

Ezt a szerkezetet minden későbbi alfejezetben alkalmazzuk; a Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés alfejezet segít abban, hogy ez alapján ütemezd a tanulást.

1.1.5. Kiemelések és jelölési konvenciók

A könyvben a következő kiemeléseket használjuk, hogy a tanulás során azonnal lásd, milyen típusú ismerettel találkozol:

- **Definíció.** – pontos fogalom-meghatározás.
- **Összefüggés.** – képlet, arány vagy törvény.
- **Szabály.** – általános munkaszabály vagy eljárási elv.
- **Előírás.** – jogszabályból, ECE-előírásból vagy gyártói adatból származó követelmény, forrástípus jelölésével.
- **Példa.** – kidolgozott, valósághű tanulási példa.
- **Figyelem.** – baleset- vagy kárveszély, védekezéssel.
- **Tilos.** – szigorú tiltás, amelyet semmiképpen ne szegj meg.
- **HV-biztonság.** – nagyfeszültségű rendszerekre vonatkozó biztonsági szabály.
- **Környezetvédelem.** – veszélyes anyagok, hulladék, emisszió kezelése.
- **Biztonsági korlát.** – annak rögzítése, hogy a bemutatott gyakorlat tanműhelyi, oktató felügyeletével, gyártói javítási utasítás szerint végezhető, és a megadott értékek tanulási példák.
- **Továbbvitt eredmény.** – olyan összefüggés, amelyet egy későbbi alfejezet használ fel.

Továbbvitt eredmény. A tanulási szerződést és a kiemelések jelentését a Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés, A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság, Rajzi alapok, síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás, Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók, Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok és Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése alfejezet használja fel.

A jelölési konvenciók lényege: a mennyiségeket SI-mértékegységben, tizedesvesszővel írjuk (pl. 0,5 m), a mértékegységeket mindig kiírjuk. A járművillamossági rajzokon a DIN 72552 szerinti kapocsjelek (30, 15, 31, 50) jelennek meg. A gyártói vagy hatósági értékek mindig tanulási példák, ezért ellenőrzési igényt jelölünk. A későbbi alfejezetekben ezekre a jelölésekre támaszkodva gyorsabban tanulhatsz.

1.1.6. Kidolgozott példák

Példa. (Első lépések) – Anna most kezdi a képzést. Látja, hogy a könyv 11 részből áll. A kompetenciatérkép alapján úgy dönt, hogy először az I. részt (biztonság és közlekedés), majd a II–IV. részt (rajz, mechanika, anyagismeret, elektrotechnika) tanulja, mert ezek adják az alapokat. A tervébe beírja, hogy hetente két-három alfejezetet dolgoz fel (egy alfejezet a feladatokkal együtt kb. 3–5 óra), és mindegyik végén az önellenőrzést is megoldja; így az I–IV. rész 56 alfejezete kb. 20–25 hét alatt teljesíthető.

Példa. (Vizsgára készülés) – Bence a gyakorlati vizsga előtt áll. A fékrendszerrel kapcsolatos komplex hibakeresési feladatot kap. A táblázatból kiválasztja a IX. rész Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetét, de közben rájön, hogy a fékek felépítését elfelejtette.

Ezért visszalapoz a VI. rész megfelelő alfejezeteihez (A hidraulikus fékrendszer, Kerékfékek), és csak ezután oldja meg a diagnosztikai feladatot.

Ellenpélda. – Gyakori hiba, hogy valaki rögtön a VII. rész motorirányításával kezdi, mert az érdekesnek tűnik. A motorvezérlő rendszer érzékelői, jeladói és beavatkozói azonban elektrotechnikai alapokon nyugszanak; azok nélkül a feszültségjel, ellenállás, impulzusszélesség fogalmak nem érthetők. Ilyenkor a tanuló elakad, és sokszor feladja. A könyv éppen ezért javasolja, hogy a részek sorrendjét kövesd.

1.1.7. Minőségellenőrzés

A saját tanulásod ellenőrzéséhez minden alfejezetben az alábbi kérdéseket tedd fel:

- El tudom-e mondani saját szavaimmal a fejezet célját?
- Megértettem-e a definíciókat, és ki tudom-e fejezni a képleteket mértékegységgel?
- Megoldottam-e a kidolgozott példákat önállóan is?
- Elvégeztem-e az önellenőrzést és a feladatokat?
- Megjelöltem-e magamnak a bizonytalan, ellenőrizendő adatokat?

Ha bármelyik válasz nem, térj vissza az adott részhez, mielőtt továbbhaladsz.

1.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Márk esti tagozaton tanul autószerelőnek, nappal gumiszervizben dolgozik. A munkahelyén eddig csak kerékcserét és kerékkiegyensúlyozást végzett, ezért a futóművel kapcsolatos részeket ismeri, de az elektrotechnikától tart. A könyv végén lévő Kompetenciatérkép függelék segít neki: látja, hogy a villamos alapok a IV. részben vannak, és azokra épül a VII. rész. Márk ezért hétvégén először a IV. rész első alfejezeteit veszi át, és így a munkahelyén a világítás hibáját is magabiztosabban tudja kezelni. Az oktatójával megbeszélik, hogy a gumiszerelés mellett fokozatosan bevonják az akkumulátortesztelésbe és a feszültségesés-mérésbe is.

1.1.9. Tipikus hibák

1. **Rögtön a látványos témával kezdeni** – például a hibrid hajtással vagy az OBD-diagnosztikával. Az alapozó részek nélkül ezek csak felszínesen érthetők, és a vizsgán hiányos tudáshoz vezetnek.
2. **Csak olvasni, nem számolni** – a mechanikai és elektrotechnikai példákat ki kell számolni, mert a vizsgán és a műhelyben is mérések, értékek ellenőrzése történik.
3. **A kiemelések figyelmen kívül hagyása** – különösen a **Biztonsági korlát**, **Figyelem** és **Tilos** dobozok átugrása veszélyes. Ezek nem díszek, hanem a munkavédelem és a szakszerű javítás alapjai.
4. **Mértékegység-ellenőrzés elhanyagolása** – a képletekbe behelyettesítve mindig írd ki az egységeket is, különben a végeredmény értéke értelmezhetetlenné vagy hibássá válik.
5. **A gyártói adat ellenőrzési igényének figyelmen kívül hagyása** – a könyvben szereplő nyomatékok, hézagok, nyomásértékek tanulási példák. A valódi javításhoz mindig a gyártói javítási utasítást kell használni.

1.1.10. Önellenőrzés

1. Sorold fel az autószerelő legalább négy fő munkaterületét!
2. Melyik könyvrészben találod az elektrotechnika alapjait?
3. Mi a tanulási szerződés célja?
4. Mit jelöl a **Biztonsági korlát** kiemelés?
5. Igaz vagy hamis: „A könyvben szereplő meghúzási nyomatékok közvetlenül átvehetők a valódi javításhoz.” Indokold!
6. Hogyan használod a kompetenciatérképet, ha egy diagnosztikai témában elakadsz?

A válaszokat a Megoldások elején találod.

1.1.11. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel az autószerelő munkaterületeit, és jelöld meg, melyik munkaterülethez kapcsolódik a hatósági műszaki vizsga.

2. feladat (A)
Melyik könyvrész fedi le a fékrendszerek javítását? Melyik alfejezetet nyitnád ki először, ha az ABS-szabályozással kell foglalkoznod?

3. feladat (B)
A táblázat alapján állíts össze egy 8 hetes tanulási tervet az I. és a II. részre (22 alfejezet, heti 2–3 alfejezet). Minden hétre rendelj legalább egy témakört, és add meg a heti terhelést órában.

4. feladat (B)
Magyarázd el, miért nem érdemes kihagyni a II. részt (műszaki rajz és mechanika), ha valaki rögtön a IV. részt (elektrotechnika) akarja tanulni. Adj legalább két konkrét kapcsolódási példát.

5. feladat (C)
Hasonlítsd össze a régi OKJ-s képzési szerkezet és a Szakképzés 4.0 szerinti szakmai képzés helyzetét. Miért van szükség a tantárgystruktúra és a vizsgakövetelmények folyamatos ellenőrzésére, és hogyan segít ebben a könyv megközelítése?

6. feladat (D)
Egy tanuló elakad a Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok alfejezetben (Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény). Milyen korábbi alfejezeteket javasolsz átnézni? Indokold a továbbvitt eredmények alapján.

1.1.12. Megoldások

1.1.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Főbb munkaterületek: karbantartás/időszakos szerviz, mechanikai és villamos hibakeresés/diagnosztika, alkatrészcsere/felújítás/szerelés, hatósági műszaki vizsgára felkészítés, elektronikus rendszerek ellenőrzése/javítása, HV-hajtás biztonságos előkészítése.
2. Az elektrotechnika alapjait a IV. rész tartalmazza (Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok–Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata).

3. A tanulási szerződés célja, hogy minden alfejezet azonos, a gyakorlatból kiinduló és oda visszavezető szerkezetet kövessen, így az olvasó mindig tudja, mire számíthat, és a tanulás ellenőrizhető marad.
4. A **Biztonsági korlát** rögzíti, hogy a bemutatott gyakorlat tanműhelyi, oktató felügyeletével, gyártói javítási utasítás szerint végezhető, és a megadott értékek tanulási példák.
5. Hamis. A könyvben szereplő meghúzási nyomatékok tanulási példák, amelyeket mindig ellenőrizni kell a gyártói javítási adatban.
6. A kompetenciatérképet úgy használom, hogy megkeresem az adott diagnosztikai témát a IX. részben, majd azonosítom az azt megalapozó korábbi részeket, és szükség esetén azokhoz lépek vissza.

1.1.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A) megoldása
Munkaterületek: karbantartás és időszakos szerviz; mechanikai és villamos hibakeresés, diagnosztika; alkatrészcsere, felújítás és szerelés; hatósági műszaki vizsgára való felkészítés; elektronikus rendszerek ellenőrzése és javítása; hibrid/EV nagyfeszültségű rendszerek biztonságos előkészítése. A hatósági műszaki vizsgára való felkészítés a IX. részhez (karbantartás, hatósági vizsga) kapcsolódik.

2. feladat (A) megoldása
A fékrendszerek javítását a VI. rész (A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások–Légfékek és pótkocsifékek) fedi le. Az ABS-szabályozással a Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek alfejezet foglalkozik közvetlenül, de előtte a hidraulikus fékrendszer és a kerékfékek alfejezeteit is érdemes átnézni.

3. feladat (B) megoldása
Például (heti 2–3 alfejezet, alfejezetenként kb. 3–5 óra, vagyis heti 10–12 óra):
1. hét: a könyv használata, tanulási útvonalak, otthoni tanulás (A könyv használata és a szakma követelménytérképe–Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai).
2–3. hét: munka-, tűz- és környezetvédelem (Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök–Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben), hetente két alfejezet.
4–5. hét: közlekedési alapismeretek (A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság–Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai) és a rajzi alapok eleje.
6–8. hét: műszaki rajz és a statika alapjai (II. rész eleje).
A terv rugalmasan módosítható, a lényeg az alapok sorrendjének betartása; a teljes I–IV. rész ilyen ütemben kb. 20–25 hét.

4. feladat (B) megoldása
A II. rész (műszaki rajz és mechanika) két fontos kapcsolódási pontot ad az elektrotechnikához: (1) a rajzolvasás a kapcsolási rajzok értelmezéséhez kell, például a villamos áramutak és kapocsjelek megértéséhez; (2) a mechanikai munka, teljesítmény és nyomaték fogalma nélkül nem érthető az elektromos teljesítmény és hatásfok sem. Ezért a II. rész megkerülése az elektrotechnika tanulását is megnehezíti.

5. feladat (C) megoldása
A régi OKJ szerinti képzés tantárgyi felépítése eltérhet a Szakképzés 4.0 rendszer szerinti moduláris felépítéstől. A szakma tartalma (javítás, diagnosztika, biztonság) nagyrészt azonos, de a hangsúlyok és a vizsgafeladatok változhatnak. Ezért a könyv nem egyetlen tantervi számot rögzít, hanem a stabil műszaki alapokat és a jellemző tantárgyi területeket mutatja be, a konkrét jogszabályi vagy tantervi hivatkozásokat pedig ellenőrizendőként jelöli. A tanulónak így a könyv akkor is használható, ha a képzési struktúra módosul.

6. feladat (D) megoldása
A Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok (Villamos alapfogalmak) elakadásakor érdemes visszalépni: (1) a Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés belépő tesztjének számolási és mértékegység-részéhez, ha a mennyiségek és mértékegységek nem világosak; (2) a munka, teljesítmény és hatásfok mechanikai fogalmához a Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia alfejezetben, mert a villamos munka- és teljesítményfogalom erre épít; (3) a jelen alfejezethez, a kiemelések és a számítási feladat szerkezetének (adott, keresett, képlet, behelyettesítés, ellenőrzés) felelevenítéséhez. A továbbvitt eredmények alapján azonban a Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok eredményeit a későbbi áramkör-diagnosztikai alfejezetek használják, ezért nem szabad átugrani.

1.1.13. Rövid összefoglaló

Az autószerelő szakma a gépjárművek karbantartását, javítását, diagnosztikáját és hatósági vizsgára felkészítését foglalja magában, szorosan kapcsolódva az elektronikához és a hibrid/elektromos hajtásokhoz. A könyv tizenegy része egymásra épül: a biztonsági, rajzi, mechanikai, anyagismereti és elektrotechnikai alapokra épül a motorszerkezet, a hajtáslánc, a villamosság és a diagnosztika. Minden alfejezet azonos tanulási szerződést követ: motiváció, szemléletes kép, definíciók, működés, példák, ellenőrzés, hibakeresés, önellenőrzés, feladatok és összefoglaló. A kiemelések (Definíció, Előírás, Figyelem, Tilos, HV-biztonság, Környezetvédelem, Biztonsági korlát, Továbbvitt eredmény) vezetik az olvasót. A gyártói és hatósági értékek mindig tanulási példák, ezért ellenőrizendők. **Továbbvitt eredmény:** a tanulási szerződés és a kiemelések jelentését a Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés, a(z) A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság, a Rajzi alapok, síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás, a Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók, a Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok és a Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése alfejezet használja fel.

1.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a hatályos szakképzési jogszabályok és kerettantervek (net.jogtar.hu, ikk.hu); a képzési kimeneti követelmények és a vizsgakövetelmények; a közúti járművek műszaki vizsgálatáról szóló jogszabályok; a gépjármű-javítás biztonsági előírásai. Nem ellenőrzött, de a kiadás előtt pontosítandó állítások: a régi OKJ-szám (54 525 02) és a Szakképzés 4.0 szerinti jogutód szakma pontos megnevezése; a kerettanterv tantárgyainak aktuális elnevezése és csoportosítása; a vizsgakövetelmények szerkezete; a hatósági műszaki vizsgálat rendjének pontos jogszabályi hivatkozásai.

1.2. Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés

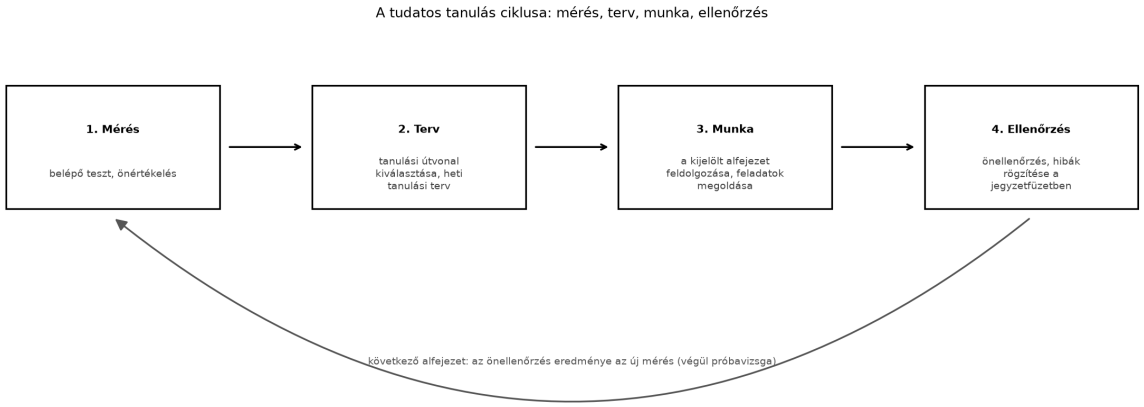
1.2.1. Motiváció: miért érdemes tudatos útvonalat választani?

Képzeld el, hogy egy ismerős autója nem indul: a vezetőülésbe ülsz, elfordítod a kulcsot, de csak kattog. Mit nézel meg először? Az akkumulátort? Az indítómotort? A gyújtáskapcsolót? Ha nincs módszered, találgatsz, alkatrészt cserélsz, és közben pénzt meg időt veszítesz. Pontosan ugyanez a helyzet a tanulással is: ha nincs terved, hogy mit, milyen sorrendben és mennyi ideig tanulsz, akkor hamar belefulladsz a sok alkatrészbe, képletbe és hibakódba. Ez az alfejezet abban segít, hogy a saját előképzettségedhez és célodhoz illő tanulási útvonalat válassz, heti tervet

készíts, és megtanuld használni a könyv beépített önellenőrző eszközeit. Aki ezt komolyan veszi, ugyanúgy dolgozik, mint egy jó diagnoszta: először mér, azután dönt, végül ellenőriz.

1.2.2. Szemléletes kép: a tanulás mint diagnosztikai folyamat

Tekints a tanulásra úgy, mint egy járműjavítási feladatra. A belépő teszt a „hibafelvevő műszer”: felméri, melyik tudásterületen vagy erős, és hol vannak hiányaid. A tanulási útvonal a „javítási terv”: megmondja, milyen sorrendben és milyen mélységben dolgozd fel az anyagot. Az önellenőrzés és a feladatok a „javítás utáni próba”: megmutatják, valóban érted-e az anyagot, vagy csak elolvastad. Végül a szakmai jegyzetfüzet a „szervizkönyv”: rögzíti a saját tapasztalataidat, a gyártói adatokat és a tipikus hibákat, hogy később is elő tudd venni. Ez a négylépéses ciklus – mérés, terv, munka, ellenőrzés – a könyv minden fejezetét végigkíséri.



1.2. ábra. A tudatos tanulás ciklusa: mérés, terv, munka, ellenőrzés - A belépő teszt és az önellenőrzés a két mérési pont; a jegyzetfüzet a kettő közötti munkát dokumentálja. A ciklus minden alfejezetnél ismétlődik, a végén próbavizsga.

A fenti ábra a négy lépést és a visszacsatoló nyilat mutatja: a ciklus nem egyszeri, hanem minden alfejezetnél megismétlődik. A ciklus végén a jegyzetfüzetbe írt hibák és gyenge pontok mutatják meg, mire kell visszatérned.

1.2.3. A belépő teszt: mérd fel, honnan indulsz

Definíció. A belépő teszt egy olyan, a könyv elején elvégezhető feladatsor, amely nem osztályoz, hanem azt mutatja meg, melyik előzetes tudásterületen vagy stabil, és melyiknél érdemes először a középiskolai alapokat felfrissíteni. A teszt három csoportot vizsgál: alapvető számolás, fizikai mennyiségek és egységek, valamint műszaki rajzi és logikai alapfogalmak.

Példa. A belépő teszt egyik számolási feladata: „Egy autó fogyasztása 7,2 liter 100 km-en. Hány liter üzemanyagot fogyaszt 340 km-en?” Egy másik, fizikai jellegű feladat: „Egy emelő 12 000 N terhet tart. Hány kilogramm tömegnek felel meg ez, ha $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$?” Egy rajzi feladat pedig felismerést kér: „Melyik ábrán látsz menetes furatot, és melyik ábrán zsákfuratot?” A teszt célja nem az ítélet, hanem a kiindulópont megtalálása.

A teszt értékelését úgy érdemes végezni, hogy minden hibás vagy kihagyott feladat után bejelölöd, melyik alapozó fejezethez kell visszalapoznod. A könyv II. része (műszaki rajz, mechanika)

és IV. része (elektrotechnika) azokat az alapokat tartalmazza, amelyekre a későbbi motoros, futóműves és villamossági fejezetek építenek. Ha a belépő tesztben a mértékegységváltás hibás, akkor a Képletgyűjtemény függelék mértékegység-részét és a Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia alfejezet egységeit érdemes először átnézni, mielőtt a motorjellemzők számításához kezdesz.

Belépő teszt (12 kérdés). Oldd meg segédeszköz nélkül (legfeljebb zsebszámológép), minden sorba írd ki a mértékegységet, majd ellenőrizd az alfejezet végén, a Megoldások között („Belépő teszt – megoldások”).

Számolás

1. Egy autó fogyasztása 7,2 liter 100 km-en. Hány liter üzemanyagot fogyaszt 340 km-en?
2. Egy gumiabroncs nyomása 2,2 bar. Hány kPa ez?
3. Oldd meg: $2x + 5 = 17$.
4. Egy 80 Ah-s akkumulátor 15 %-át használtad el. Hány Ah a fogyasztott töltés?

Fizikai mennyiségek és egységek

5. Egy emelő 12 000 N terhet tart. Hány kilogramm tömegnek felel meg ez, ha $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$?
6. Váltsd át: $90\,\mathrm{km/h}$ hány m/s?
7. Váltsd át: $75\,\mathrm{kW}$ hány W?
8. Egy $U = 12\,\mathrm{V}$ feszültségű áramkörben $R = 4\,\Omega$ az ellenállás. Mekkora az áram?

Műszaki rajz és logika

9. Melyik ábrán látsz menetes furatot, és melyik ábrán zsákfuratot? (Mondd el, miről ismered fel őket.)
10. Mit jelent a rajzon a szaggatott vonal?
11. A rajz 1:5 méretarányú, a rajzon a hossz 24 mm. Mekkora a tényleges hossz?
12. Folytasd a sorozatot: 2, 6, 18, 54, ?

Értékelés. 0–2 hiba: választhatod az A vagy a B útvonalat, és az I. résszel kezdhetsz. 3–6 hiba: előbb a számolási és egységváltási hiányokat pótold (Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia, Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok). 7 vagy több hiba: az A útvonalat válaszd, a középiskolai alapokat frissítsd fel a II. rész előtt. A pontszámot és a hibás kérdések számát írd be a jegyzetfüzet első oldalára; a hibás kérdések alapján jelöld, melyik alapozó fejezetet kell átnézned.

Szabály. A belépő tesztet minden tanulási útvonal előtt végezd el, és az eredményét írd be a szakmai jegyzetfüzet első oldalára. Ez lesz az a „nullpont”, amelyhez képest később a haladásodat méred. A tesztet néhány hét múlva, a módszer begyakorlása után érdemes megismételni, hogy lásd a fejlődést.

1.2.4. Három tanulási útvonal

A könyv használatához három fő útvonalat javasolhatsz magadnak. Mindháromnál tartsd be, hogy a gyártói javítási utasítás elsőbbséget élvez, a biztonsági részeket soha ne ugorj át, és a számításokat mindig mértékegységekkel végezd.

1.2.4.1. A) Teljes útvonal – kezdőknek, nulla autószerelő előképzettséggel

Ez az útvonal a könyv logikáját követi elölről hátra. A I. rész (munkabiztonság) rövid, de minden gyakorlati munkához nélkülözhetetlen. A II. részben a műszaki rajz és a mechanika alapjait kell megszilárdítani, mert a futómű- és fékszámításoknál ezek nélkül nem boldogulsz. A III. rész anyagismerete szükséges ahhoz, hogy megértsd, miért kopik a fékbetét, miért fárad el a rugó, és miért nem szabad összekeverni a fékfolyadékfajtákat. A IV. rész elektrotechnikája nélkül a későbbi fedélzeti hálózatos és motorirányításos fejezetek értelmezhetetlenek. Csak ezek után érdemes belevágni a V. résztől kezdve a motorokba, erőátvitelbe és villamosságba.

Kezdőként heti 8–12 tanulási órát érdemes tervezni, ha iskola mellett tanulsz, és 12–16 órát, ha felnőttképzésben erre koncentrálsz. Egy alfejezet a feladatokkal együtt kb. 3–5 óra, így heti 8–12 órával kb. 2–3 alfejezet halad, és a teljes útvonal (167 alfejezet) nagyjából 14–18 hónap önálló munkát jelent; a 9–12 hónapos ütem heti 15 vagy több órát feltételez. Nem baj, ha lassabban haladsz: a mechanika alapjainál az a fontos, hogy a feladatokat önállóan meg tudd oldani, nem az, hogy gyorsan lapozz.

1.2.4.2. B) Elmélet-pótló útvonal – műhelyi gyakorlattal rendelkezőknek

Ha már dolgoztál autószerelő mellett, ismered a szerszámokat, és láttál már fékbetétcserét, olajcserét vagy akkumulátorcserét, akkor a gyakorlati részeket gyorsabban tudod átvenni, de az elméleti alapoknál ne spórolj. Ezen az útvonalon a II., IV. és V. rész számítási alfejezeteit dolgozd fel hangsúlyosan, mert ezek a részek magyarázzák meg, miért úgy kell meghúzni egy kerékcsavart, miért számít a fékerő-eloszlás, és miért kell a lambda-értéket mérni. A VII. rész elektronikus rendszereinél különös figyelmet fordíts az adatbuszokra és a rendszerteszter-használatra, mert a mai műhelymunkában egyre nagyobb szerepük van.

A B útvonalon a gyakorlati útmutatókat (X. rész) használhatod úgy, mint egy tapasztalt szerelő munkalapját: olvasd át, majd a műhelyben próbáld ki az ott leírt sorrendet, azzal a feltétellel, hogy a gyártói adatokat mindig ellenőrzöd. A cél itt az, hogy a meglévő kézügyességedet elmélettel és diagnosztikai gondolkodással egészítsd ki.

1.2.4.3. C) Vizsgafelkészítő útvonal – a vizsga előtt állóknak

Ha már a tananyag nagy részét feldolgoztad, és a vizsgára készülsz, ezt az útvonalat válaszd. Itt már nem a teljes könyvet olvasod lineárisan, hanem a vizsgakövetelmények szerint haladsz, és a gyenge pontjaidra koncentrálsz. Első lépésként tekintsd át az adott képzési és kimeneti követelmények (KKK) és a programtanterv szerinti témaköröket (ellenőrizendő: a hatályos vizsgaleírás és a Szakképzés 4.0 rendszerben a pontos szakmaszám). Ezután oldj meg minden fejezetből legalább egy közepes (B) és egy gondolkodtató (C) feladatot, majd a hibásakat jelöld meg a jegyzetfüzetben. A könyv utolsó része (XI.) próbavizsgákat és tematikus térképet ad; ezeket időre, vizsgaszimulációként végezd el. A C útvonalon a heti terv rövid ciklusokból áll: 2–3 nap tanulás, 1 nap próbavizsga, 1 nap hibaelemzés.

1.2.5. A szakmai vizsga szerkezete

Előírás. A szakmai vizsga pontos szerkezetét, a vizsgarészek arányát, az értékelési szempontokat és a megengedett segédeszközöket a mindenkor hatályos szakképzési jogszabályok és a szakképesítés képzési és kimeneti követelményei határozzák meg (ellenőrizendő: a hatályos vizsgaleírás, a

szakképesítés azonosítója és a vizsgaszabályzat). Az alábbi leírás a tipikus szerkezetet mutatja be, nem helyettesíti a hivatalos vizsgakövetelményeket.

A régi OKJ-s vizsga írásbeli, szóbeli és gyakorlati részből állt; a Szakképzés 4.0 szerinti szakmai vizsga szerkezete a képzési és kimeneti követelmények (KKK) szerint más lehet, jellemzően írásbeli vizsgatevékenység és gyakorlati projektfeladat (ellenőrizendő: az autószerelő, illetve a jogutód szakma hatályos KKK-ja és vizsgaleírása). Az alábbi három részre bontás a hagyományos, tanulást segítő felosztás; a hatályos vizsgán a részek elnevezése és aránya eltérhet. A szakmai vizsga jellemzően az alábbi területeket kéri számon:

1. **Írásbeli vizsgarész.** Itt a műszaki alapok, a járműszerkezettan, a villamosságtan és a diagnosztika elméleti kérdései szerepelnek. Gyakori feladattípusok: feleletválasztós kérdések, igaz–hamis állítások indoklással, számítási feladatok (például lökettérfogat, fékhatás, Ohm-törvény), valamint rajz- és kapcsolásifelismerés. Az írásbelin a képletek és a mértékegységek helyes használata ugyanolyan fontos, mint a végeredmény.
2. **Szóbeli vizsgarész.** A szóbelin egy-egy szerkezet, rendszer vagy diagnosztikai folyamat működését kell elmondanod, rajzot elemezned, és mérési vagy javítási sorrendet indokolnod. A vizsgabizottság kérdezhet a biztonsági és környezetvédelmi előírásokra is, például hogyan kell fékfolyadékot kezelni, vagy mi a teendő egy hibrid jármű feszültségmentesítésekor. Itt a „feladat – felépítés – működés – hiba – javítás” logikát érdemes követned.
3. **Gyakorlati vizsgarész.** A gyakorlati vizsga általában szerelési és diagnosztikai feladatot is tartalmaz. Szerelési feladat lehet például féktárcsa- és fékbetétcsere, vezérműszíj-csere, futómű-alkatrész cseréje vagy villamossági hibakeresés. Diagnosztikai feladatnál rendszerteszterrel hibakódot olvasol, élő adatokat értékelsz, vagy egy adott tünetből kiindulva behatárolod a hibát. A gyakorlati részen a munkabiztonsági szabályok betartása, a helyes szerszámhasználat és a gyártói adatok ellenőrzése is értékelési szempont.

Figyelem. A vizsgán a biztonsági előírásokat ugyanúgy be kell tartani, mint a műhelyben. A gyakorlati feladatnál a jármű alátámasztása, az akkumulátor lekötésének sorrendje, a fékfolyadék gyűjtőedénybe vétele és a veszélyes hulladékok szelektálása mind vizsgakérdés lehet. Aki a gyorsaság kedvéért kihagy egy biztonsági lépést, az a vizsgán is hibát követ el.

1.2.6. Az önellenőrzés, a feladatok és a rövid összefoglaló használata

A könyv minden alfejezete ugyanazt a belső logikát követi, hogy önállóan is hatékonyan tanulhass. Három elemet érdemes mindig kiemelten használni:

- **Önellenőrzés:** az alfejezet végén 4–6 rövid kérdés található. Ezeket ne olvasás közben, hanem az anyag feldolgozása után, becsukott könyvvel válaszold meg. Ha nem tudod, lapozz vissza, de előbb írd le, mit gondolsz. A válaszokat a Megoldások elején ellenőrizheted.
- **Feladatok:** minden alfejezetben (A), (B), (C) és (D) szintű feladatok vannak. Az (A) alapfeladatok a definíciókat és az egyszerű számításokat rögzítik. A (B) feladatok több lépésből állnak, és rajzot vagy munkasorrendet kérnek. A (C) feladatok gondolkodtató összehasonlítások vagy hibaelemzések. A (D) feladatok gyakorlati hibakereső esetek. A vizsgára készülve legalább egy (B) és egy (C) feladatot oldj meg minden fejezetből.
- **Rövid összefoglaló:** ez 120–180 szóban sűríti a legfontosabb képleteket, szabályokat és a továbbvitt eredményeket. Ha az összefoglalót elolvasva nem tudod visszamondani, miről volt szó, akkor az alfejezetet újra kell dolgozni.

1.2.7. Gyakorlati útmutató: a szakmai jegyzetfüzet vezetése

A szakmai jegyzetfüzet a te személyes „szervizkönyved”. Ebben rögzíted a tanulási eredményeidet, a műhelyi tapasztalataidat és azokat az adatokat, amelyeket a könyvben „ellenőrizendő” jelzéssel találsz, de a gyártói javítási utasításban megtaláltál. Az alábbi lépéseket kövesd:

1. **Válassz egy strapabíró, A5-ös vagy A4-es füzetet**, amelyet el tudsz vinni a műhelybe és az iskolába is. A lapok legyenek számozottak, vagy számozd be őket magad.
2. **Az első oldalra írd fel a belépő teszt eredményét**, a választott tanulási útvonalat és a kitűzött célt (például „három hónap alatt a motoros fejezetet befejezem”).
3. **Minden alfejezetnél készíts egy saját szavakkal írt összefoglalót**, legfeljebb fél oldalban. Ne másold ki a könyvet; azt írd le, amit megértettél, és amit a műhelyben látni lehet.
4. **Rögzítsd a gyártói adatokat**, amelyeket a gyakorlatban vagy a javítási utasításban találsz. Például: „A vizsgált típuson a kerékcsavar meghúzási nyomatéka 120 Nm (ellenőrizendő: a gyártói adat).” Jelöld az adat forrását és dátumát.
5. **Vezess hibanaplót.** Minden hibakeresésnél írd fel a tünetet, a mért értékeket, a feltételezett okot, az elvégzett javítást és az ellenőrzés eredményét. Egy sor is elég, például: „Hidegindítási akadozás – akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,1 V – gyenge töltöttség – töltés után indítómotor rendben.”
6. **Hetente egyszer olvasd át a jegyzetfüzet utolsó oldalait**, és húzd alá a visszatérő hibákat vagy a nehezen megjegyzett képleteket. Ez lesz a vizsgafelkészítő útvonal alapja.
7. **A füzetbe írj bátran vázlatot, kapcsolási rajzot, fékút-számítást** – a jegyzetfüzet nem szépírás, hanem munkaeszköz.

Továbbvitt eredmény. A szakmai jegyzetfüzet vezetésének ezt a módszerét a Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai alfejezetben is használni fogjuk, amikor az otthoni tanuláshoz és a biztonságos gyakorlás kereteihez készítesz ellenőrzőlistát.

1.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy huszonéves tanuló, aki korábban csak kisegített egy márkaszervizben, a B útvonalat választotta. A belépő tesztje azt mutatta, hogy a mértékegységváltás és az Ohm-törvény bizonytalan. Ezért a IV. rész két alfejezetét előre vette, és csak azután kezdett a motorirányítás fejezetébe. A jegyzetfüzetébe minden nap beírt egy sort a rendszerteszterrel mért élő adatokról. Amikor a vizsgafelkészítéshez ért, a füzet alapján látta, hogy a lambda-érték és a feszültségesés-mérés az a két terület, ahol többször hibázott. Így a vizsga előtti héten csak ezeket gyakorolta, és a szóbeli vizsgán magabiztosan beszélt a lambdaszabályozásról. A jegyzetfüzet nem csinált helyette semmit, de pontosan megmutatta, hova kell visszatérnie.

1.2.9. Tipikus hibák

1. **Lineáris olvasás önellenőrzés nélkül.** A leggyakoribb hiba az, hogy valaki végigolvassa az alfejezetet, és a feladatok megoldása helyett rögtön a következőre lapoz. A tudás csak akkor rögzül, ha saját szavakkal el tudod mondani, vagy meg tudod oldani a számítást. **Helyes gyakorlat:** minden alfejezet után oldd meg az önellenőrzést és legalább egy feladatot.
2. **A mértékegységek elhagyása a számolásban.** Ha azt írod, hogy „a feszültség 12”, akkor a számolás nem ellenőrizhető. **Helyes gyakorlat:** minden sorba írd ki az egységet, például $U = 12\,\mathrm{V}$, és az eredménynél nézd meg, hogy az egység a várt mennyiségre jön-e ki.

3. **A jegyzetfüzet elhanyagolása.** Sokan úgy érzik, a jegyzetelés időpocsékolás, de a vizsga előtt derül ki, hogy nem tudják visszakeresni a korábbi hibáikat. **Helyes gyakorlat:** a jegyzetfüzet legyen rövid, de rendszeres; heti 10 perc átolvasás többet ér, mint vizsga előtt 10 óra kapkodás.
4. **A biztonsági részek átugrása.** A munkabiztonsági és a nagyfeszültségű fejezetek unalmasnak tűnhetnek, de a gyakorlati vizsgán és a műhelyben is életet mentenek. **Helyes gyakorlat:** a biztonsági részeket minden útvonalon dolgozd fel, és a jegyzetfüzetben is rögzítsd a legfontosabb szabályokat.

1.2.10. Önellenőrzés

1. Mi a belépő teszt célja, és miért kell azt az útvonal kiválasztása előtt elvégezni?
2. Sorold fel a szakmai vizsga három hagyományos területét (írásbeli, szóbeli, gyakorlati), és mindegyikhez írj egy példafeladatot. Mi a teendő, ha a hatályos vizsgaszerkezet eltér ettől?
3. Mi a különbség a B és a C tanulási útvonal között?
4. Hányféle feladatszintet találsz a könyv alfejezeteiben, és melyik szintet érdemes választani egy gyakorlati hibakereső gyakorláshoz?
5. Miért fontos a jegyzetfüzetben rögzíteni a gyártói adatokat „ellenőrizendő” jelzéssel?
6. Egy tanuló a teljes útvonalat választja, de a mechanika fejezet feladatait kihagyja, mert „úgyis érti”. Mi ebben a hiba?

1.2.11. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a belépő teszt három vizsgált tudásterületét, és mindegyikhez írj egy-egy mintakérdést.

2. feladat (A) Mi a különbség az írásbeli és a szóbeli vizsgarész között? Adj mindkettőhöz egy-egy jellemző feladatfajtát.

3. feladat (B) Tegyük fel, hogy műhelyi gyakorlattal rendelkezel, de a belépő teszted a mértékegységváltásban és az Ohm-törvényben mutat hiányt. Melyik fejezeteket dolgozd fel először, és melyik útvonalat válaszd? Indokold meg.

4. feladat (B) Állíts össze egy heti tanulási tervet a teljes útvonalra, ha heti 10 órád van tanulásra. A tervben szerepeljen legalább három különböző tevékenység (olvasás, feladatmegoldás, jegyzetelés).

5. feladat (C) Egy vizsgára készülő tanuló a C útvonalat választja, de csak a Rövid összefoglalókat olvassa el, a feladatokat nem oldja meg. Milyen következményei lehetnek ennek a vizsgán? Hogyan javítanád a módszerét?

6. feladat (D) A jegyzetfüzetedben ezt a bejegyzést találod: „Fékbetétcsere után a fékút hosszabb lett. A fékfolyadék szintje jó. Mit nézzek meg?” Írd le, hogyan használnád a jegyzetfüzetet és a könyv fejezeteit a hiba behatárolására. Melyik alfejezeteket nyitnád ki először?

1.2.12. Megoldások

1.2.12.1. Belépő teszt – megoldások

1. $7{,}2\,\text{l}/100\ \text{km} \cdot 340\,\text{km}/100\,\text{km} = 24{,}48\,\text{l} \approx 24{,}5\,\text{l}$.
2. $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa}$, tehát $2{,}2\,\text{bar} = 220\,\text{kPa}$.

3. $2x = 12$, így $x = 6$.
4. $0{,}15 \cdot 80\,\text{Ah} = 12\,\text{Ah}$.
5. $m = F/g = 12\,000\,\text{N}/9{,}81\,\text{m/s}^2 \approx 1223\,\text{kg} \approx 1{,}22\,\text{t}$.
6. $90/3{,}6 = 25\,\text{m/s}$.
7. $75\,\text{kW} = 75\,000\,\text{W}$.
8. $I = U/R = 12\,\text{V}/4\,\Omega = 3\,\text{A}$.
9. A menetes furat belső menetét a nézeten a furat átmérőjének vékony vonallal rajzolt, háromnegyed körívvel jelölik, a metszeten a menet nagyátmérőjét vékony, a magátmérőt vastag vonal adja; a zsákfurat nem fut át az anyagon, a fenekét (kúpos fúrófejvég) is megrajzolják.
10. A szaggatott vonal a takart (nem látható) élet és körvonalat jelöli.
11. $24\,\text{mm} \cdot 5 = 120\,\text{mm}$.
12. Minden tag a háromszorosa az előzőnek: $54 \cdot 3 = 162$.

Önellenőrzés – válaszok

1. A belépő teszt célja, hogy felmérje a számolási, fizikai és műszaki rajzi alapokat, hogy a tanuló a saját hiányosságaihoz illő útvonalat válassza. Az útvonal kiválasztása előtt azért kell elvégezni, mert a rossz útvonalon vagy alaptudás nélkül haladva később elakadunk.
2. Írásbeli: elméleti kérdések, számítások, rajzelemzés. Szóbeli: szerkezet működésének elmondása, munkasorrend indoklása, biztonsági előírások ismertetése. Gyakorlati: szerelési vagy diagnosztikai feladat. Ha a hatályos vizsgaszerkezet eltér (például írásbeli vizsgatevékenység és projektfeladat), a hivatalos vizsgaleírás és a KKK az irányadó; a könyv feladattípusait ehhez kell igazítani.
3. A B útvonal a műhelyi gyakorlattal rendelkezőknek szól, és az elméleti alapok pótlására fókuszál; a C útvonal a vizsga előtt állóknak szól, és a gyenge pontokra, próbavizsgákra koncentrál.
4. Négy feladatszint van: (A), (B), (C), (D). Gyakorlati hibakereső gyakorláshoz a (D) szintű feladatot érdemes választani, mert tünetek és mérési eredmények alapján kell hibát behatárolni.
5. Azért fontos, mert a könyvben megadott adatok tanulási példák, és a gyártói adat a mérvadó. A jegyzetfüzetben rögzítve később ellenőrizhető, frissíthető, és a vizsgán vagy a műhelyben hivatkozható.
6. A hiba az, hogy a mechanika feladatok kihagyásával a tanuló nem ellenőrzi, valóban érti-e az összefüggéseket. A későbbi futómű- és fékszámításoknál ez az alap hiányozni fog, és a hibák ott derülnek ki, ahol már nehezebb pótolni.

1. feladat megoldása

A belépő teszt területei:
- Alapvető számolás: például „Számítsd ki, hány Nm nyomatékot ad egy 200 N erő 0,4 m hosszú kulcson.”
- Fizikai mennyiségek és egységek: például „1 bar hány kPa?”
- Műszaki rajz és logika: például „Melyik vetületen látszik a furat belseje?”

2. feladat megoldása

Az írásbeli vizsgarész zárt formában, általában írásban, számítógéppel vagy papíron méri az elméleti tudást és a számolási készséget; jellemző feladat a lökettérfogat kiszámítása. A szóbeli vizsgarész interaktív, ahol a vizsgázó elmondja a szerkezet működését, és a bizottság kérdez; jellemző feladat a fékkör elrendezésének rajzolása és magyarázata.

3. feladat megoldása

Először a II. rész mértékegység-átváltásait és a IV. rész Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok alfejezetét kell feldolgozni, mert ezek adják az alapot a későbbi diagnosztikai mérésekhez. A B útvonalat érdemes választani, mert a műhelyi gyakorlat lehetővé teszi, hogy a gyakorlati útmutatókat gyorsabban átvedd, miközben az elméleti hiányokat célzottan pótlod.

4. feladat megoldása

Például egy heti 10 órás terv, amely két-három alfejezetet ütemez (az első alfejezet hétfőtől szerdáig, a második csütörtöktől szombatig):
- Hétfő (2 óra): az 1. alfejezet elolvasása, jegyzetelés a saját szavaimmal.
- Kedd (1,5 óra): a kapcsolódó rajzok és diagramok áttekintése, vázlat készítése; az 1. alfejezet kidolgozott példáinak újraszámolása mértékegységekkel.
- Szerda (2 óra): az 1. alfejezet önellenőrzése és az (A), (B) feladatok, hibák kijavítása.
- Csütörtök (1,5 óra): a 2. alfejezet elolvasása és jegyzetelése.
- Péntek (1,5 óra): a 2. alfejezet példái és az önellenőrzés, a megoldások ellenőrzése.
- Szombat (1,5 óra): a (C) vagy (D) feladat megoldása, hibanapló bejegyzés a jegyzetfüzetbe.
- Vasárnap: pihenő (a hét tanulságait a jegyzetfüzetben az utolsó nap rövid átolvasásával zárhatod).

Összesen: $2 + 1{,}5 + 2 + 1{,}5 + 1{,}5 + 1{,}5 = 10$ óra. Ezzel a tempóval kb. 2–3 alfejezet halad hetente.

5. feladat megoldása

Ha a tanuló csak a Rövid összefoglalókat olvassa, akkor a vizsgán a konkrét számítási feladatoknál és a hibakeresési feladatoknál elakad, mert nem gyakorolta a lépésenkénti levezetést és a mérési eredmények értékelését. Az írásbelin a képletek felírása nélkül nem kap pontot, a gyakorlatin pedig a tünet–mérés–ok–javítás logikát nem tudja alkalmazni. A módszert úgy javítanám, hogy minden fejezetből legalább egy (B) és egy (D) feladatot időre megold, a hibákat a jegyzetfüzetbe írja, és a következő napon újra oldja a hibás feladatokat.

6. feladat megoldása

A jegyzetfüzet hibanaplója alapján először a fékrendszerrel foglalkozó fejezeteket kell megnyitni: Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás, A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék és Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezeteket. A bejegyzésből induló hibakeresési lánc: tünet – közvetlenül betétcsere után hosszabb fékút, a fékfolyadék szintje jó; lehetséges okok – a betétek még nincsenek bejáratva; zsír, olaj vagy szerelőpaszta került a súrlódófelületre; nem megfelelő típusú vagy minőségű betét; a kopott vagy hullámos tárcsa megtartása; beszorult nyeregvezetés vagy dugattyú; csak ha a hidraulikát megbontották: levegő a rendszerben. A vizsgálat: a súrlódófelületek és a vezetőcsapok szemrevételezése, a pedálút és a pedálkeménység ellenőrzése, fékhatásmérés görgős fékpadon (ellenőrizendő: a gyártói/hatósági adat), a fékfolyadék forráspontjának vagy víztartalmának mérése. Az ok behatárolása után a javítás: szennyezett felületek tisztítása vagy csere, a vezetések szabaddá tétele, szükség esetén légtelenítés. Végül próbaút és a fékhatás újbóli mérése. A jegyzetfüzetbe be kell írni a mért értékeket és az elvégzett javítást.

Figyelem. Betétcsere után indulás előtt a fékpedált többször nyomd le, amíg kemény nem lesz: addig a dugattyúk nem érintik a betétet, és az első fékezés hatástalan. A bejáratási szabályt a gyártó előírja (ellenőrizendő: a gyártói javítási utasítás).

1.2.13. Rövid összefoglaló

Ez az alfejezet a tudatos tanulás keretét adja meg három tanulási útvonallal: a teljes, a műhelyi gyakorlattal rendelkezőknek szóló elmélet-pótló, és a vizsgafelkészítő útvonallal. Mindhárom útvonal előtt belépő tesztet érdemes végezni, amely a számolási, fizikai és műszaki rajzi alapokat méri fel. A szakmai vizsga jellemzően írásbeli, szóbeli és gyakorlati részből áll, de a pontos szerkezetet a hatályos vizsgaleírás határozza meg (ellenőrizendő). Az önellenőrzés, a fokozatos feladatok (A–D) és a rövid összefoglaló a tudás rögzítését szolgálják. A szakmai jegyzetfüzet vezetése kiemelt módszer: rögzíti a belépő teszt eredményét, a gyártói adatokat, a hibanaplót és a heti tanulságokat. **Továbbvitt eredmény.** A jegyzetfüzet vezetésének itt bemutatott lépéseit a Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai alfejezetben arra használjuk, hogy az otthoni tanuláshoz és a szerszámkészlet ellenőrzéséhez készíts ellenőrzőlistát. A jegyzetfüzet a vizsgafelkészülés alapdokumentuma.

1.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- A szakmai vizsga szerkezete, a vizsgarészek aránya és az értékelési szempontok: ellenőrizendő a hatályos szakképzési jogszabályok és a szakképesítés képzési és kimeneti követelményei alapján.
- A szakképesítés azonosítója (OKJ 54 525 02 és a Szakképzés 4.0 rendszer utódja): ellenőrizendő.
- A belépő teszt mintakérdései saját fejlesztésűek, a számítási példák a könyv későbbi fejezeteinek gyakorlataira épülnek.
- A vizsgán megengedett segédeszközök és az időkeretek: ellenőrizendő a hivatalos vizsgaszabályzat szerint.

1.3. Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai

Amikor egyedül tanulsz, a legnagyobb kockázat nem az, hogy valamit nem tudsz, hanem az, hogy a hiányzó tudást bátorsággal pótlod. Ez az alfejezet abban segít, hogy otthon is tudj fejlődni: összeállítunk egy tanulói szerszám- és mérőeszközkészletet, meghúzzuk a biztonságos gyakorlás határait, és megmutatjuk, hogyan pótolhatják a könyv interaktív ábrái a hiányzó tanműhelyt.

Továbbvitt eredmény. A biztonságos gyakorlás itt meghúzott határait és a veszélyforrások gondolkodásmódját a Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök alfejezetben használjuk tovább.

1.3.1. Milyen tanulói készlettel érdemes kezdeni?

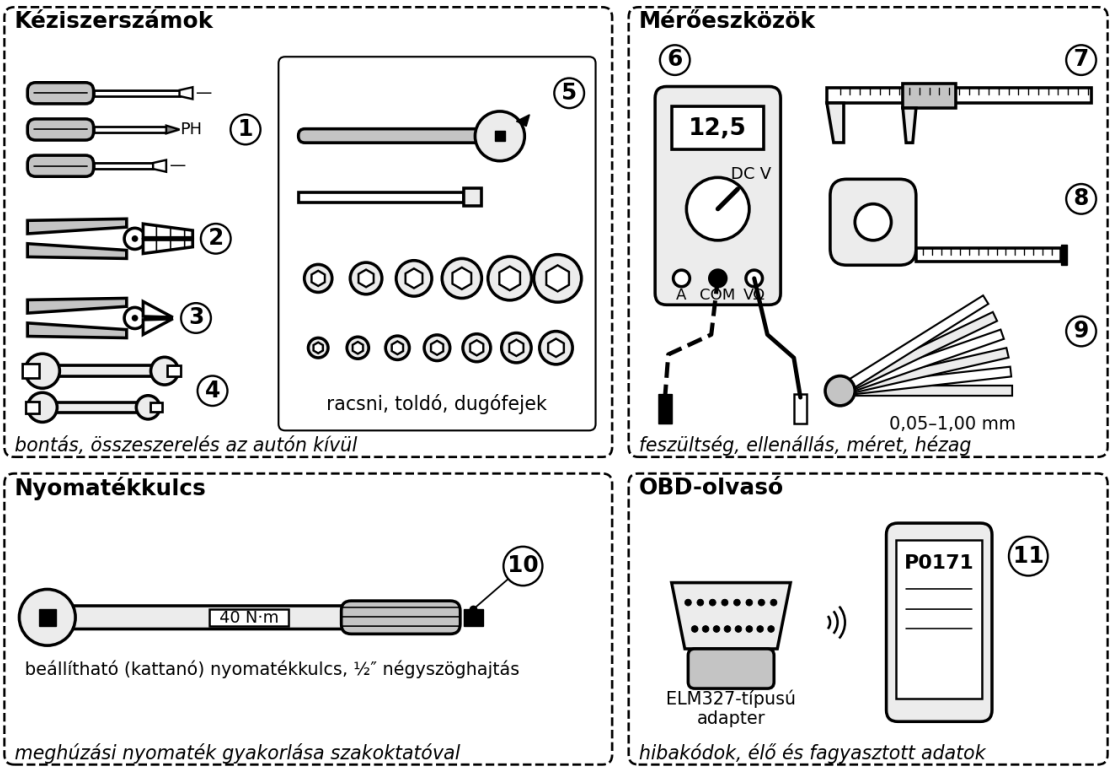
A tanuláshoz nem kell teljes műhely. Olyan eszközökre van szükség, amelyekkel méreteket, villamos jellemzőket és hibakódokat tudsz ellenőrizni, valamint kisebb alkatrészeket szét- és összeszerelni. A gyártói javítási utasításokat és a pontos mérési határértékeket ez a készlet nem helyettesíti, de a fogalmak megtanulásához elegendő.

Eszközcsoport	Tipikus darabok	Mire használod tanulás közben
Kéziszerszámok	csavarhúzó-készlet, kombinált fogó, csípőfogó, villáskulcsok, dugókulcs-garnitúra	alkatrészek bontása, összeszerelése az autón kívül

Eszközcsoport	Tipikus darabok	Mire használod tanulás közben
Mérőeszközök	digitális multiméter, tolómérő, mérőszalag, hézagmérő	feszültség, ellenállás, méret, hézag ellenőrzése
Nyomatékkulcs	közepes méretű, tanműhelyi használatra	pontos meghúzási nyomaték gyakorlása szakoktatóval
OBD-olvasó	ELM327-típusú, okostelefonos alkalmazással	hibakódok, alap élő adatok, fagyasztott adatok leolvasása

A táblázatban szereplő értékek tanulási példák; a pontos szerszámméreteket a konkrét jármű és a gyártói javítási utasítás határozza meg.

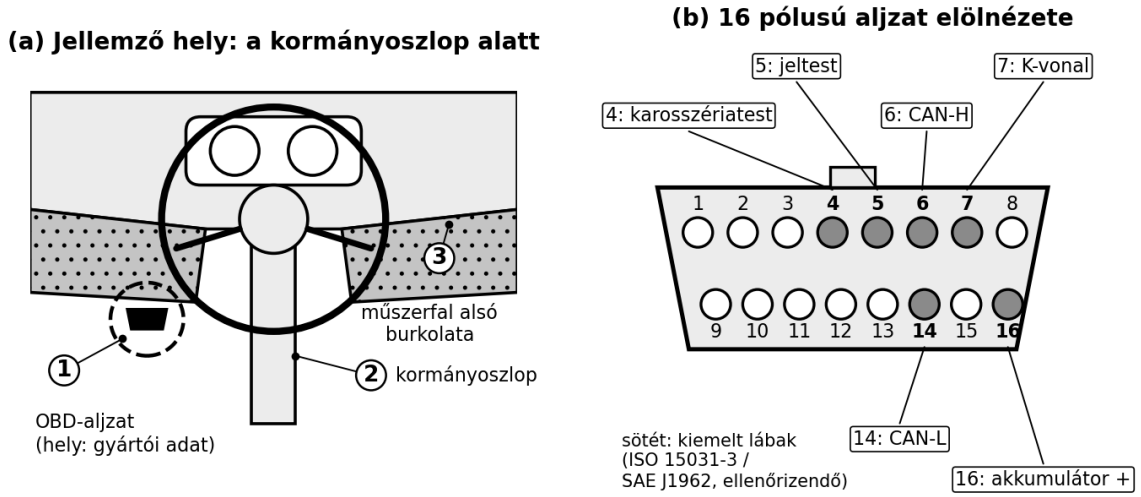
Az alábbi rajz a táblázat négy eszközcsoportját mutatja asztalra kiterítve: ①–⑤ kéziszerszámok, ⑥–⑨ mérőeszközök, ⑩ nyomatékkulcs, OBD-olvasó okostelefonnal.



1.3. ábra. A tanulói szerszám- és mérőeszközkészlet a táblázat négy csoportja szerint

1.3.1.1. Mit tud és mit nem tud egy olcsó OBD-olvasó?

Az olvasót a jármű 16 pólusú diagnosztikai aljzatába kell dugni. Ez jellemzően a vezetőoldalon, a kormányoszlop alatt vagy mellett van (a pontos hely gyártói adat). Az aljzat 16. lába az állandó akkumulátor-plusz, a 4. és 5. lába a test, így az olvasó a jármű akkumulátoráról kap tápot; a 6. és 14. láb a diagnosztikai CAN-busz.



1.4. ábra. Az OBD-II aljzat jellemző helye és 16 pólusú lábkiosztása

Szabály. Az alap OBD/EOBD-olvasó hasznos tanulóeszköz, de nem rendszerteszter. Jellemzően a szabványos, emisszióhoz kapcsolódó hibakódokat (P-kódokat), fagyasztott adatokat, néhány élő adatot és az emissziós készenléti állapotot tudja megjeleníteni. Nem feltétlenül tud gyártóspecifikus kódokat, légzsák- vagy ABS-hibákat, biztonsági hozzáférést, beavatkozó teszteket, adaptációkat és kalibrálást.

Példa. Ha a motor sárga ellenőrzőlámpája ég, az olcsó OBD-olvasó kiírhatja a `P0171` kódot, amely üzemanyag-levegő keverék elszegényedés környékére mutathat. Azt viszont nem mondja meg helyetted, hogy vákuumszivárgás, hibás légtömegmérő vagy alacsony üzemanyagnyomás okozza-e. A kódolvasás tehát nyom, nem ítélet.

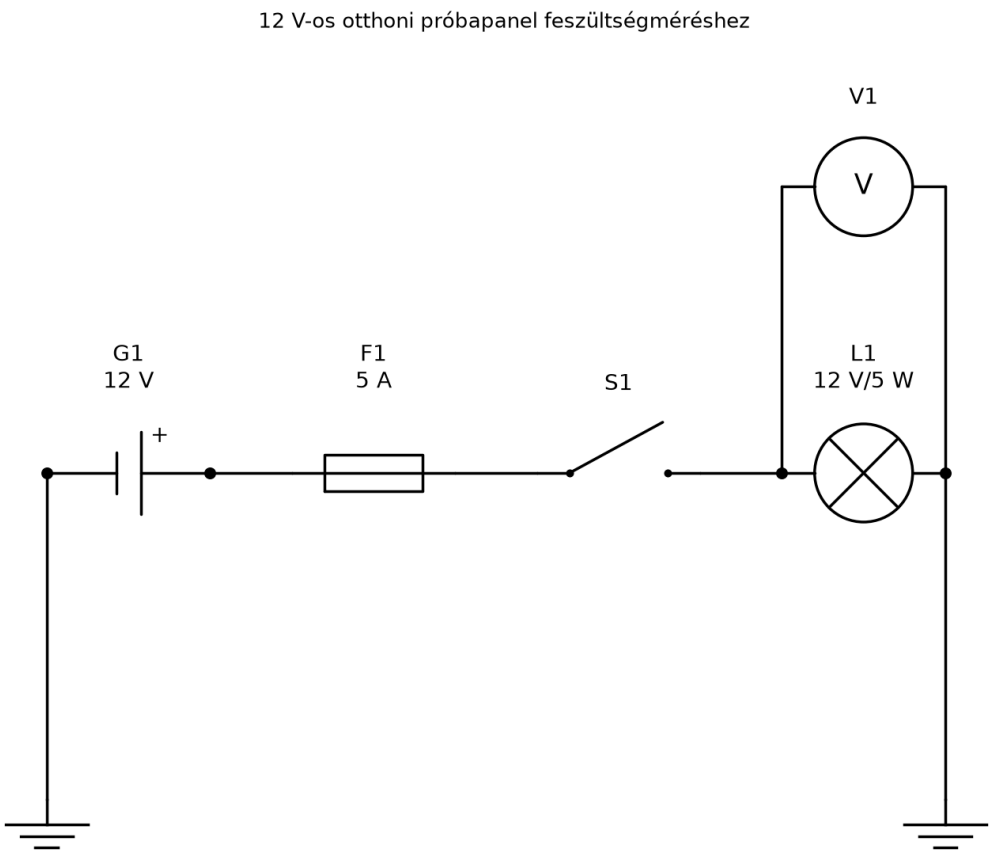
1.3.2. Mit lehet biztonságosan gyakorolni otthon?

Otthon elsősorban alacsony feszültségű, kis kockázatú villamos köröket és autón kívüli alkatrészeket érdemes tanulmányozni.

Gyakorlat. Hasznos otthoni feladatok:

1. 12 V-os próbapanelen izzót, kapcsolót, biztosítót és relét bekötni, feszültséget mérni.
2. Kidobásra szánt, de ép alkatrészeket (fényszóró, biztosítéktábla-rész, relé, kapcsoló, vezetékcsatlakozó) szét- és összeszerelni.
3. Multiméterrel ellenállást, folytonosságot és feszültségesést mérni tanulóáramkörön.
4. A könyv interaktív ábráin és kalkulátoraiban jelleggörbéket, kapcsolásokat és hibakeresési lépéseket futtatni.

Az alábbi rajz egy egyszerű, otthon is összeállítható 12 V-os mérőáramkört mutat. A kapcsoló alaphelyzetben nyitott, ezért az izzón nem folyik áram. Ha a kapcsolót zárjuk, az izzó világít, a voltmérő pedig az izzó kapcsain mér feszültséget.



1.5. ábra. 12 V-os otthoni próbapanel feszültségméréshez - Tanulási célú kapcsolás; akkumulátor vagy védett tápegység használata. A kapcsoló alapállapota nyitott.

Az 5 W-os izzó névleges árama 12 V-on:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} \approx 0{,}42\,\mathrm{A}.$$

Ezért egy 5 A-es biztosító bőven elegendő, de zárlat esetén véd.

1.3.3. Mit tilos otthon vagy felügyelet nélkül?

Tilos. Kocsiemelővel (hidraulikus, krokodil- vagy ollós emelővel) megemelt, csak arra támaszkodó jármű alá bemenni vagy benyúlni, még „csak egy pillanatra” is. Jármű alatt csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn (kétoszlopos, ollós emelő), vagy megfelelő teherbírású bakra támasztva dolgozhatsz, szakoktató felügyeletével. A fékrendszert, a kormányművet, a légzsákot, az övfeszítőt, a nagyfeszültségű (HV) rendszert és a nagynyomású üzemanyag-rendszert otthon, felügyelet nélkül bontani **tilos**.

Figyelem. A 12 V-os akkumulátor sem játék. Rövidzár esetén több száz amper is folyhat, ami megolvaszthatja a vezetéket, égési sérülést és tüzet okozhat. Az akkumulátor töltése közben hidrogéngáz keletkezhet, amely robbanásveszélyes. Szerelés közben vedd le a gyűrűt, órát és fémláncot; használj védőszemüveget.

HV-biztonság. Hibrid vagy elektromos jármű narancssárga, nagyfeszültségű vezetékén otthon **soha** ne dolgozz. A HV-rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy végezhet munkát a gyártói feszültségmentesítési eljárás szerint.

Környezetvédelem. A fáradt akkumulátort, olajat, hűtőfolyadékot vagy olajos rongyot ne dobj a háztartási hulladékba. Gyűjtsd szelektíven, és add le az erre kijelölt hulladékudvarban vagy műhelyben.

1.3.4. Az interaktív ábrák és kalkulátorok szerepe

Szabály. A könyv HTML-változatában több interaktív ábra és kalkulátor található: például Ohm-törvény-kalkulátor, fékútbecslő, menetellenállás-kalkulátor, relés áramkör kapcsolásvizsgáló. Ezek részben pótolhatják a hiányzó tanműhelyt, mert változtathatod a feszültséget, ellenállást, sebességet vagy kapcsolóállást, és azonnal látod az összefüggést.

Az interaktív ábra nem helyettesíti a mérést, de segít megtervezni: mielőtt a tanműhelyben mérnél, otthon kigondolhatod, hogy hová kötöd a műszert, milyen értéket várs, és mi a hiba, ha más értéket kapsz.

1.3.5. Gyakorlati útmutató: feszültségmérés 12 V-os próbapanelen

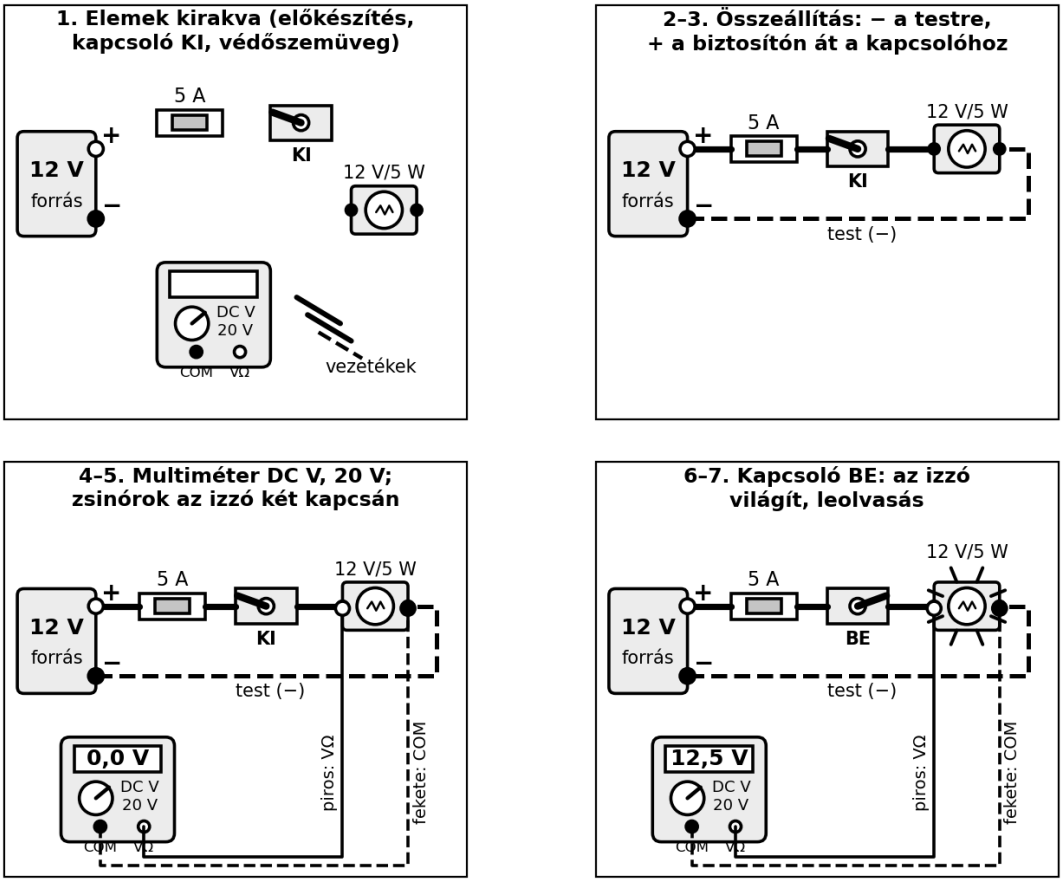
Biztonsági korlát. A feladat otthoni, tanulási célú összeállítás. Használj legfeljebb 12 V-os, kis kapacitású akkumulátort vagy védett tápegységet. Az akkumulátorsavval, rövidzárral és tűzzel kapcsolatos veszélyeket előzd meg; a munkaterület legyen száraz, tiszta és nem éghető.

Szükséges eszközök: 12 V-os energiaforrás, biztosítótartó 5 A-es biztosítóval, kapcsoló, 12 V/5 W izzó, vezetékek, digitális multiméter, védőszemüveg.

Számozott lépések:

1. **Munkaterület előkészítése.** Kapcsold ki az energiaforrást; viselj védőszemüveget; távolíts el minden fém ékszert.
2. **Áramkör összeállítása.** Kövesd a fenti kapcsolási rajzot: energiaforrás negatívja a testponthoz, pozitívja a biztosítón át a kapcsolóhoz.
3. **Kapcsoló ellenőrzése.** Kezdd nyitott kapcsolóval; így az áramkör feszültségmentes.
4. **Multiméter beállítása.** Állítsd egyenfeszültség-mérésre (DC V), válassz legalább 20 V-os méréshatárt.
5. **Műszer bekötése.** A voltmérő mérőzsinórjait párhuzamosan kösd az izzó két kivezetéséhez.
6. **Feszültség alá helyezés.** Zárd a kapcsolót; az izzónak világítania kell.
7. **Mérés.** Olvasd le a feszültséget. Nyugalmi 12 V-os akkumulátornál körülbelül 12,4–12,8 V lehet a kapocsfeszültség, terhelés alatt kissé alacsonyabb (ellenőrizendő az akkumulátor töltöttsége és belső ellenállása).
8. **Biztonságos bontás.** Nyisd a kapcsolót, kösd le először a negatív vezetéket, majd a pozitívat.
9. **Dokumentálás.** Írd fel, milyen feszültséget mértél és milyen állapotban volt az energiaforrás.

A képsor a munkalépéseket követi: az elemek kirakása, az összeállítás nyitott kapcsolóval, a multiméter párhuzamos bekötése az izzó két kivezetésére, végül a mérés zárt kapcsolóval. A pozitív ág folytonos vastag, a negatív ág szaggatott vonal.



1.6. ábra. A próbapanel összeállítása és a multiméter bekötése négy lépésben

1.3.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanuló otthon összeállította a próbapanelt, de az izzó halványan világított. Megmérte az akkumulátor kapocsfeszültségét: 12,5 V. Az izzón azonban csak 9,8 V-ot mért. A hiba nem az akkumulátorban volt, hanem egy rosszul rögzített csatlakozó krimpelésében. A csatlakozónál jelentkező feszültségesés miatt az izzó nem kapta meg a teljes feszültséget. A tanulság: a hiba gyakran nem a fő alkatrészben, hanem az összekötésben vagy a testelésben van.

1.3.7. Tipikus hibák

1. **Kocsiemelővel tartott autó alá bújás.** Rövid időre is tilos, mert a hidraulikus kocsiemelő lassan leereszthet vagy megcsúszhat. Helyes gyakorlat: gyártói emelési ponton megemelni, majd bakra támasztani.
2. **Az olcsó OBD-olvasót gyári teszterként kezelni.** A kódolvasó nem alkalmas légzsák, ABS, HV-rendszer vagy adaptációs feladatok elvégzésére. Ilyenkor a gyártói diagnosztikai eljárás és a megfelelő műszer szükséges.
3. **A multimétert áramméréskor párhuzamosan kötni.** Az árammérőt sorosan kell bekötni az áramkörbe; párhuzamos kötésnél rövidzár keletkezhet, és a műszer biztosítója kiéghet.
4. **A nyomatékkulcsot oldásra használni.** A nyomatékkulcs meghúzásra való; oldásra használjuk a keretes kulcsot vagy dugókulcsot, mert a nyomatékkulcs elveszítheti a kalibráltságát.

1.3.8. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy csak kocsiemelővel tartott jármű alá csak néhány másodpercre szabad benézni? Indokold.
2. Mire való az OBD-olvasó a tanulásban? Adj egy példát, amit megmutat, és egyet, amit nem.
3. Miért kell biztosíték a 12 V-os próbapanelen?
4. Hová kötjük a multiméter mérőzsinórjait feszültségméréskor?
5. Mennyi az árama egy 12 V-os, 5 W-os izzónak?
6. Miért kell a mérés után először a negatív vezetéket lekötni?

1.3.9. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a tanuláshoz minimálisan javasolt mérőeszközöket, és írd mellé, mit ellenőriznél velük.

2. feladat (A) Egy 12 V-os, 21 W-os izzó áramfelvételét számítsd ki. Hány amperes biztosítót választanál tanulóáramkörhöz?

3. feladat (B) Egy alap OBD-olvasó `P0302` hibakódot mutat. Fogalmazd meg, mit jelenthet ez a kód, és miért nem elég önmagában a hengerazonosítás.

4. feladat (B) Írd le szövegesen, hogyan mérnél feszültséget a próbapanelen az izzón. Miben különbözik ez az árammérés bekötésétől?

5. feladat (C) Egy próbapanelen az izzó halvány, az energiaforrás feszültsége 12,4 V, az izzón 10,2 V-ot mérsz. Hol keresed a hibát? Indokold a feszültségesés fogalmával.

6. feladat (D) Egy tanuló otthon ki akarja cserélni a fékbetétet, mert az OBD-olvasó nem mutat hibát. Helyes-e az eljárása? Milyen biztonsági és szakmai érveket mondanál neki?

1.3.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Kocsiemelővel megemelt, csak arra támaszkodó jármű alá bemenni tilos. A járművet bakra vagy mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőre kell támasztani.
2. Az OBD-olvasó a szabványos emissziós hibakódokat, fagyasztott adatokat és egyes élő adatokat mutathatja; például kiírja a `P0171`-et. Nem biztos, hogy tudja az ABS vagy légzsák hibakódjait, és nem végez adaptációt.
3. A biztosíték zárlat vagy túláram esetén megszakítja az áramkört, megvédi a vezetékeket, az energiaforrást és a tanulót a tűztől, égéstől.
4. Feszültségméréskor a műszert párhuzamosan kötjük a mérendő áramköri elemmel; áramméréskor sorosan, mert az áramnak át kell folynia a műszeren.
5. $I = P/U = 5/12 \approx 0{,}42\,\text{A}$.
6. Járművön a karosszéria a negatív pólushoz (31) kötött test. Ha először a pozitív sarut oldanád, és a kulcs a karosszériához érne, a kulcson át rövidzár jönne létre. Ha előbb a negatívot oldod, a karosszéria már nem kapcsolódik az akkumulátorhoz, így ez a zárlat nem lehetséges. Felkötéskor fordított a sorrend: először a pozitív, utoljára a negatív. A próbapanelen ugyanezt a szokást gyakoroljuk.

1. feladat – megoldás. Multiméter: feszültség, ellenállás, folytonosság, áram. Tolómérő: külső és belső méret, mélység. Mérőszalag: hossz, távolság. Hézagmérő: hézagok, például szelephézag vagy gyertyahézag.

2. feladat – megoldás. $I = P/U = 21/12 = 1{,}75\,\mathrm{A}$. A tanulóáramkörhöz 3 A-os biztosítót választanék, mert a hideg izzószál ellenállása sokkal kisebb, így bekapcsoláskor néhány ezredmásodpercig a névleges áram többszöröse folyik; a lomha (járműipari lapos) biztosító ezt elviseli. A biztosítót a vezeték keresztmetszetéhez és a fogyasztó névleges áramához választjuk (ellenőrizendő: gyártói kapcsolási rajz); zárlat esetén a 3 A-es biztosító még gyorsan véd.

3. feladat – megoldás. A `P0302` a 2. henger égéskimaradására utalhat. A kód nem mondja meg, hogy gyújtógyertya, tekercs, injektor, kompresszió vagy keverékarány a hibás; csak a diagnosztika kiindulópontja.

4. feladat – megoldás. A voltmérőt az izzó két kapcsára kötöm párhuzamosan, egyenfeszültségmérés állásban. Árammérésnél az ampermérőt az izzóval sorosan kötöm, így a teljes áram a műszeren halad keresztül.

5. feladat – megoldás. Ha az energiaforrás 12,4 V, az izzón viszont csak 10,2 V, akkor a különbség $12{,}4 - 10{,}2 = 2{,}2\,\mathrm{V}$ a vezetékekben, csatlakozókban vagy a kapcsolóban esik. Elsősorban laza, oxidált vagy rosszul krimpelt csatlakozót, vékony vezetéket vagy hibás kapcsolót kell keresni.

6. feladat – megoldás. Nem helyes. A fékbetétcsere olyan biztonsági munka, amelyet csak a gyártói előírás szerint, megfelelő emeléssel, szakoktató vagy szakműhely felügyeletével végezhető. Az OBD-olvasó a fékbetét kopásáról általában nem ad teljes képet. A fékrendszer hibája balesetet okozhat, ezért otthoni tanulói munka keretében nem végezhető.

1.3.11. Rövid összefoglaló

A tanuláshoz elegendő egy kis kéziszerszám-készlet, tolómérő, digitális multiméter és egy alap OBD-olvasó. Az OBD-olvasó a szabványos motorhibákat jól mutatja, de nem helyettesíti a gyári rendszertesztert, és nem alkalmas fék, légzsák vagy nagyfeszültségű rendszer diagnosztikájára. Otthon biztonságosan 12 V-os próbapanelen, autón kívüli alkatrészeken és interaktív kalkulátorokon gyakorolhatsz. Jármű alá emelővel tartott autóval bemenni tilos; féket, kormányt, légzsákot, övfeszítőt, HV-rendszert és nagynyomású üzemanyag-rendszert felügyelet nélkül bontani tilos. A feszültséget párhuzamosan, az áramot sorosan mérjük. A mért feszültségesés gyakran vezetékhibára, rossz csatlakozóra vagy testelési hibára utal. **Továbbvitt eredmény.** A kockázatok, a tilos munkák és az egyéni védőeszközök használata a Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök alfejezetben épül tovább.

1.3.12. Források és ellenőrzési hiányok

A munkavédelemre vonatkozó hazai kereteket az 1993. évi XCIII. törvény és végrehajtási rendeletei tartalmazzák (ellenőrizendő: hatályos szöveg). A járművekre és a nagyfeszültségű rendszerekre vonatkozó gyártói javítási utasítások mindig elsőbbséget élveznek (ellenőrizendő: az adott jármű gyártói adatai). Az OBD-csatlakozó és alap protokollok nemzetközi szabványokon alapulnak (ellenőrizendő: ISO 15031, SAE J1962/J1979 aktuális kiadás). A multiméter, nyomatékkulcs és biztosíték értékekre vonatkozó konkrét adatokat a műszergyártó kézikönyve és a gyártói kapcsolási rajz szerint kell ellenőrizni.

2 Munka-, tűz- és környezetvédelem a járműjavító műhelyben

2.1. Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök

2.1.1. Motiváció

Képzeld el, hogy első napod van egy autószerelő műhelyben. A tanulód mögött hamarosan gépjármű áll az emelőn, a kezedben csavarkulcs, a polcról olajos rongy és fékfolyadék kerül le, a sarokban egy légkalapácsot működtető kompresszor zúg. A munkád nem attól válik profivá, hogy gyorsan végez valamit, hanem attól, hogy a munka végén ugyanolyan egészségesen állsz fel, mint ahogy lehajoltál. A munkavédelmi ismeretek nem „papírmunka” vagy „vizsgakérdés”, hanem az a tudás, amely megvéd a levágódó ujjaktól, a szembe fröccsenő savtól, a kipufogógáztól, a zajos károsodástól és a gerincsérvtől.

Ebben az alfejezetben először a munkavédelem jogi és szakmai fogalomrendszerét tanulod meg, majd a kockázatértékelés lépéseit, végül a járműjavító műhely leggyakoribb egyéni védőeszközeit (EVE). A cél nem az, hogy betéve tudj paragrafusokat, hanem hogy a műhelyben mindig tudd: melyik veszély milyen védelmet igényel, és miért kell azt használnod akkor is, ha senki nem nézi.

2.1.2. Szemléletes kép: a műhely mint veszélytérkép

Egy tipikus autószerelő műhelyben egyszerre vannak jelen különböző veszélyek. A csarnokban emelők, gépkocsiakna, forgó gépek (köszörű, fúrógép, csiszológép, ventilátorok), sűrített levegős rendszerek, hegesztő- és forrasztóberendezések, elektromos kéziszerszámok, olajos és üzemanyagos munkafolyamatok, akkumulátorok, fékpor és hűtőközegek találhatók. A bejáratnál biztonsági jelzések, a falon tűzoltó készülék, a polcokon védőkesztyű, védőszemüveg, hallásvédő. A munkavédelem éppen azt tanítja meg, hogyan kell ezt a teret úgy használni, hogy ne váljon baleseti helyszínné vagy foglalkozási megbetegedés okozójává.

2.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Munkavédelem: a munkavédelem a munkahelyi egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeinek biztosítása, illetve az egészséget és biztonságot veszélyeztető hatások elleni védekezés. A munkavédelem két nagy területből áll:

- **munkabiztonság** (biztonságtechnika): a munkavégzés során fellépő, jellemzően hirtelen bekövetkező baleseti veszélyekkel foglalkozik (pl. esés, becsípődés, áramütés, égés);
- **munkaegészségügy** (foglalkozás-egészségügy): a hosszabb expozíció során kialakuló ártalmakkal, foglalkozási megbetegedésekkel foglalkozik (pl. zajkárosodás, porártalom, oldószerek okozta idegrendszeri hatás, rezgésártalom).

Definíció. Veszélyes és ártalmas termelési tényező: veszélyes tényező az, ami rövid idő alatt balesetet okozhat (például forgó tengely, feszültség alatt álló csupasz vezeték, megemelt teher), míg ártalmas tényező az, ami hosszabb idő alatt, fokozatosan károsítja az egészséget (például zaj, por, oldószergőz, ismétlődő egyoldalú terhelés).

Definíció. Kockázat: annak a valószínűsége és súlyossága együttesen, hogy egy veszélyes vagy ártalmas tényező káros hatást vált ki. A kockázatértékelés ezt számszerűsíti vagy legalább szisztematikusan minősíti.

Szabály. A munkavédelmi törvény fogalmai (ellenőrizendő: a hatályos törvényszöveg szerint): a munkavédelemről szóló törvény (1993. évi XCIII. törvény, módosításokkal; ellenőrizendő: hatályos szöveg) meghatározza a munkáltató és a munkavállaló jogait és kötelezettségeit, a munkahely, a munkavédelmi képviselő, a munkavédelmi szakember, a kockázatértékelés, a munkabaleset, a foglalkozási megbetegedés és az egyéni védőeszköz fogalmát. Pontos paragrafusokat itt nem idézünk, mert a törvény módosulhat; a műhelyi gyakorlat azonban a következő alapelveket mindig követi.

2.1.4. Munkáltatói és munkavállalói kötelezettségek

A munkavédelmi rendszer akkor működik, ha mindkét fél komolyan veszi a felelősségét.

Munkáltatói kötelezettségek (jellemzően, a hatályos törvény alapján, ellenőrizendő):

- A munkahelyet úgy kell kialakítani, hogy az ne veszélyeztesse a dolgozók egészségét és biztonságát.
- A munkavégzéshez szükséges szerszámokat, gépeket, anyagokat biztonságos állapotban kell tartani.
- A munkavállalót munkába állás előtt, munkakörváltozáskor és rendszeres időközönként munkavédelmi oktatásban kell részesíteni.
- A kockázatokat értékelni kell, és a megelőzéshez szükséges intézkedéseket meg kell tenni.
- Ha a műszaki, szervezési intézkedések nem elégségesek, a munkáltató köteles megfelelő egyéni védőeszközöket biztosítani, és azokat a munkavállalóval használtatni.
- A munkabaleseteket ki kell vizsgálni, nyilvántartani és a hatóságnak bejelenteni.

Munkavállalói kötelezettségek (jellemzően, ellenőrizendő):

- A munkát az utasításoknak és a munkavédelmi szabályoknak megfelelően kell végezni.
- A rendelkezésre bocsátott egyéni védőeszközt rendeltetésszerűen kell használni, és a munkáltatónak jelezni, ha az megsérült vagy elveszett.
- A munkáltatót haladéktalanul értesíteni kell bármely balesetről, sérülésről, veszélyhelyzetről vagy az egészséget fenyegető állapotról.
- A munkavállaló nem távolíthat el biztonsági berendezést, védőburkolatot, és nem kapcsolhat ki védelmi funkciót.

Szabály. Munkavédelmi oktatás: a munkavállalót csak azt követően szabad önálló munkára bocsátani, ha a munkavédelmi oktatást megtartották, és a szükséges ismereteket a dolgozó bizonyíthatóan elsajátította. A járműjavító műhelyben ez kiterjed az emelőhasználatra, az elektromos kéziszerszámokra, a vegyszerek kezelésére, a tűzvédelmi ismeretekre és az elsősegélynyújtás alapjaira is.

Szabály. Munkabaleset bejelentése: a súlyos munkabalesetet (pl. halálos vagy életveszélyes sérülés, csonkolás, végtag vagy érzékszerv elvesztése; ellenőrizendő: a munkavédelmi törvény súlyos munkabalesetre vonatkozó fogalommeghatározása) a munkáltatónak haladéktalanul be

kell jelenteni a munkavédelmi hatóságnak, és meg kell őriznie a helyszínt az eljárás befejezéséig, ha az nem jelent további veszélyt (ellenőrizendő: az eljárásrend a hatályos előírások szerint). A munkaképtelenséget okozó többi munkabalesetet ki kell vizsgálni és jegyzőkönyvezni kell (ellenőrizendő: a jegyzőkönyv megküldésének határideje); a nem súlyos balesetnél nincs azonnali hatósági bejelentési kötelezettség. A tanuló és a munkavállaló minden balesetet, még a kisebb sérülést is, köteles jelenteni a műhelyvezetőnek, hogy a kivizsgálás és a megelőzés megtörténhessen.

2.1.5. Kockázatértékelés lépései

A kockázatértékelés nem „papírmunka”, hanem a műhelyi gondolkodás formális leírása. A műszerészek nap mint nap hasonló módszerrel hibakeresnek: először azonosítják a tünetet, majd a lehetséges okokat, végül kiválasztják a legvalószínűbbet és a javítást.

Definíció. Kockázatértékelés: szisztematikus eljárás, amelynek során a munkahelyen jelen lévő veszélyes és ártalmas tényezőket, valamint azok bekövetkezési valószínűségét és súlyosságát felmérik, és meghatározzák a szükséges védelmi intézkedéseket.

A kockázatértékelés lépései egy javítóműhelyben:

1. **A veszélyforrás azonosítása.** Végigjárjuk a munkahelyet és a munkafolyamatokat: emelés, jármű alatti munkavégzés, akkumulátor kezelés, fékjavítás, fékpor, oldószerek, zaj, kéziszerszámok, hegesztés, elektromos berendezések, kipufogógáz.
2. **A kitett személyek azonosítása.** Kik dolgoznak az adott területen? Szerelő, tanuló, takarító, karbantartó, esetleg ügyfél. A tanulókra az átlagosnál nagyobb figyelmet kell fordítani.
3. **A kockázat becslése.** Minden veszélyforrásra megbecsüljük, milyen gyakran fordul elő, és milyen súlyos következménnyel járhat. Egyszerű módszer: valószínűség (gyakori, előfordulhat, ritka) és súlyosság (könnyű sérülés, súlyos sérülés, életveszély) szorzata vagy mátrixa.
4. **Intézkedések meghatározása.** A megelőzési hierarchiát követve kiválasztjuk a megfelelő védelmi intézkedést.
5. **Az intézkedések bevezetése és ellenőrzése.** A szükséges védőfalakat, szellőzéseket, egyéni védőeszközöket beszerezzük, és időszakosan ellenőrizzük, hogy tényleg működnek és használják őket.
6. **Dokumentálás.** A kockázatértékelést írásba kell foglalni és rendszeresen felülvizsgálni, különösen új gép, új technológia vagy baleset után (ellenőrizendő: a hatályos jogszabályi kötelezettségek szerint).

2.1.5.1. A megelőzés hierarchiája

Összefüggés. Megelőzési hierarchia: a védekezési intézkedések erőssége és eredményessége szerint a következő sorrendet kell követni:

1. **A veszély megszüntetése vagy elkerülése.** Például a motor nem jár zárt térben, ha a feladathoz nem kell; a nagynyomású rendszert nem bontjuk nyomás alatt; a munkafolyamatot úgy tervezzük, hogy a veszélyes művelet el sem kell. Ez a legerősebb védelem, mert nem a dolgozó viselkedésétől függ.
2. **Helyettesítés.** A veszélyest kevésbé veszélyessel váltjuk fel. Például azbesztmentes fékbetét, oldószeres helyett vizes bázisú tisztító, kisebb zajú kompresszor.

3. **Műszaki, kollektív védelem.** Például a forgó köszörűtárcsa zárt burkolata, az érintésvédelmi burkolat, a kipufogógáz-elszívó berendezés, a hegesztési füstelszívó, a műhely szellőzése, a jármű alá reteszelt járműemelő vagy teherbírású bak (nem kocsiemelő), a zajforrások hangszigetelése.
4. **Szervezési intézkedés.** Például a munkavégzés időtartamának korlátozása, a forgásos munkamegosztás, a munkaterület lezárása, a veszélyes anyagok megfelelő tárolása, a gyalogos közlekedési utak kijelölése.
5. **Egyéni védőeszköz (EVE).** A legutolsó védelmi réteg: ha a veszélyt technikailag és szervezéssel sem lehet eléggé csökkenteni, a munkavállaló visel védőfelszerelést (pl. védőkesztyű, védőszemüveg, hallásvédő, védőcipő).

Továbbvitt eredmény. A megelőzési hierarchiát és az EVE kiválasztásának elvét használjuk a Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő alfejezetben, ahol az egyes veszélyhelyzetekhez rendelünk konkrét védelmi intézkedéseket, valamint a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetben, ahol a vegyi kockázatok kezelését tárgyaljuk.

2.1.6. Egyéni védőeszközök a járműjavító műhelyben

Az egyéni védőeszköz (EVE) olyan ruházat, védőfelszerelés vagy védőkészülék, amelyet a munkavállaló visel a kockázatok csökkentése érdekében. A járműjavító műhelyben az alábbiakra van leggyakrabban szükség:

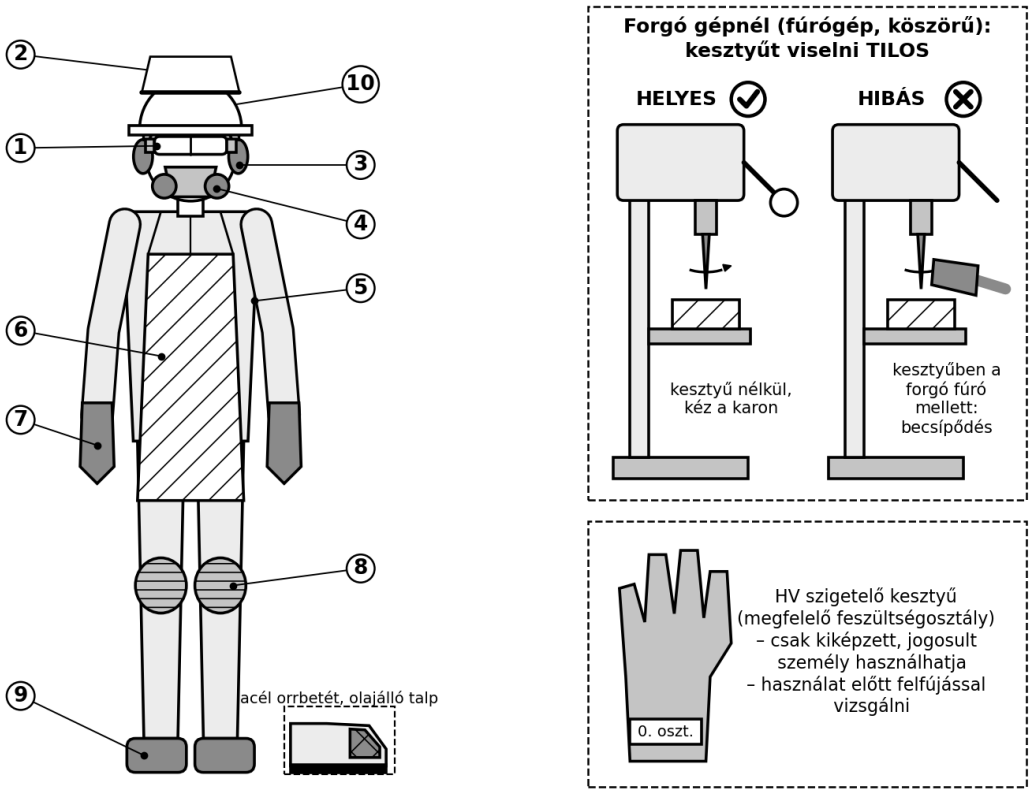
Táblázat. Jellemző EVE-k a járműjavító műhelyben

EVE típus	Műhelyi feladat	Milyen veszélyt csökkent	Megjegyzés
Munkavédelmi cipő (acél orrbetéttel, olajálló talppal)	Emelés, szerelés, jármű alatti munka, alkatrészmozgatás	Leeső teher, becsípődés, csúszás, éles tárgy	A talp legyen olaj- és csúszásálló; a cipőt ellenőrizni kell sérülésre.
Vegyi és olajálló kesztyű (nitril, neoprén vagy más megfelelő)	Olajcsere, fékfolyadék, oldószerek, vegyszerek, akkumulátorsav	Bőrirritáció, vegyi égés, ártalmas anyagok felszívódása	Forgó gépek mellett TILOS kesztyűt viselni a becsípődés veszélye miatt.
Szigetelő kesztyű (megfelelő feszültségosztályú)	Nagyfeszültségű (HV) rendszerekkel kapcsolatos ellenőrzések	Áramütés, ívhatás	Csak arra kiképzett és jogosult személy használhatja, a kesztyűt használat előtt vizsgálni kell.
Védőszemüveg (fröccsenés- és ütésálló)	Fúrás, csiszolás, fékporral való munka, vegyszerek, akkumulátor	Szembe kerülő részecske, folyadék, szikra, fény	Az oldalvédős kivitel és az arcvédő használata javasolt.

EVE típus	Műhelyi feladat	Milyen veszélyt csökkent	Megjegyzés
Arcvédő (pajzs)	Köszörülés, csiszolás, HV-ellenőrzés előtti kapcsolások	Szikra, repülő részecskék, ívhatás	A védőszemüveggel együtt is szükséges lehet.
Hallásvédő (füldugó vagy fültok)	Légkalapács, köszörű, zajos próbaterem	Zaj okozta halláskárosodás	A napi zajexpozíciós szint ($L_{EX,8h}$) 80 dB(A) felett hallásvédőt biztosítani kell, 85 dB(A) felett viselni kötelező (ellenőrizendő: 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet cselekvési értékei).
Légzésvédő (porálarc vagy szűrőbetétes maszk)	Fékpor, csiszolás, festékelőkészítés, hegesztés, azbesztgyanú esetén	Belélegzett por, gőz, füst	A fékport nem fújjuk sűrített levegővel; régi járműveken azbeszt lehetősége miatt különösen fontos.
Védőruha, olajálló kötény	Olajos, zsíros, forró alkatrészekkel való munka	Bőr szennyezése, égési sérülés	A ruházat ne legyen bő, ne akadjon be forgó részbe.
Védősisak (ahol leeső tárgyak lehetnek)	Emelővel, daruval, jármű alatti munka során	Leeső alkatrész, fejsérülés	A műhelyben ritkább, de emelőgépes területen szükséges.
Térdvédő, gerincvédő öv	Jármű alatti, térdelő munka, nehéz emelés	Térd- és gerincsérülés	A nehéz tárgyak emelésénél inkább emelőeszközt kell használni.

Az értékek és ajánlások tájékoztató jellegűek; a kötelező határértékek az aktuális munkavédelmi előírások szerint változhatnak (ellenőrizendő: a hatályos jogszabályi határértékek).

Az alábbi rajzon a táblázat védőeszközei egy alakon, számozva láthatók (a valóságban a feladat szerint választunk közülük). A jobb oldali keret a kesztyűtilalmat mutatja: forgó gépnél kesztyű nélkül dolgozunk, mert a kesztyűt a forgó rész elkaphatja; a szigetelő HV-kesztyűt csak kiképzett, jogosult személy használhatja.



2.1. ábra. Szerelő egyéni védőeszközökkel; forgó gépnél kesztyű nélkül helyes, kesztyűben hibás

Szabály. EVE használati kötelezettség: az EVE-t a munkáltató biztosítja, és a munkavállaló köteles rendeltetésszerűen használni. A műhelyben a védőeszközök nem választható kiegészítők, hanem a munkavégzés feltételei. Aki például fúráskor nem visel védőszemüveget, az a munkavédelmi szabályt sérti, és saját magát is veszélyezteti.

Figyelem. A védőeszközök kiválasztásakor mindig a gyártó adatlapját és a munkahelyi kockázatértékelést kell figyelembe venni. Egy kesztyű lehet olajálló, de nem alkalmas elektromos munkára; egy védőszemüveg lehet ütésálló, de nem fröccsenésálló. A nagyfeszültségű rendszereken használt szigetelő kesztyűt használat előtt vizsgálni kell (levegővel felfújva ellenőrizni, nincs-e szivárgás vagy sérülés), és a felülvizsgálati időn belül kell lennie (ellenőrizendő: a gyártói előírás). A szigetelő kesztyű osztályát a rendszer legnagyobb feszültsége határozza meg, nem a viselő jogosultsága: járművön jellemzően 0. osztály (1000 V AC / 1500 V DC; ellenőrizendő: MSZ EN 60903 és a gyártói előírás); a HV-rendszeren csak arra jogosult dolgozhat, a rendszert előbb feszültségmentesíteni és a feszültségmentességet ellenőrizni kell.

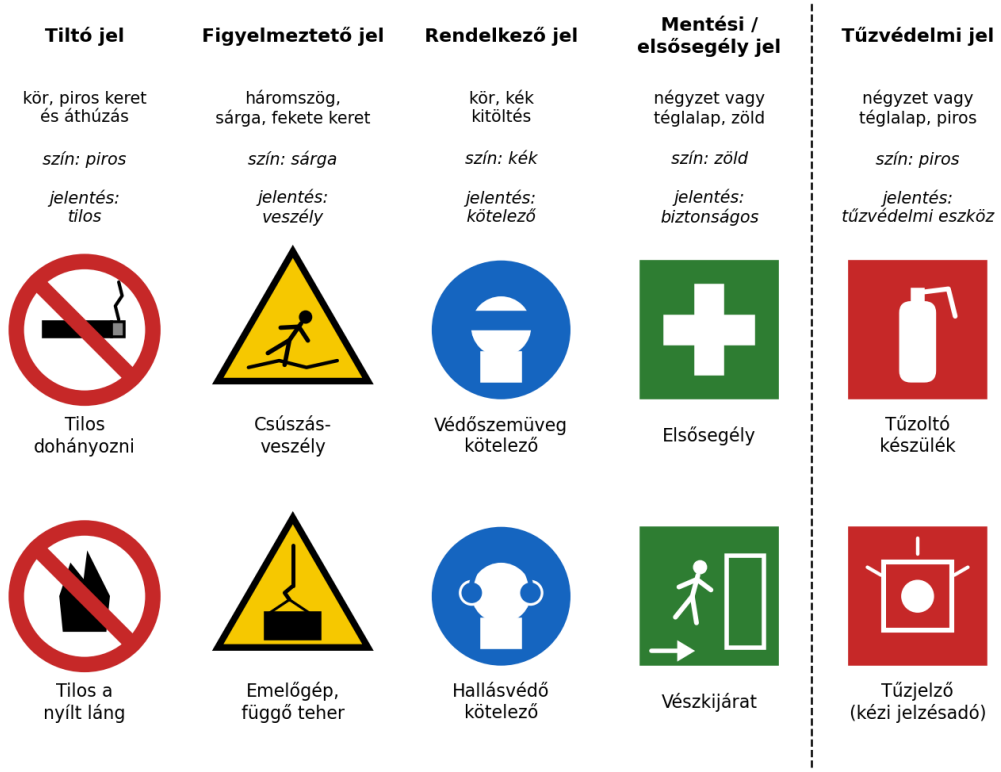
2.1.7. Biztonsági szín- és alakjelek, munkahelyi rend

A műhelyben a biztonsági jelzések egyértelmű, szabványosított vizuális nyelvet alkotnak. A biztonsági színek és alakzatok a következő általános jelentéssel bírnak (ellenőrizendő: az MSZ EN ISO 7010 és a vonatkozó előírások szerint):

- **Piros** (tilos, megállás, tűzvédelmi eszköz): tilos dohányozni, tűzoltó készülék helye, vészleállító.
- **Sárga** (figyelmeztetés): csúszásveszély, akadály, emelőgép mozgása.
- **Kék** (kötelező magatartás): védőszemüveget kötelező viselni, hallásvédő használata kötelező.

- **Zöld** (mentesítő, elsősegély, vészkijárat): elsősegélynyújtó felszerelés, menekülési útvonal, biztonságos terület.
- A jelzések alakja is kötött: a tiltás kör, a figyelmeztetés háromszög, a kötelezés kör, a tájékoztatás négyszög vagy négyzet.

Az ábra a négy jelcsoportot és külön oszlopban a tűzvédelmi jelet (piros négyzet, pl. tűzoltó készülék helye) hasonlítja össze; fekete-fehér nyomtatásban az alak és a felirat hordozza a jelentést. A HTML-változatban kvízként gyakorolhatod a jelek besorolását.



2.2. ábra. Biztonsági jelek alak- és színrendszere mintapiktogramokkal

Szabály. Munkahelyi rend: a műhelyben a közlekedési utakat szabadon kell hagyni, a menekülési útvonalakat és a vészkijáratokat nem szabad eltorlaszolni. A szerszámokat a napi munka végén vissza kell helyezni, a sérült szerszámokat elkülöníteni. A kiömlött olajat, fékfolyadékot, hűtőfolyadékot azonnal fel kell takarítani megfelelő nedvszívó anyaggal, és a szennyezett anyagot veszélyes hulladékként kell gyűjteni. A jól szervezett munkahely a balesetek egyik legjobb megelőzése.

2.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanuló fékbetétcserét végzett. A munka során a féknyereg leszerelése után sűrített levegővel akarta kitisztítani a port. A műhelyvezető azonnal leállította, mert a fékpor belélegezve ártalmas, és a régi járműveknél azbeszt is lehet. A tanulónak fel kellett vennie a megfelelő légzésvédőt (szűrőbetétes maszkot), védőszemüveget, és fékportalanító folyadékot, valamint nedves rongyot kellett használnia. A tanulság: a műhelyben a láthatatlan veszélyek is súlyosak, és a védőeszközöt nem „időpazarlás”, hanem a szakszerű munkavégzés része.

2.1.9. Gyakorlati útmutató: EVE kiválasztása egy adott munkafolyamathoz

Cél: megtanulni kiválasztani a megfelelő egyéni védőeszközöket egy olajcsere + fékellenőrzés munkafolyamathoz.

Előkészítés: - Azonosítsd a munkafolyamat veszélyeit: olaj (bőrre kerülhet), meleg motor (égés), leeső jármű (emelőhasználat), fékpor, szennyezett rongy, vegyi anyagok. - Ellenőrizd a rendelkezésre álló EVE-ket: munkavédelmi cipő, olajálló kesztyű, védőszemüveg, munkásnadrág, esetleg térdvédő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkalépések: 1. **Vedd fel a munkavédelmi cipőt** (acél orrbetéttel, csúszásmentes talppal). Ellenőrizd, hogy a talpa nem sérült, és a cipő megfelelően záródik. 2. **Vegyél fel olajálló védőkesztyűt.** Ügyelj arra, hogy forgó géphez ne nyúlj vele, de olajos alkatrészek szereléséhez megfelelő. 3. **Vegyél fel védőszemüveget**, ha fékporral, szikrázó munkával vagy folyadékokkal dolgozol. 4. **Emelés előtt** döntsd el, milyen eszközzel dolgozol. *Műhelyi járműemelőn* a járművet a gyártói emelési pontokon vedd fel, emelés után ellenőrizd a stabilitást és a mechanikus reteszek bekattanását, és csak ezután menj alá. *Kocsiemelővel* csak emelni szabad: a járművet a gyártói alátámasztási pontokon megfelelő teherbírású bakokra kell leengedni; kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos. 5. **A munka során** az olajos rongyot és a leeresztett olajat a megfelelő gyűjtőedénybe helyezd. A kiömlött anyagot azonnal takarítsd fel. 6. **A munka végén** mosd meg a kezed még kesztyűviselés után is, és a szennyezett védőeszközöket tisztítsd meg vagy cseréld.

Ellenőrzési pont: a műhelyben minden meghatározott munkafolyamathoz tartozik EVE-előírás. Ha nem tudod, mit kell viselni, kérdezd meg a műhelyvezetőt, vagy nézd meg a munkautasítást.

2.1.10. Tipikus hibák

1. **Kesztyű viselése forgó gépen.** A forgó fúrógép vagy köszörű mellett a kesztyű becsípődhet és magával rántja a kezet. Forgó gépeknél tilos kesztyűt használni, kivéve, ha a gép kialakítása és a kockázatértékelés kifejezetten engedi.
2. **A védőszemüveg elhagyása „csak egy pillanatra”.** Egyetlen szikra vagy fémforgács is maradandó szemsérülést okozhat. A védőszemüvegnek mindig fent kell lennie, amíg a munka tart.
3. **Az emelőbak kihagyása sietségből.** A kocsiemelő hidraulikus tömítése bármikor meghibásodhat. Kocsiemelővel emelt jármű alá csak akkor szabad bemenni, ha a jármű már teherbírású bakokra van leengedve; a kocsiemelő nem lehet tartóelem. (Reteszelt műhelyi járműemelőn a retesz a biztonságos alátámasztás.)
4. **A veszélyes anyagok címkéinek figyelmen kívül hagyása.** Az olaj, fékfolyadék, hűtőfolyadék és oldószerek különböző kockázatot jelentenek; a biztonsági adatlapot és a címkét mindig el kell olvasni a használat előtt.
5. **A hallásvédő mellőzése zajos munkáknál.** A halláskárosodás fokozatos, észrevétlen is lehet. Ha a zaj miatt felemelt hangon kell beszélni, hallásvédőre van szükség.

2.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A munkavédelem csak a balesetek (hirtelen sérülések) megelőzésével foglalkozik.
2. Sorold fel a megelőzési hierarchia lépéseit erősség szerint csökkenő sorrendben (a leghatékonyabbal kezdve).

3. Melyik EVE-t használnád olajcsere közben, és miért?
4. Mi a teendő, ha kiömlik a fékfolyadék a műhely padlójára?
5. Milyen szín jelöli a kötelező védőeszköz-használatot a biztonsági jeleknél?
6. Miért tilos kesztyűt viselni forgó gép mellett?

2.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg röviden, mi a különbség a veszélyes és az ártalmas termelési tényező között, és mindkettőre mondj egy-egy példát a járműjavító műhelyből.

2. feladat (A). Sorold fel, milyen EVE-ket kell viselni a következő munkához: hegesztés, csiszolás, fékbetétcsere. Indokold mindegyiket.

3. feladat (B). Egy műhelyben a munkáltató felszerel egy zajos kompresszort. A kockázatértékelés szerint a zajszint 90 dB(A) a kompresszor közelében, és a dolgozó napi 2 órát tölt ott. Válaszd ki, milyen védelmi intézkedést kell tenni a megelőzési hierarchia szerint, és indokold a sorrendet.

4. feladat (B). Írd le a kockázatértékelés lépéseit egy járműjavító műhelyben, konkrétan az emelőn végzett munkára vonatkoztatva. Milyen dokumentációt kell készíteni?

5. feladat (C). Egy tanuló egy régi, azbesztgyanús fékbetéttel dolgozik. Milyen veszélyekkel kell számolnia, és milyen védelmi intézkedéseket kell tennie? Miért nem szabad sűrített levegővel port fújni?

6. feladat (D). Adott egy műhelyi baleset: egy szerelő a fúrógépnél kesztyűt viselt, és a kesztyű becsípődött, ami sérülést okozott. Elemezd a baleset okait a munkavédelmi felelősség szempontjából. Ki milyen szabályt sértett? Milyen intézkedéssel lehetett volna megelőzni?

2.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A munkavédelem két területből áll: munkabiztonságból (balesetek elkerülése) és munkaegészségügyből (foglalkozási megbetegedések megelőzése).
2. A megelőzési hierarchia erősorrendben: 1. a veszély megszüntetése vagy elkerülése, 2. helyettesítés, 3. műszaki (kollektív) védelem, 4. szervezési intézkedés, 5. egyéni védőeszköz.
3. Olajcsere közben: munkavédelmi cipő (leeső tárgy, csúszás), olajálló kesztyű (olajjal való érintkezés), védőszemüveg (lecsöpögő olaj), munkaruha. A forgó géphez ne nyúlj kesztyűvel.
4. A kiömlött fékfolyadékot azonnal fel kell takarítani nedvszívó anyaggal (pl. megfelelő granulátum), a szennyezett anyagot veszélyes hulladékként kell gyűjteni, és a területet meg kell jelölni a csúszásveszély miatt. A fékfolyadék a fényezést is károsíthatja.
5. A kék szín jelöli a kötelező védőeszköz-használatot (pl. védőszemüveg kötelező).
6. A kesztyű becsípődhet a forgó szerszámba, és magával rántja a kezet, ami súlyos, akár csonkulásos sérülést okoz. Forgó gépek mellett a kesztyű viselése tilos.

1. feladat (A) megoldása. A veszélyes tényező rövid idő alatt balesetet okozhat, például a leeső jármű, a forgó fúrógép, a csatlakozóban lévő 230 V. Az ártalmas tényező hosszabb expozíció után okoz foglalkozási megbetegedést, például a folyamatos zaj halláskárosodást, az oldószergőz idegrendszeri panaszokat, a fékpor pedig légúti megbetegedést okozhat.

2. feladat (A) megoldása. Hegesztéshez: megfelelő arcvédő (ívkárosodás ellen), hegesztőkesztyű (égés ellen), hőálló védőruha, légzésvédő (szűrő) a füst ellen. Csiszoláshoz: védőszemüveg vagy arcvédő (szikra, repülő részecske), hallásvédő (zaj), munkavédelmi cipő, és a csiszológépen

védőburkolat. Fékbetétcseréhez: védőszemüveg (fékpor, folyadék), olajálló kesztyű, légzésvédő (poros munka, azbesztgyanú), munkavédelmi cipő, és a fékport nedvesen vagy fékportalanítóval kell eltávolítani.

3. feladat (B) megoldása. A megelőzési hierarchia szerint először a zajt kell műszakilag csökkenteni: a kompresszort zárt helyre vagy hangszigetelő burkolattal ellátni, rugalmas alátéttel rezgésmentesíteni. Ha ez nem elég, szervezési intézkedés következik: a dolgozó munkavégzési idejét a zajos területen rövidíteni, munkaközi szünetet beiktatni, forgásos munkaszervezés. Végül, ha a zajszint még mindig meghaladja a határértéket, hallásvédőt kell biztosítani és kötelezővé tenni. A napi zajexpozíciós szint: $L_{EX,8h} = 90\,\mathrm{dB(A)} + 10\lg\frac{2\,\mathrm{h}}{8\,\mathrm{h}} = 90 - 6{,}0 \approx 84\,\mathrm{dB(A)}$ (ha a nap többi része csendes). Ez az alsó cselekvési érték (80 dB(A)) fölött, a felső (85 dB(A)) alatt van: a munkáltatónak hallásvédőt kell biztosítania, a műszaki zajcsökkentés pedig így is elsőbbséget élvez; a kompresszor közelében tartózkodáskor a viselés erősen ajánlott (ellenőrizendő: 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet cselekvési értékei). A pillanatnyi 90 dB(A) szintet tehát nem közvetlenül a határértékhez, hanem az időtartammal súlyozott napi szinthez kell viszonyítani.

4. feladat (B) megoldása. A kockázatértékelés lépései az emelőn végzett munkára: 1) Veszélyforrás: a jármű leesése, becsípődés, hidraulikus meghibásodás. 2) Kitett személyek: szerelő, tanuló. 3) Kockázatbecslés: valószínűség (pl. a kocsiemelő hidraulikájának vagy a járműemelő reteszének meghibásodása ritka, de előfordulhat), súlyosság (halálos is lehet) → magas kockázat. 4) Intézkedések: járműemelőn a gyártói emelési pontok használata és a mechanikus reteszek ellenőrzése; kocsiemelővel emelt járműnél teherbírású bakok alkalmazása; a jármű alá csak ezek után bemenni, a munkaterület lezárása, megfelelő munkavédelmi cipő. 5) Bevezetés és ellenőrzés: az emelőt rendszeresen vizsgálni, a dolgozókat oktatni. 6) Dokumentálás: a kockázatértékelést írásban rögzíteni, a vizsgálatokat nyilvántartani.

5. feladat (C) megoldása. Az azbesztgyanús fékbetét belélegezve súlyos légúti megbetegedéseket, akár daganatos betegségeket is okozhat. A veszélyek csökkentése: légzésvédő (szűrőbetétes maszk, azbesztszűrővel), megfelelő védőruha, kesztyű, védőszemüveg. A port nem szabad sűrített levegővel fújni, mert az a port a levegőbe juttatja, és a dolgozó belélegzi. Helyes módszer: nedves letörlés, fékportalanító folyadék, zárt elszívás. A hulladékot azbesztgyanús anyagként kell kezelni, és a munkát különleges védelmi intézkedésekkel végezni.

6. feladat (D) megoldása. A baleset oka: a munkavállaló kesztyűt viselt forgó gép mellett, ami tilos. A munkáltató felelőssége, ha nem oktatta megfelelően a munkavállalót, vagy nem tett ki figyelmeztetést, illetve ha a munkakörülmények nem voltak megfelelőek (pl. nem volt védőburkolat a fúrógépen). A tanuló/szerelő felelőssége, mert a szabályt megszegte. A megelőzés: munkavédelmi oktatás, a kesztyűviselés tilalmának tudatosítása, a gépre figyelmeztető jelzés, a munkautasításban rögzíteni, hogy forgó gép mellett tilos kesztyűt viselni, és a munkát csak akkor végezni, ha a gép leállt. A balesetet be kell jelenteni és kivizsgálni.

2.1.14. Rövid összefoglaló

A munkavédelem komplex tevékenység, amely a munkabiztonságot (balesetek elleni védelem) és a munkaegészségügyet (foglalkozási megbetegedésekkel szembeni védelem) egyaránt magában foglalja. A munkavédelmi törvény alapfogalmait és a munkáltató, munkavállaló kötelezettségeit a hatályos jogszabály szerint kell ismerni (ellenőrizendő). A kockázatértékelés szisztematikus lépésekkel azonosítja a veszélyes és ártalmas tényezőket, felméri a kockázatot, és meghatározza a védekezést. A megelőzési hierarchia szerint először a veszély megszüntetésével vagy elkerülésével, majd helyettesítéssel, azután műszaki (kollektív) védelemmel, szervezési intézkedésekkel kell védekezni, és csak ezek elégtelensége esetén egyéni védőeszközzel. A járműjavító műhelyben a leggyakoribb EVE-k: munkavédelmi cipő, védőkesztyű (vegyi, olajálló, szigetelő), védőszemüveg,

arcvédő, hallásvédő, légzésvédő, védőruha. A biztonsági szín- és alakjelek piros-sárga-kék-zöld rendszerét ismerni kell, a menekülési útvonalakat szabadon kell tartani, és a munkahelyi rend mindig a balesetek megelőzésének alapja.

Továbbvitt eredmény. A megelőzési hierarchia és az EVE kiválasztásának elve a Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő és a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetekhez szükséges: ott ezt a lépcsőzetes védelmi modellt alkalmazzuk az egyes konkrét veszélyekre.

2.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípusok: a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény és módosításai (ellenőrizendő: hatályos szöveg, paragrafusszámok, bejelentési eljárás); a munkavédelmi jogszabályokhoz kapcsolódó rendeletek és határértékek (ellenőrizendő: zaj-, levegő- és vegyi anyag határértékek); szabványok (pl. MSZ EN ISO 7010 biztonsági jelek, EVE szabványok – ellenőrizendő).
- Az EU-OSHA és a nemzeti munkavédelmi hatóság tájékoztatója a kockázatértékelés gyakorlatáról (ellenőrizendő: aktuális útmutatók).
- A alfejezetben a jogszabályi előírásokat csak elvi szinten, ellenőrzési jelzéssel tüntettem fel; a pontos bejelentési határidőket, határértékeket és paragrafusokat a kiadás előtt a hatályos forrásokból kell ellenőrizni.

2.2. Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő

2.2.1. Motiváció

Egy zajos, forgalmas márkaszervizben dolgozol. A műhelyvezető rád bízza az egyik ügyfélautó olajcseréjét. Az autó a kétoszlopos emelőn áll, és valaki közben beindította a motort, pedig olajcseréhez nincs rá szükség; a motor jár, miközben te az olajszintet ellenőriznéd. (Figyelmes olvasó észreveszi: olajszintet járó motornál és emelőn nem mérünk – ez is hiba. Az olajszintet leállított motornál, vízszintesen álló járművön, a gyártó szerinti várakozás után ellenőrizzük.) A műhelyben erős kipufogógáz-szag terjeng, a sarokban sűrített levegős fúvókával port fújnak le egy féktárcsáról. Te az emelő alá hajolnál, hogy megnézd az olajleeresztő csavart, de nem tudod, hogy az autó valóban biztonságosan alá van-e támasztva. Ezekben a pillanatokban dől el, hogy a napod baleset nélkül ér-e véget, vagy a mentő visz el. Ez az alfejezet arra tanít meg, hogyan ismerd fel a járműjavító műhely jellegzetes veszélyforrásait, és hogyan dolgozz úgy, hogy estére egészségesen mehess haza.

2.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy tipikus autószervizt! Balra egy kétoszlopos emelő emelkedik, két erős acéloszloppal és négy elforgatható emelőkarral, amelyek gumipárnás végei a jármű küszöbénél, a gyártó által kijelölt pontokra támaszkodnak. Középen egy szerelőakna mélyed a padlóba, benne lámpa és elszívócső. Jobb oldalon egy falra szerelt elszívóberendezés hajlékony tömlője lóg, amit a kipufogóvéghez lehet csatlakoztatni. A fal mellett sűrített levegős pisztoly, a sarokban kocsiemelő és két bak. A háttérben egy daru mozog, motorblokkot emelnek ki. Ebben a térben minden berendezés hasznos, de mindegyik veszélyessé válhat, ha figyelmetlenül használod.

2.2.3. Definíciók és alapelvek

Definíció. Az **emelő** olyan munkaeszköz, amely a járművet megemeli, hogy a szerelő hozzáférjen az alvázhoz. A **kétoszlopos emelő** két függőleges oszlopból és négy, befelé forgatható emelőkarból áll; a járművet a gyártó által megjelölt emelési pontokon tartja. Az **ollós emelő** a járművet alulról, nagy felületű platformmal emeli, jellemzően a küszöbök vagy a padlólemez megerősített pontjain. A **kocsiemelő** (műhelyi padlóemelő) kis, mozgatható hidraulikus emelő, amelyet általában kerékcseréhez vagy kisebb emeléshez használnak, és amely **soha nem helyettesíti a biztos alátámasztást**. A **bak** (vagy kitámasztó láb) merev, terhelhető alátámasztó eszköz, amelyre a járművet emelés után leengedik.

Szabály. Jármű alá csak akkor szabad benyúlni, ha az **megfelelő teherbírású, gyártói javítási utasítás szerinti emelési pontokon alá van támasztva**. Kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni **tilos**, mert a hidraulikus emelő lassan le tud ereszteni. Az emelőre vonatkozó teherbírást mindig ellenőrizni kell, és a jármű tömegénél nagyobbnak kell lennie.

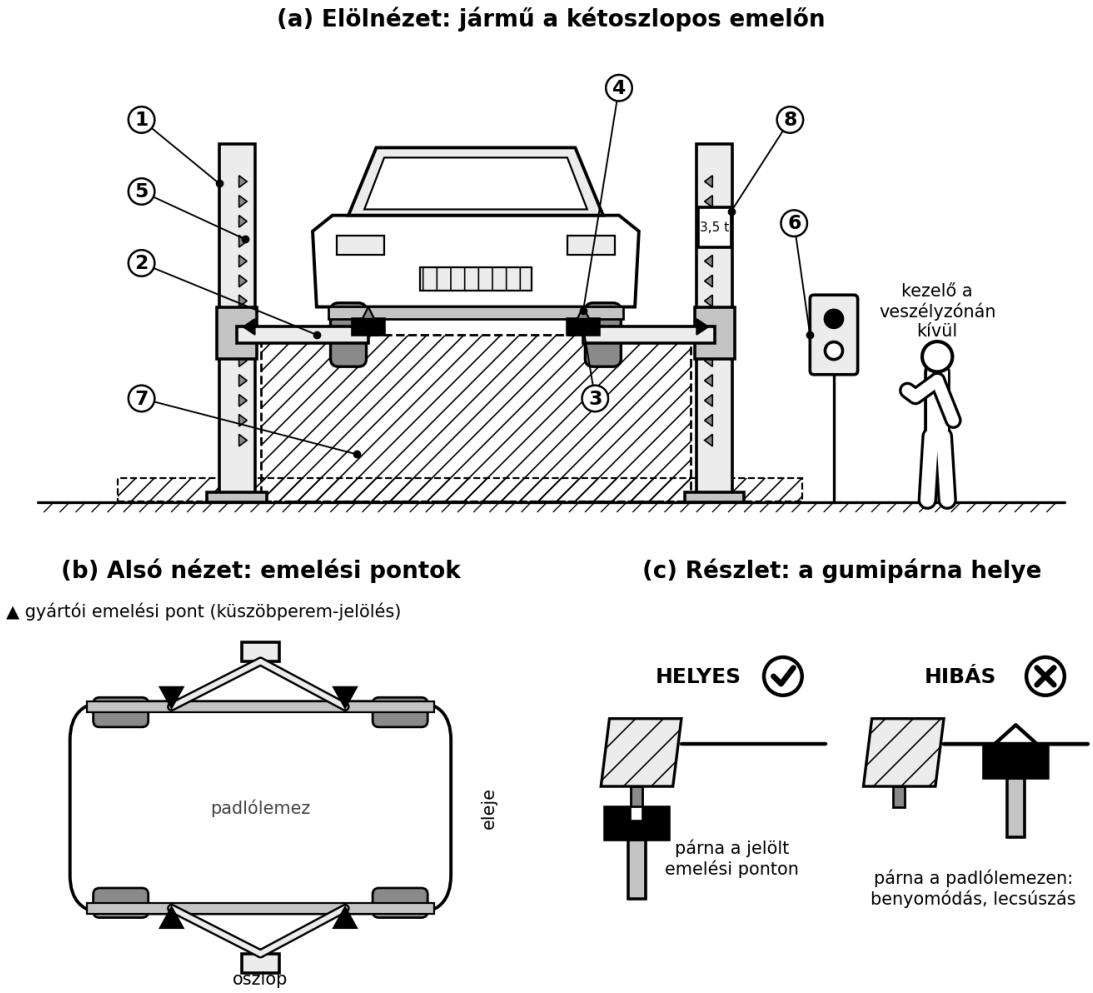
Figyelem. A járműemelés a leggyakoribb halálos és súlyos sérüléses baleseti forrás az autójavító műhelyben. A jármű alatt végzett munka előtt az emelés minden lépését meg kell ismételni, és az alátámasztást kézzel, erővel ellenőrizni kell. Soha ne bízz a hidraulikus emelőben.

2.2.4. Emelők, szerelőakna és biztonságos emelés

A járműemeléshez használt eszközöket rendszeresen vizsgálni kell (ellenőrizendő: a hatályos munkavédelmi előírás szerinti időszakos vizsgálat). A kétoszlopos emelő karjait **csak a gyártó által megjelölt emelési pontokra** helyezd. Ezek a pontok általában a küszöbök alatt, megerősített padlólemeznél vagy a segédkereten találhatók; rossz helyre téve a kar benyomhatja a küszöböt, vagy az autó lecsúszhat. Az **ollós emelő** esetén ellenőrizd, hogy a platform **ne érjen a fékcsövekhez, üzemanyagcsövekhez vagy a kipufogórendszerhez**.

Előírás. A gyártói javítási utasítás minden járműhöz megadja az emelési pontok pontos helyét és a javasolt emelőtípust (ellenőrizendő: a jármű gyártói javítási kézikönyve). Ezt az adatot a munkalapra fel kell jegyezni.

Az alábbi rajz a kétoszlopos emelő részeit mutatja: a tartókarok gumipárnái a gyártói emelési pontokon (küszöbperem-jelölés) vannak, a felemelt kocsi a mechanikus biztosító reteszfogain áll, a kezelő a veszélyzónán kívül, a kezelőpultnál dolgozik. A (c) részlet a párna helyes és hibás helyét veti össze.



2.3. ábra. Kétoszlopos emelő: emelési pontok, tartókarok, gumipárnák, mechanikus biztosító és veszélyzóna

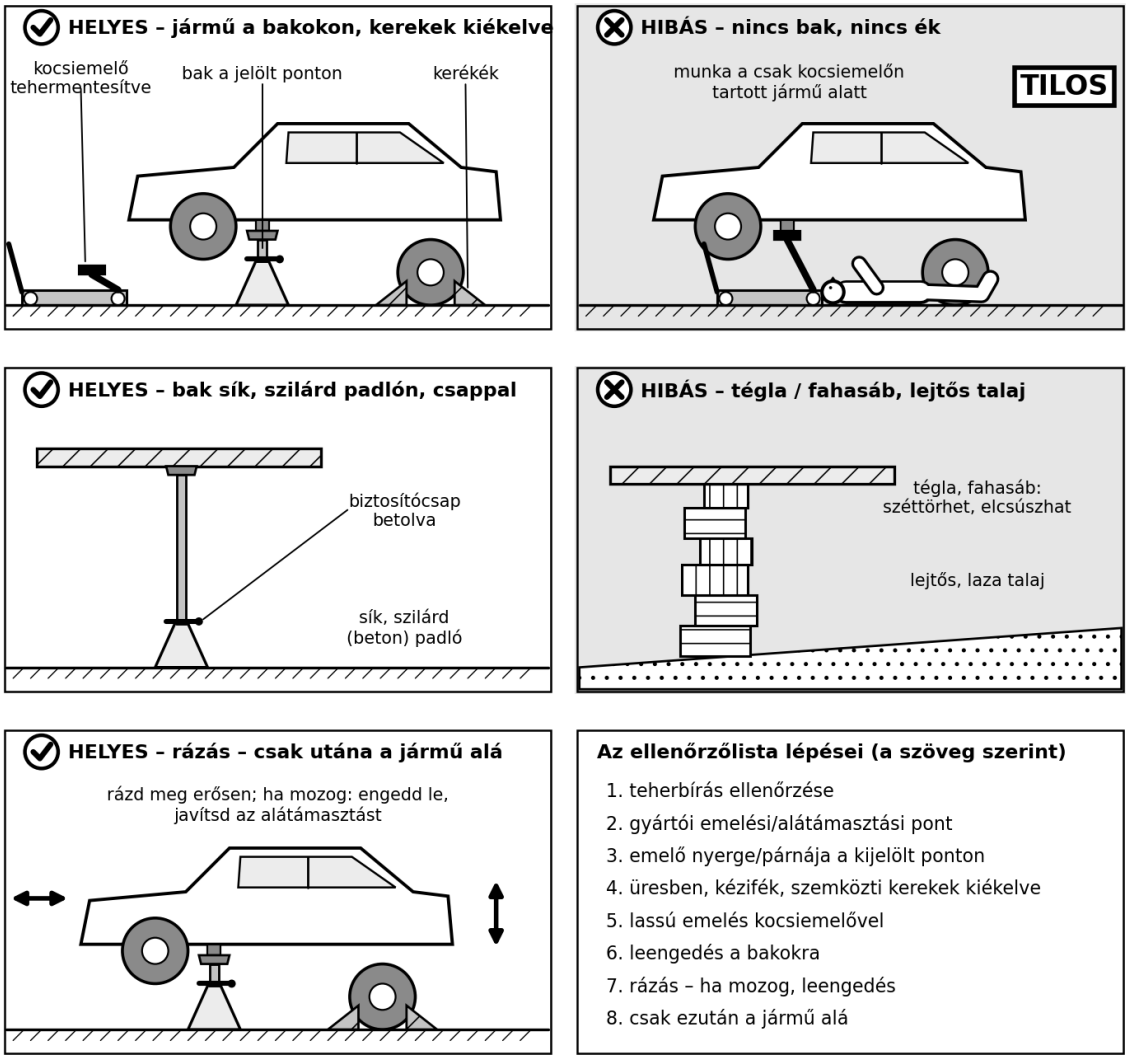
A **szerelőakna** biztonságos alternatíva lehet, de veszélyes is: az aknába beeshet szerszám, alkatrész vagy akár az ember is. Az akna szélét **világítani** kell, csúszásmentes burkolattal kell ellátni, és az aknában **járó motor esetén elszívást** kell használni. Az aknából kifelé a lépcsőt vagy létrát mindig szabadon kell hagyni.

Gyakorlati recept: biztonságos járműemelés ellenőrzőlistája

1. Ellenőrizd az emelő teherbírását; soha ne emelj annál nehezebb járművet.
2. Keresd meg a jármű gyártói emelési pontjait; ha nem biztos, nézd meg a kézikönyvet.
3. Helyezd az emelőkarok gumipárnáit a kijelölt pontokra, vagy ha kocsiemelőt használsz, az alátámasztási pontra.
4. Emelés előtt győződj meg arról, hogy a jármű rögzítve van (sebességváltó üresben, kézifék behúzva, kerekek kiékelve, ha kell).
5. Emeld a járművet lassan, közben figyeld, hogy az emelőkarok nem csúsznak-e el.
6. Amikor elérted a kívánt magasságot, **engedd le** a járművet a **bakokra** vagy az emelő mechanikus biztosítójára; soha ne dolgozz kocsiemelőn tartott jármű alatt.
7. **Rázd meg erősen a járművet**; ha mozog, azonnal engedd le és javítsd az alátámasztást.
8. Csak ezután menj a jármű alá.

A 4., 6. és 7. lépést helyes/hibás képpárok mutatják: a jármű a bakokon, kiékelt kerekekkel áll

(és nem a kocsiemelőn), a bak sík, szilárd padlón, biztosítócsappal rögzítve áll (és nem téglán), végül a rázás próbája.



2.4. ábra. Kocsiemelő és bak: helyes és hibás alátámasztás, kerékék, rázáspróba

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

2.2.5. Kipufogógáz zárt térben

A belsőégésű motor kipufogógáza **szén-monoxidot (CO), nitrogén-oxidokat (NOx) és részecskéket** tartalmaz. A CO színtelen, szagtalan, és a vérben a hemoglobinhoz kötődve akadályozza az oxigénszállítást – már kis koncentrációban fejfájást, nagyobb töménységben eszméletvesztést és halált okoz. **Zárt térben járó motor csak megfelelő elszívással üzemelhet.** Az elszívótömlőt a kipufogóvégre kell csatlakoztatni, és az elszívórendszernek folyamatosan működnie kell.

Figyelem. Soha ne járass motort zárt műhelyben vagy aknában elszívás nélkül, még rövid időre sem. Ha kipufogógáz-szagot érzel, azonnal szellőztess, és ellenőrizd az elszívást. Fejfájás, szédülés, hányinger esetén azonnal menj friss levegőre, és jelezd a vezetőnek.

A modern járművekben a kipufogógáz-utókezelő rendszer csökkenti a káros anyagokat, de **soha nem bízhatunk abban, hogy a kipufogógáz ártalmatlan**. A részecskék (főleg dízelmotoroknál) a tüdő mélyébe jutnak, és hosszú távon légzőszervi betegségeket okozhatnak. A műhelyben ezért **levegőcserét és elszívást** kell alkalmazni, a járó motor melletti munkát pedig minimalizálni kell.

2.2.6. Forgó részek: szíjak, ventilátorok

A járó motornál a **generátort hajtó ékszíjak, vezérműszíj, hűtőventilátor, szervopumpa és a klímakompresszor** forgó alkatrészek. A forgó részekbe nyúló kéz, ujj, ruhaujj vagy haj súlyos csonkolásos sérülést okozhat. Járó motor mellett **soha ne nyúlj a motortérbe, ne viselj lógó ruhát, ékszert vagy hosszú, kiengedett hajat**.

Különösen veszélyes a hűtőventilátor. A modern járművek elektromos ventilátora **akkor is elindulhat, amikor a motor már leállt**, például a hűtőfolyadék hőmérséklete miatt. Ezért a munka megkezdése előtt mindig várd meg, hogy a motor lehűljön, és a gyártói utasítás szerint kösd le az akkumulátort, ha a ventilátor közelében dolgozol (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

Szabály. Forgó alkatrészek közelében csak akkor dolgozz, ha a motor le van állítva, az indítókulcs a zsebedben van, és a jármű nem tud elindulni. Ha a motor jár (pl. diagnosztika), állj a jármű oldalára, és tartsd távol a ruhádat, szerszámaidat.

2.2.7. Sűrített levegő és nagynyomású rendszerek

A **sűrített levegő** több bar nyomású, és ha a bőrhöz vagy a szemhez ér, **légembóliát, szemsérülést vagy halláskárosodást** okozhat. Sűrített levegővel **tilos** ruhát, kezet vagy testet fújni, és port sem szabad úgy fújni, hogy a környezetedben állókat elérje. A fúvóka használatakor viselj **védőszemüveget**, és a nyomást a gyártói előírás szerint korlátozd. A sűrített levegős szerszámok (csavarbehajtó, csiszoló) is balesetveszélyesek: a levegőcsatlakozót mindig biztosítsd, és a szerszámot csak a hozzá való tömlővel használd.

Nagynyomású járműrendszerek a gépjárműben: a **klímaberendezés** (jellemzően 5–20 bar), a **légrugórendszer**, a **hidraulikus fékrendszer**, és a **dízel közös nyomásterű rendszer** (jellemzően 1600–2500 bar; ellenőrizendő: gyártói adat). Ezeket a rendszereket a gyártói utasítás szerint kell nyomásmentesíteni. Soha ne bonts meg nyomás alatt álló csatlakozót, mert a kiáramló folyadék vagy gáz súlyos sérülést okozhat.

Figyelem. A közös nyomásterű dízelrendszer nagynyomású üzemanyagsugara a bőrön át a szövetekbe hatol; a sérülés kicsinek látszik, de azonnali sebészi ellátást igényel. Járó motornál a szivárgást soha ne kézzel keresd. A nagynyomású oldalt csak leállított motornál, a gyártói nyomásmentesítési és várakozási eljárás után szabad bontani.

Tárolt rugóenergia. A beépített csavarrugó (rugóstag) jelentős előfeszítéssel bír: a rugóstag felső anyáját csak célszerszámmal (rugóösszenyomóval) összenyomott rugónál szabad oldani. A rugóösszenyomót a gyártó előírása szerint, sérülésmentesen, a rugó tengelyében egymással szemben elhelyezett pofákkal használd, és a munka alatt ne állj a rugó tengelyvonalában. **Tilos** gázrugót megfúrni, hevíteni vagy szétszerelni; a kiszerelt gázrugót a gyártói előírás szerint kell ártalmatlanítani. A légrugó (légzsák) szétszerelés előtt nyomásmentesítendő. Tehergépjárműnél a rugóerőtárolós fékhengert csak a gyártói kioldási eljárással szabad bontani (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

Különösen vigyázz a forró hűtőrendszerrel! Járó vagy nemrég leállított meleg motornál a hűtőrendszerben túlnyomás uralkodik. A hűtősapkát **csak hideg motoron**, lassan, ronggyal letakarva nyisd meg, mert a forró hűtőfolyadék és gőz súlyos égési sérülést okoz.

Figyelem. A klímaberendezés hűtőközege fagyási sérülést okozhat, egyes közegek (pl. R1234yf) gyúlékonyak is lehetnek. A rendszert csak megfelelő képesítéssel rendelkező személy nyithatja meg (ellenőrizendő: hatályos F-gáz szabályozás). Hűtőközeget a légkörbe engedni **tilos**.

2.2.8. Kéziszerszámok, kisgépek és hegesztés

A kéziszerszámok akkor biztonságosak, ha **a feladathoz illőek és épek**. Repedt csavarkulcs, törött fogantyújú kalapács, kopott csillagcsavarhúzó nem használható. A **köszörűgép** szikrát és fémport vet; csak védőburkolattal, védőszemüvegben és a szikrafogóval használd. A **fúrógép** forgó tokmánya megfoghatja a kesztyűt, ezért kesztyűben fúrni tilos. A **forgácsoló és köszörülő szerszámok** használatánál viselj védőszemüveget és hallásvédőt.

A **hegesztés a járművön** különösen veszélyes: a szikra és a hő meggyújthatja az üzemanyagot, a szigetelést, a műanyag burkolatokat, és tönkreteheti az elektronikát. A hegesztés megkezdése előtt: - tisztítsd meg a területet az éghető anyagoktól; - takard le az üzemanyag- és fékcsöveket; - kösd le az akkumulátort, és a gyártói előírás szerint védd a vezérlőegységeket (ellenőrizendő: gyártói javítási adat); - legyen kéznél tűzoltó készülék.

Tilos. Üzemanyagtartály vagy -cső közvetlen közelében hegeszteni, forrasztani vagy lánggal dolgozni, amíg a rendszer nincs kiürítve és védve a gyártói előírás szerint.

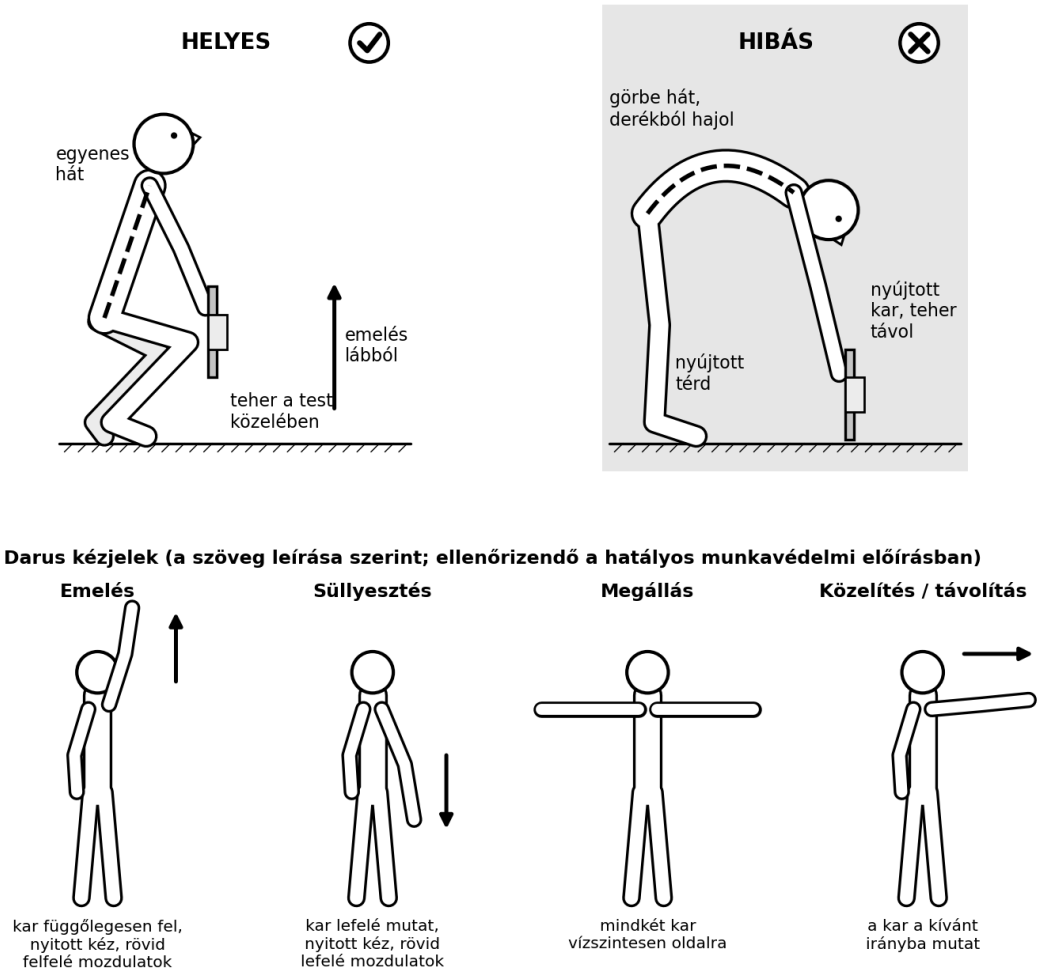
2.2.9. Anyagmozgatás

A motor, sebességváltó, futóműelemek nehéz alkatrészek. A **kézi anyagmozgatás** során az emelést **lábból, egyenes háttal** végezd, ne derékból. A nehéz alkatrészt **két ember** emelje, vagy használj emelőt, darut. A **motor- és váltóemelés** gyakran speciális célszerszámot igényel, amely rögzíti az alkatrészt; a láncot vagy hevedert mindig a gyártó által megadott pontokon rögzítsd.

Gépi anyagmozgatásnál (daru, targonca, emelőasztal) a kezelőnek ismernie kell a berendezés kezelőszerveit és a **teherbírását**. A munka során **egyezményes kézjelekkel** irányítsd a gépkezelőt. A leggyakoribb kézjelek: - **Emelés:** a jobb kar felfelé, a tenyér előre, lassú körkörös mozgás. - **Süllyesztés:** a jobb kar lefelé, a tenyér befelé, lassú körkörös mozgás. - **Megállás (megszakítás):** a jobb kar felfelé, a tenyér előre. - **Vészleállítás:** mindkét kar felfelé, a tenyér előre; ezt a jelet azonnal, minden más jel előtt követni kell. - **Közelítés/távolítás:** a kar a kívánt irányba mutat.

Előírás. A kézjelek a munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi jelzésekre vonatkozó uniós irányelv (92/58/EGK) és hazai átvétele mellékletében szereplő egyezményes jelek (ellenőrizendő: a hatályos hazai rendelet és melléklete; a pontos jelalakot a tanműhelyben az oktatóval a hatályos melléklet ábrái szerint egyeztesd). A teljes jelrendszer és a daruzás szabályai: Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat.

A kézjeleket a darukezelő és a segítő előre egyezteti; zajos környezetben a rádiós kommunikáció is ajánlott.



2.5. ábra. Helyes és hibás kézi emelés, valamint a négy darus kézjel

2.2.10. Kidolgozott példák

1. példa. Emelési ponton ébredő erő számítása.
Egy M1 kategóriájú személygépkocsi össztömege 1600 kg. A gyártói adatok szerint az első tengelyre ható terhelés 55%. Kétoszlopos emelőn az első emelési pontokra eső erőt szeretnénk ellenőrizni, hogy az 1500 kg-os pontonkénti teherbírás elegendő-e.

Megoldás: - Első tengely terhelése: $m_{\text{első}} = 0{,}55 \times 1600\,\text{kg} = 880\,\text{kg}$. - Az első tengelyen két emelési pont van, így egy pontra eső tömeg: $m_{\text{pont}} = 880\,\text{kg}/2 = 440\,\text{kg}$. - A pontonkénti erő: $F = m\,g = 440\,\text{kg} \times 9{,}81\,\text{m/s}^2 \approx 4316\,\text{N}$. - A pontonkénti teherbírás 1500 kg, ami $1500\,\text{kg} \times 9{,}81\,\text{m/s}^2 \approx 14\,715\,\text{N}$, tehát bőven elegendő.

Megjegyzés. A számítás közelítés: azt feltételezi, hogy az emelési pontok a tengelyek alatt vannak. A valóságban a kétoszlopos emelő karjai a küszöbök alatti emelési pontokon fognak, ezért a karok terhelése a súlypont helyzetétől is függ.

Figyelem. Ha nehéz egységet (motor, sebességváltó, hátsó tengely) szerelsz ki, a súlypont áthelyeződik, és a jármű az emelőn felbillenhet – ilyenkor a gyártói utasítás szerint a járművet ki kell támasztani vagy rögzíteni (ellenőrizendő: emelő- és járműgyártói előírás).

2. példa. Kocsiemelő teherbírás hibás használata.
Egy 1200 kg-os autót a műhelyi kocsiemelő 2 tonnás teherbírással csak félig emel meg, majd a

szerelő alátámasztás nélkül benyúl alá. A kocsiemelő hidraulikája lassan ereszt, az autó süllyedni kezd. A szerelő nem tudja kihúzni a kezét. Ez a helyzet halálos is lehet. Helyes gyakorlat: az emelést **bakokkal** kell biztosítani, mielőtt bármilyen testrész a jármű alá kerül.

2.2.11. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista műhelyi munka előtt:

- ☐ Az emelő teherbírása nagyobb, mint a jármű tömege.
- ☐ Az emelési pontok a gyártói kézikönyv szerint vannak kiválasztva.
- ☐ A bakok megfelelő magasságúak és teherbírásúak, csúszásmentes felületen állnak.
- ☐ A jármű rögzítve van (kézifék, ékek).
- ☐ Az elszívó csatlakoztatva van, ha a motor jár.
- ☐ A forgó részek leálltak, a ventilátor nem mehet váratlanul működésbe.
- ☐ Sűrített levegő nyomása a megengedett tartományban van, a fúvókához védőszemüveg van.
- ☐ A hűtőrendszer hideg, vagy a megnyitás előtt nyomásmentesítés történt.
- ☐ Hegesztés előtt az éghető anyagok eltávolítva, elektronika védve, tűzoltó készülék elérhető.
- ☐ Az anyagmozgatásnál a kézjelek egyeztetve vannak.
- ☐ Rugóstag bontásához rugóösszenyomó áll rendelkezésre; gázrugót nem fúrunk, nem hevítünk, nem szerelünk szét.

2.2.12. Valós életbeli alkalmazás

Eset: majdnem leesett az autó a kétoszlopos emelőről

Egy autószerelő tanuló a téli gumicsere után az autót a kétoszlopos emelőre szerette volna tenni, hogy a futóművet átvizsgálja. Az emelőkarokat a küszöbökre helyezte, de az egyik kar nem a gyári megerősített pontra, hanem a vékonyabb küszöbélre került. Az autó felemelkedett, majd hirtelen megbillent, mert a kar benyomta a küszöböt. A tanuló azonnal leállította az emelőt, óvatosan leengedte az autót, és ellenőrizte a kárt. A küszöb meghorpadt, de senki sem sérült meg.

Tanulság: az emelési pontok kiválasztása nem becsülhető meg „szemre”. Mindig a gyártói emelési pontokat kell használni, és ha bizonytalan vagy, kérdezd meg az oktatót vagy nézd meg a kézikönyvet. Az emelés megkezdése után figyeld a karokat, és ha bármilyen rendellenes mozgást látsz, azonnal állj meg.

2.2.13. Tipikus hibák

1. **Jármű alá nyúlás kocsiemelővel tartott autó alatt.** A hidraulikus kocsiemelő nem biztonságos alátámasztás. Mindig használj bakokat.
2. **Kipufogógáz-elszívás nélkül járó motor zárt műhelyben.** Már néhány perces CO-belégzés is mérgezést okozhat. Az elszívó mindig legyen a kipufogóra csatlakoztatva.
3. **Forró hűtősapka hirtelen levétele.** A forró hűtőfolyadék és gőz kifröccsenve súlyos égési sérülést okoz. Mindig várd meg, hogy a motor lehűljön, és lassan, ronggyal takarva engedd le a nyomást.
4. **Sűrített levegővel való fújás ruha vagy bőr felé.** A sűrített levegő bőr alá jutva légembóliát okozhat. A fúvókát csak a munkadarabra irányítsd, viselj védőszemüveget.
5. **Rugóösszenyomó nélküli rugóstag-bontás.** Az előfeszített rugó szabadulásakor az alkatrészek nagy erővel kirepülnek; rugóstag felső anyáját csak célszerszámmal összenyomott rugónál oldd.

6. **Hegesztés előtt az elektronika és az éghető anyagok védelmének elmulasztása.** A hegesztőáram károsíthatja a vezérlőegységeket, a kirepülő szikra tüzet okozhat. Mindig végezd el az előkészítő lépéseket.

2.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Kocsiemelővel felemelt jármű alatt szabad dolgozni, ha rövid ideig tart. Indokold!
2. Miért veszélyes a hűtőventilátor akkor is, ha a motor leállt?
3. Mi a teendő, ha zárt műhelyben kipufogógáz-szagot érzel?
4. Sorold fel a biztonságos járműemelés három legfontosabb lépését!
5. Miért tilos sűrített levegővel a testre fújni?
6. Milyen egyezményes kézjelet mutat a darukezelőnek, ha megállást akarsz kérni?

2.2.15. Feladatok

1. feladat (A). Egy kétoszlopos emelő pontonkénti teherbírása 2000 kg. A jármű össztömege 1800 kg, a hátsó tengelyre jutó terhelés 45%. Biztonságos-e az emelés a hátsó pontokon? Számold ki az egy pontra eső tömeget.

2. feladat (A). Mi a különbség a kocsiemelő és a bak között? Miért nem szabad kocsiemelőre támaszkodva a jármű alatt dolgozni?

3. feladat (B). Egy 1500 kg-os autóval az első emelési pontokra eső erőt szeretnéd meghatározni, ha az első tengely terhelése 60%. Az egyik első pont alá egy 1000 kg teherbírású bakot helyeznél. Ellenőrizd számítással, hogy elegendő-e!

4. feladat (B). Tervezd meg egy műhelyi olajcsere munkavédelmi előkészítését! Sorold fel a lépéseket a jármű emelésétől az olajleeresztés megkezdéséig, kiemelve a biztonsági elemeket.

5. feladat (C). Mi a hiba ebben a műhelyi leírásban? „A szerelő a motort járatva, zárt műhelyben dolgozik az autó alatt, miközben a kocsiemelő tartja az autót. A hűtőventilátor nem forog, ezért benyúl a motortérbe, miközben sűrített levegővel fújja le a port a kezéről.” Azonosítsd az összes veszélyes cselekedetet, és javasold a helyes gyakorlatot.

6. feladat (D). Egy műhelyben a daruval motort emelnek ki. A segítő a darukezelőnek int, de a gépkezelő félreérti, és a motor megindul a szerelő felé. Milyen előzetes egyeztetés hiányzott? Hogyan lehet ezt elkerülni a jövőben?

2.2.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kocsiemelő hidraulikája lassan leereszthet, ezért soha nem szabad alatta dolgozni. Mindig bakokkal vagy az emelő mechanikus biztosítójával kell alátámasztani.
2. A modern elektromos hűtőventilátor a hűtőfolyadék hőmérséklete alapján akkor is beindulhat, ha a motor már leállt. Ezért a motortérben végzett munka előtt le kell kötni az akkumulátort és/vagy megvárni a lehűlést.
3. Azonnal szellőztetni kell, ellenőrizni az elszívórendszert, és ha tüneteket érzel (fejfájás, szédülés), menj friss levegőre, és jelezd a vezetőnek.
4. (1) Megfelelő teherbírású emelő kiválasztása, (2) gyártói emelési pontok használata, (3) bakokkal való biztonságos alátámasztás és rázással való ellenőrzés.

5. A sűrített levegő bőr alá jutva légembóliát vagy szemsérülést okozhat, ezért tilos testre irányítani. Csak a munkadarabot fújjuk, védőszemüvegben.
6. Megállás (megszakítás): a jobb kar felfelé, a tenyér előre. A vészleállítás külön jel (mindkét kar felfelé, tenyér előre), amelyet azonnal követni kell (ellenőrizendő: a hatályos melléklet ábrái).

Feladatok – megoldások

1. feladat (A)
- Hátsó tengely terhelése: $m_{\text{hátsó}} = 0{,}45 \times 1800\,\text{kg} = 810\,\text{kg}$.
- Egy pontra eső tömeg: $m_{\text{pont}} = 810\,\text{kg}/2 = 405\,\text{kg}$.
- A pontonkénti teherbírás 2000 kg, tehát **biztonságos**.

2. feladat (A)
A kocsiemelő egy hidraulikus emelőeszköz, amely a jármű megemelésére szolgál, de nem merev alátámasztás, mert lassan le tud ereszteni. A bak egy merev, rögzített magasságú vagy rögzített állapotú alátámasztó eszköz, amelyre a járművet leengedjük. A kocsiemelővel tartott jármű alatt dolgozni tilos, mert az autó hirtelen rád eshet.

3. feladat (B)
- Első tengely terhelése: $m_{\text{első}} = 0{,}60 \times 1500\,\text{kg} = 900\,\text{kg}$.
- Egy első pontra eső tömeg: $m_{\text{pont}} = 900\,\text{kg}/2 = 450\,\text{kg}$.
- A pontonkénti erő: $F = 450\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \approx 4{,}41\,\text{kN}$. - A bak teherbírása 1000 kg, ami nagyobb, mint 450 kg, tehát **elegendő**; a teherbírást a gyártói adatlap szerint (darabonként vagy páronként megadva) kell összevetni.

4. feladat (B)
- Az emelő teherbírás ellenőrzése.
- A gyártói emelési pontok megkeresése.
- A jármű rögzítése (kézifék, üres fokozat, ékek).
- Az emelőkarok elhelyezése a pontokra, majd lassú emelés.
- A jármű leengedése bakokra, rázással történő ellenőrzés.
- Az olajleeresztő csavarhoz való hozzáférés, a forró olaj miatti égésvédelmi kesztyű viselése.
- Az olaj felfogására alkalmas edény előkészítése.

5. feladat (C)
- **Zárt műhelyben járó motor elszívás nélkül** – CO-mérgezés veszélye.
- **Jármű alatt kocsiemelővel** – a jármű leeshet.
- **Motortérbe nyúlás járó motornál** – forgó szíjak, ventilátor veszélye.
- **Sűrített levegő a kézre** – bőrbe jutva sérülést okoz.

Helyes gyakorlat: a motort csak elszívással járatni, az autót bakokkal alátámasztani, a kezet távol tartani a forgó részektől, és sűrített levegőt csak a munkadarabra irányítani.

6. feladat (D)
Hiányzott az **egyezményes kézjelek** előzetes egyeztetése és a darukezelővel való kommunikáció. A jövőben a munka megkezdése előtt meg kell beszélni a jeleket, a mozgatási útvonalat, és a daru mozgását **csak az irányító személy** adhatja. A segítő jele csak akkor érvényes, ha a gépkezelő azt visszaigazolta. Zajos környezetben rádiós kommunikációt is érdemes használni.

2.2.17. Rövid összefoglaló

A járműjavító műhely veszélyforrásai között kiemelkedik a járműemelés, a kipufogógáz, a forgó részek, a sűrített levegő és a nagynyomású rendszerek. A járművet csak a gyártói emelési pontokon, megfelelő teherbírású emelővel szabad emelni, és a jármű alá **csak biztos alátámasztás (bak,**

mechanikus rögzítés) után szabad benyúlni; a kocsiemelővel tartott jármű alatt dolgozni tilos. Zárt térben járó motorhoz elszívás kötelező, mert a CO színtelen, szagtalan méreg. A forgó szíjak és a ventilátor akkor is veszélyesek, ha a motor leállt, mert az elektromos ventilátor később is elindulhat. A sűrített levegőt soha nem szabad testre irányítani, a nagynyomású rendszereket pedig a gyártói utasítás szerint kell nyomásmentesíteni. **Továbbvitt eredmény.** A biztonságos emelés és alátámasztás ismeretét és gyakorlatát a Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben alfejezetben, valamint a Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás alfejezetben használjuk fel.

2.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hatályos magyar munkavédelmi jogszabály (1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről és végrehajtási rendeletei – ellenőrizendő), gyártói javítási útmutatók a járműemelési pontokról, szabványok az emelőberendezések időszakos vizsgálatáról.

Ellenőrizendő állítások: a munkavédelmi törvény pontos száma és a műhelyi emelők vizsgálati gyakorisága (ellenőrizendő: hatályos jogszabály); a klímaberendezés nyomástartománya és a hűtőközeg gyúlékonysága (ellenőrizendő: gyártói adat); a dízel közös nyomásterű rendszer maximális nyomása (ellenőrizendő: gyártói adat); a hűtőventilátor utólagos beindulásának gyártói viselkedése (ellenőrizendő: jármű típus). Valamennyi számérték tanulási példa, nem helyettesíti a gyártói javítási adatot.

2.3. Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben

2.3.1. Miért kell a szerelőnek értenie a vegyszerekhez?

Egy átlagos szerviznap során motorolajat cserélsz, fékfolyadékot fejtesz le, hűtőfolyadékot töltesz, akkumulátort veszel ki, és közben tisztítósprayt, kenőanyagot, ragasztót használsz. Ha ezeket helytelenül kezeled, nemcsak a bőröd, a szemed vagy a tüdőd károsodhat, hanem a talaj, a víz és a levegő is. A hibás hulladékkezelés pedig nem szakmai kisebb hiba: hatósági ellenőrzésen bírsággal, sőt a műhely üzemeltetésének korlátozásával járhat. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan olvasd a vegyszerek jelöléseit, hogyan tárold és kezeld az üzemi folyadékokat, és hogyan gyűjtsd, dokumentáld és add át a veszélyes hulladékot úgy, hogy a munka biztonságos és jogkövető legyen.

2.3.2. Szemléletes kép: a műhely „vegyesboltja”

Képzelj el egy járműjavító műhely sarkát. A polcon egymás mellett állnak: 5 literes motorolajkannák, fagyálló hűtőfolyadék, fékfolyadék-flakon, karburátortisztító-spray, akkumulátorok, ragasztók és zsírok. Az edények egy részén piros-fehér rombusz alakú piktogramok vannak: láng, maró anyagot jelző kéz, halálfej, környezeti károsodást jelző fa. A polc alatt kármentő tálca, a közelben zárható fémdoboz olajos rongynak, felirat nélküli kannába öntött fáradt olaj, elhasznált olajszűrő és megroggyant gumiabroncs-torony. Ez a kép mutatja a kockázatot is: ha a felirat hiányzik, ha a savat a lúggal, az oldószert a savval együtt tárolod, vagy a fáradt olaj a csatornába folyik, abból baleset és környezetszennyezés lesz. A jó műhelyben minden anyagnak helye, címkéje és gyűjtőedénye van.

2.3.3. Definíciók és jelölések

Definíció. Veszélyes anyag vagy keverék az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról szóló uniós rendelet (CLP-rendelet, 1272/2008/EK – ellenőrizendő) szerint olyan anyag, amely fizikai veszélyt (például tűzveszélyesség, robbanékonyság), egészségi veszélyt (például maró, mérgező, rákkeltő hatás) vagy környezeti veszélyt (például vízi élőlényekre mérgező) jelent.

Definíció. Veszélyes hulladék a hulladékokról szóló törvény szerint olyan hulladék, amely a jogszabályban felsorolt veszélyességi jellemzők közül legalább egyet mutat (például gyúlékony, maró, mérgező, fertőző, rákkeltő, környezetre veszélyes – ellenőrizendő: a hatályos hulladékjegyzék és veszélyességi jellemzők szerint).

Definíció. Biztonsági adatlap a gyártó vagy forgalmazó által készített, 16 szakaszból álló dokumentum, amely az anyag biztonságos kezeléséhez, tárolásához, az elsősegélyhez, a tűzoltáshoz, a kiömlés kezeléséhez és az ártalmatlanításhoz ad adatokat.

Megjegyzés. A CLP-rendelet gyémánt alakú, piros keretű piktogramokat használ. A leggyakoribb járműjavítós piktogramok: láng (tűzveszélyes, GHS02), maró anyag (bőrmarás, súlyos szemkárosodás, fémkorrózió, GHS05), halálfej (akut toxicitás – mérgező, GHS06), felkiáltójel (irritáló, ártalmas, bőrszenzibilizáló, GHS07), egészségkárosító (rákkeltő, mutagén, reprotoxikus, aspirációs veszély – súlyos, hosszú távú egészségkárosodás, GHS08), környezeti veszély (vízi környezetre veszélyes, GHS09) (ellenőrizendő: az 1272/2008/EK rendelet V. melléklete). A régi narancssárga, fekete jelű veszélyszimbólumokkal már csak régi csomagolásokon találkozol.

2.3.4. Az üzemi folyadékok és vegyszerek veszélyei

A járműjavító műhelyben az alábbi anyagcsoportokkal dolgozol rendszeresen. Az értékek és besorolások a gyártói biztonsági adatlapoktól függenek; itt tanulási példákat adunk meg.

Anyagcsoport	Jellemző piktogram, veszély	Fő kockázat a műhelyben	Helyes kezelés
Motorolaj, hajtóműolaj	Felkiáltójel, egészségkárosító	Bőrirritáció; használt olajban rákkeltő égéstermékek; égési sérülés forró olajnál	Védőkesztyű, védőszemüveg; gyűjtőedénybe; ne keverd más folyadékkal
Benzin	Láng, egészségkárosító, környezeti veszély	Rendkívül tűzveszélyes gőzök, robbanóelegy; bőr és légzőszervi irritáció	Zárt edény, elszívás, nyílt láng és szikra kizárása; földelt tárolás
Dízel üzemanyag	Láng, felkiáltójel	Éghető, bőrirritáló; pára hosszabb belégzése káros	Zárt edény, védőkesztyű; kiömlést azonnal felitatni
Fékfolyadék	Felkiáltójel, egészségkárosító	Mérgező lenyelve, bőrön át is felszívódik; szemkárosodás; éghető	Szorosan zárva, kesztyű, szemvédelem; ne keverd más folyadékkal

Anyagcsoport	Jellemző piktogram, veszély	Fő kockázat a műhelyben	Helyes kezelés
Hűtőfolyadék (glikol)	Felkiáltójel, egészségkárosító	Etilénglikol lenyelve vesekárosodást okoz, édes íze miatt veszélyes; bőrön át is felszívódik	Zárt, eredeti, gyermekbiztos edény; kiömlést felitatni; védőkesztyű
Akkumulátorsav (kénsav)	Maró	Súlyos égési sérülés bőrön, szemen; hidrogénfejlődés töltéskor – robbanásveszély	Saválló kesztyű, kötény, arcvédő; szellőzés; savat vízhez önteni, soha nem fordítva
AdBlue	Általában nem veszélyes (karbamid-oldat)	Enyhén irritáló, kikristályosodva csúszós; nem mérgező, de ne kerüljön vízbe	Eredeti edény, elkerülni a szennyeződést; kiömlést feltörölni
Tisztítószerek, sprayk, oldószerek	Láng, maró, felkiáltójel, halálfej	Gyúlékony gőzök; narkotikus hatás zárt térben; bőr- és szemkárosodás	Elszívás, kesztyű, védőszemüveg; tűzveszélyes tárolószekrény

Szabály. Minden anyag esetében a gyártó biztonsági adatlapja a mérvadó. A táblázatban szereplő besorolások tanulási példák; a konkrét keverék összetétele, koncentrációja és a gyártó szerinti besorolás eltérhet (ellenőrizendő: az adott termék biztonsági adatlapja).

2.3.5. A biztonsági adatlap és a CLP-címke

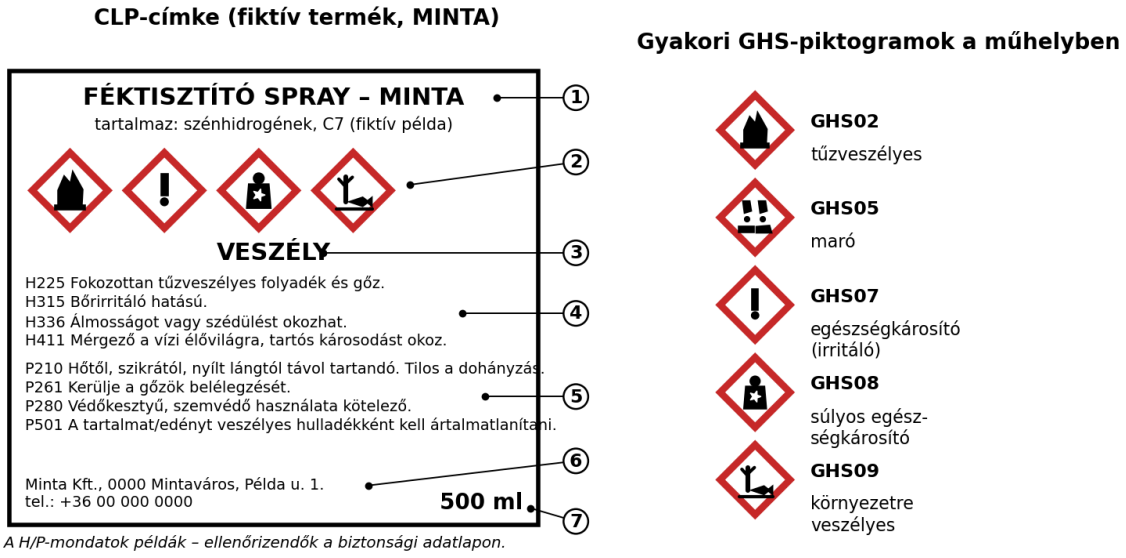
Szabály. A biztonsági adatlap 16 szakaszból áll (ellenőrizendő: REACH-rendelet II. melléklete). A szerelőnek különösen a félkövérrel jelölt szakaszokat kell tudnia használni:

Szakasz	Tartalom	A szerelőnek fontos?
1.	Az anyag/keverék és a vállalat azonosítása	igen
2.	A veszélyek azonosítása – piktogramok, H-mondatok (veszélyességi mondatok), P-mondatok (óvintézkedések)	**igen**
3.	Összetétel – a veszélyes komponensek	igen
4.	Elsősegély-nyújtási intézkedések	**igen**
5.	Tűzvédelmi intézkedések – mivel olts, mivel ne	**igen**
6.	Intézkedések véletlen kiömlés esetén	**igen**
7.	Kezelés és tárolás	**igen**
8.	Az expozíció ellenőrzése, egyéni védelem – kesztyű, szemvédelem, szellőzés	**igen**

Szakasz	Tartalom	A szerelőnek fontos?
9.	Fizikai és kémiai tulajdonságok (pl. lobbanáspont)	igen
10.	Stabilitás és reakciókészség – mivel nem keverhető	igen
11.	Toxikológiai adatok	részben
12.	Ökológiai adatok	részben
13.	Ártalmatlanítási szempontok	**igen**
14.	Szállítási információk	részben
15.	Szabályozási információk	részben
16.	Egyéb információk (pl. a változtatások, a H-mondatok teljes szövege)	részben

Előírás. A munkáltató köteles biztosítani a munkavállalók számára a veszélyes anyagok biztonsági adatlapját, a veszélyekről szóló oktatást és a megfelelő egyéni védőeszközt (1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről – ellenőrizendő). A forgalmazó a CLP-rendelet szerint köteles a veszélyes anyagot osztályozni, címkézni és biztonsági adatlapot mellékelni (ellenőrizendő: 1272/2008/EK CLP-rendelet, valamint a REACH-rendelet 1907/2006/EK II. melléklete szerint).

A címke ugyanezeket az információkat hordozza röviden. Az alábbi fiktív féktisztító-címkén számozva látható a termékazonosító, a veszélyt jelző piktogramok, a figyelmeztetés („Veszély” vagy „Figyelem”), a H- és P-mondatok, a szállító adatai és a névleges mennyiség; mellette a műhelyben leggyakoribb öt GHS-piktogram.



2.6. ábra. A CLP-címke elemei és a műhelyben gyakori GHS-piktogramok

Hiba. Soha ne azonosíts anyagot szaglással vagy szín alapján, ha a címke hiányzik vagy olvashatatlan. A benzin, a metanolos ablakmosó és a hígító illata hasonló lehet, de a mérgező hatásuk egészen más. Ha a tárolóedényen nincs megbízható címke, a tartalmát ismeretlen veszélyes anyagként kell kezelni, lezárva tárolni, és a gyártói/forgalmazói azonosítás után ártalmatlaníttatni.

2.3.6. Tárolás és kiömlés kezelése

Szabály. A veszélyes folyadékokat **eredeti, jól zárható, felirattal ellátott edényben** tárold. Az edény alatt kármentő tálcát kell használni, amely felfogja a csöpögést vagy a teljes kanna kisebb szivárgását. A tárolóhely legyen hűvös, száraz, jól szellőző, közvetlen napsütéstől és fűtőtesttől távol. A tűzveszélyes anyagokat (benzin, oldószer, sprayk) zárható, lehetőleg acéllemez tűzszekrényben vagy elkülönített, szellőztetett helyiségben tárold.

Szabály. Savas és lúgos anyagokat soha ne tárolj egymás mellett; az akkumulátorsavat fémektől és gyúlékony folyadékoktól elkülönítve, saválló tálcán tárold. Az oxidálószerek (például egyes fertőtlenítők, peroxid-tartalmú készítmények) és a gyúlékony anyagok együtt tűz- és robbanásveszélyt jelenthetnek.

Szabály. Kiömlés esetén:

1. **Állítsd meg a forrást** – zárd el a csapot, állítsd vissza a felborult kannát.

2. **Szellőztess**, és távolíts el minden gyújtóforrást, ha gyúlékony anyag ömlött ki.

3. Vegyél fel a megfelelő védőeszközt – az anyag biztonsági adatlapja szerint kesztyűt, védőszemüveget, nagyobb kiömlésnél kötényt, szükség esetén gőz elleni védőmaszkot.

4. **Itasd fel** univerzális felitató granulátummal, felitató kendővel, homokkal vagy erre a célra készített felitató anyaggal. Soha ne mosd le vízzel a csatornába.

5. A felitatott anyagot tedd a veszélyes hulladék gyűjtőedényébe, és címkézd.

6. Sav kiömlésekor ne próbálkozz házilagos közömbösítéssel, hacsak az adatlap nem írja elő; a felitatott savat is veszélyes hulladékként kell kezelni.

7. Tisztítsd meg a felületet a gyártó szerinti tisztítószerrel, és ellenőrizd, hogy nincs csúszásveszélyes maradék.

Figyelem. A benzin és az oldószerek gőze a levegőn robbanóelegyet alkothat. Zárt térben kiömlött benzinnél a világítást ne kapcsold le-fel, szikrázó eszközt ne használj, és ne indíts járművet a közelben. A gőzöket természetes vagy robbanásbiztos szellőztetéssel távolítsd el.

Környezetvédelem. Kiömlött vegyszert, fáradt olajat, hűtőfolyadékot soha ne engedj élővízbe, talajra vagy csatornába. A műhelyben a padlóösszefolyók mögé olaj- és iszapfogót építenek, de az csak a kis csöpögésekre való; a koncentrált vegyszert fel kell itatni. A talajba került olaj vagy oldószer évtizedekig szennyezheti a talajvizet.

2.3.7. Veszélyes hulladék gyűjtése, nyilvántartása, átadása

Definíció. A műhelyben keletkező **veszélyes hulladék** például a fáradt olaj, a fáradt olajszűrő, az olajos rongy, a fékfolyadék, a hűtőfolyadék, az akkumulátor, a savmaradék, az oldószeres tisztítófolyadék, a felitatott kiömlés, a fékporral szennyezett védőkesztyű, valamint a régi járművekből származó azbesztes fékbetét.

Szabály. A veszélyes hulladékot anyagfajtánként elkülönítve kell gyűjteni:

- fáradt motor- és hajtóműolaj – külön edényben, kármentő alatt;

- olajos szűrők – zárható, szivárgásmentes edényben;
- fékfolyadék – külön, nem keverve semmivel;
- hűtőfolyadék – külön;
- üzemanyag-maradék – tűzveszélyes edényben, szellőztetett helyen;
- ólom-savas akkumulátor – saválló, zárható tálcán, függőleges helyzetben;
- olajos rongy, felitató anyag – zárható, nem éghető (fém) edényben (az olajos rongy éghető veszélyes hulladék; a növényi olajos rongy öngyulladhat);
- gumiabroncs – fedett, tűzveszélyt figyelembe vevő tárolóban.

Figyelem. Az olajjal átitatott rongy éghető veszélyes hulladék; a lenolajos, növényi olajos vagy egyes festék- és lakkmaradékos rongy oxidáció közben önmelegszik, és nagy halomban **öngyulladhat**. Az ilyen hulladékot fém, zárható, „olajos rongy" feliratú edényben gyűjtsd, ne a kommunális kukában, és ne halmozd fel műanyag zsákban.

Szabály. A veszélyes hulladék gyűjtőedénye legyen:

- a hulladékkal kompatibilis anyagú (például savhoz saválló, oldószerhez oldószerálló),
- zárható, szivárgásmentes,
- egyértelműen feliratozott: „Veszélyes hulladék – fáradt olaj" stb.,
- kármentő tálcán elhelyezett,
- soha ne legyen túltöltve; a gyártó/gyűjtő szerinti maximális töltési szintet be kell tartani (jellemzően a térfogat mintegy 80 %-a – ellenőrizendő: a gyűjtőedény és a hulladékkezelő előírása).

A hulladékokat a hulladékjegyzék azonosító kódjával (EWC-kóddal) kell nyilvántartani és átadni; a veszélyes hulladék kódját csillag (*) jelöli. A műhelyben leggyakoribb példák (ellenőrizendő: a hatályos hulladékjegyzék, 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet):

Hulladék	EWC-kód (példa)	Gyűjtőedény
Fáradt motor- és hajtóműolaj	13 02 05*	kármentős, zárható olajgyűjtő
Olajszűrő	16 01 07*	zárható, szivárgásmentes edény
Fékfolyadék	16 01 13*	külön, feliratozott edény
Veszélyes anyagot tartalmazó fagyálló	16 01 14*	külön, feliratozott edény
Ólomakkumulátor	16 06 01*	saválló tálca
Veszélyes anyaggal szennyezett felitató anyag, rongy	15 02 02*	zárható fémedény

Előírás. Veszélyes hulladékot csak **hulladékgazdálkodási engedéllyel rendelkező átvevőnek** szabad átadni. Az átadásról igazolást, szállítójegyet kell kérni, és a veszélyes hulladékról

nyilvántartást kell vezetni. A pontos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettséget a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény és a végrehajtási kormányrendeletek tartalmazzák (ellenőrizendő: többek között a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységekről szóló 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet és a nyilvántartásról szóló kormányrendelet száma és hatályos szövege; a hatályos hulladékgazdálkodási jogszabályok és a veszélyes hulladékra vonatkozó nyilvántartási, adatszolgáltatási előírások).

Hiba. A leggyakoribb hiba a hulladékfajták összekeverése: például a fékfolyadékot a fáradt olajba öntik. Ezzel az egész edény tartalmát kevert, nehezen ártalmatlanítható hulladékká teszik, és az átvevő visszautasíthatja. Ugyanez vonatkozik a hűtőfolyadék olajjal keverésére.

2.3.8. Fékpor, azbeszt, hegesztési füst

Tilos. A fékdobot, féktárcsát, féknyerget és a kapcsolódó alkatrészeket **sűrített levegővel porolni** tilos. A fékport mechanikusan, porszívóval, nedves törléssel vagy a gyártó szerinti technológiával kell eltávolítani, mert a levegőbe fújt por a tüdőbe kerülhet. Régi járművek fékbetétje azbesztet is tartalmazhat, amely rákkeltő; az azbeszt gyanújú alkatrészt külön, pormentes csomagolásban kell kezelni (ellenőrizendő: a hatályos azbeszt-mentességi és munkahelyi expozíciós előírások).

Környezetvédelem. A hegesztési és csiszolási füst, valamint a festék- és oldószergőz nem a „műhely illata”, hanem munkahelyi légszennyező. A hegesztésnél használj megfelelő elszívást és légzésvédőt; a festést csak megfelelően szellőztetett, kijelölt helyen végezd. A fémpor, csiszolási por gyűjtésénél is figyelj arra, hogy ne kerüljön a levegőbe.

2.3.9. Rakatképzés és raktározás szabályai

Szabály. Az alkatrészeket, gumiabroncsokat és vegyszereket úgy tárold, hogy a rakat stabil legyen, senkire ne dőlhessen, a folyosó és a vészkijárat szabad maradjon.

1. A nehéz tárgyak (fődarabok, váltók, féktárcsák) alsó polcra, a könnyűek felülre kerüljenek.

2. A gumiabroncsokat függőlegesen, sorban, lehetőleg polcon tárold; ne építs belőlük magas, ingatag tornyot.

3. A folyadékokat az alsó polcon, kármentőben, felirattal, szivárgásmentes edényben.

4. A savas anyagokat és oldószereket egymástól elkülönítve, szellőztetett helyiségben.

5. A termékeket a lejárati és felhasználási idő szerint nyilvántartva; a régi, ismeretlen anyagot ne használd fel.

6. A raktárban tilos dohányozni, enni, inni, nyílt lángot használni; a tűzveszélyes anyagok közelében a gyújtóforrást kizárni.

Előírás. A raktározás során be kell tartani a munkavédelmi törvény és a tűzvédelmi szabályok szerinti tárolási rendre, a menekülési útvonalakra, a tűzszakaszokra és a tűzoltó készülékek elhelyezésére vonatkozó előírásokat (ellenőrizendő: a mindenkori Országos Tűzvédelmi Szabályzat és a munkavédelmi törvény).

2.3.10. Kidolgozott példák

1. példa – Hűtőfolyadék keverése.
Adott: egy motor hűtőrendszerének töltettérfogata 7,0 l. A gyártó 50 térfogat % fagyálló hűtőfolyadék-koncentrátumot és 50 térfogat % desztillált vizet ír elő (példaérték – ellenőrizendő: a jármű gyártói adata).
Keresett: mennyi koncentrátumot és mennyi vizet kell kimérni?
Képlet: $V_{\text{konc}} = V_{\text{össz}} \cdot \frac{50}{100}$.
Behelyettesítés: $V_{\text{konc}} = 7{,}0\,\text{l} \cdot 0{,}50 = 3{,}5\,\text{l}$.
Eredmény: 3,5 l koncentrátum és $7{,}0\,\text{l} - 3{,}5\,\text{l} = 3{,}5\,\text{l}$ víz.
Ellenőrzés: a keverék térfogata $3{,}5 + 3{,}5 = 7{,}0\,\text{l}$. A fagyáspont a keverési táblázatból olvasandó (például ilyen keveréknél kb. $-37\,^{\circ}\text{C}$, de ez a termékre vonatkozó adatlap szerint ellenőrizendő). ∎

2. példa – Felitató anyag szükséglete.
Adott: a műhelyben kiömlött 0,8 l motorolaj. A felitató granulátum gyártói adatlapja szerint 1 kg felitató anyag kb. 1,2 l folyadékot szív fel (példaérték – ellenőrizendő: a termék adatlapja).
Keresett: a minimálisan szükséges felitató anyag tömege.
Képlet: $m = \frac{V_{\text{kiömlött}}}{Q}$, ahol Q a felvevőképesség.
Behelyettesítés: $m = \frac{0{,}8\,\text{l}}{1{,}2\,\text{l/kg}} = 0{,}67\,\text{kg}$.
Eredmény: legalább 0,67 kg felitató anyagot kell rászórni; a gyakorlatban kerekítsünk fel, és használjunk 1 kg-ot, hogy a felszíni maradékot is felvegye.
Ellenőrzés: a felitatott anyag tömege a felitatott olajjal együtt $1\,\text{kg} + 0{,}8\,\text{l} \cdot 0{,}88\,\text{kg/l} \approx 1{,}7\,\text{kg}$ körül lesz (az olajsűrűség kb. 0,88 kg/l, példaérték); a hulladékot mérjük le, és a veszélyes hulladék nyilvántartásba írjuk. ∎

3. példa – Gyűjtőedény töltöttsége.
Adott: egy 60 l űrtartalmú fáradtolaj-gyűjtő kannába legfeljebb 80 %-ig szabad tölteni (példaérték – ellenőrizendő: a gyűjtőedény és a hulladékkezelő előírása). Egy olajcsere során 4 l fáradt olaj keletkezik.
Keresett: hány olajcsere után kell üríteni a kannát?
Képlet: hasznos térfogat $V_{\max} = 60\,\text{l} \cdot 0{,}80 = 48\,\text{l}$. A cserék száma $N = V_{\max}/4\,\text{l}$.
Behelyettesítés: $N = 48\,\text{l}/4\,\text{l} = 12$.
Eredmény: legfeljebb 12 olajcsere után el kell szállíttatni a hulladékot, de a gyakorlatban már hamarabb, mert a szűrőket és az olajos rongyot is kezelni kell. ∎

2.3.11. Minőségellenőrzés

A műhelyben a veszélyes anyagok és hulladékok kezelése akkor jó, ha az alábbi pontokra igennel tudsz válaszolni:

1. Minden edény felirata olvasható, piktogrammal és magyar nyelvű veszélyjelöléssel rendelkezik.

2. A biztonsági adatlapok a munkaterületen elérhetők, a szerelő tudja, melyik anyaghoz melyik szakasz kell.

3. A folyadékok kármentő tálcán, alsó polcon, elkülönítve tároltak.

4. A savas és gyúlékony anyagok tárolása szétválasztott.

5. A veszélyes hulladék gyűjtőedényei zárhatók, feliratozottak, kármentőben állnak és nincsenek túltöltve.

6. A hulladékátadás igazolással dokumentált, a nyilvántartás naprakész.

7. A fék és poros munkák során nem használnak sűrített levegős porolást.

8. Az olajos rongy zárt fémdobozban gyűlik, nem kommunális hulladékban.

9. A raktárban a menekülési útvonal szabad, a tűzoltó készülékek hozzáférhetők.

10. A kiömléshez felitató készlet van a közelben, és a dolgozók ismerik a használatát.

2.3.12. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Egy szervizben olajcsere közben a szerelő meglökte a fáradtolaj-gyűjtő kannát. A kanna fedele nem volt visszazárva, így mintegy 2 l fáradt olaj a műhely padlójára folyt. A szerelő gyorsan feltörölte egy szokásos padlóronggyal, majd a rongyot a kommunális hulladékgyűjtőbe dobta. Az olaj egy része a padlóösszefolyóba folyt. Az ellenőrzésen kiderült, hogy a kiömlött fáradt olaj veszélyes hulladék, a feltörlő rongy is veszélyes hulladékká vált, és a kommunális gyűjtőbe kerülése szabálytalan. A csatornába jutott olaj miatt kötelezettségszegést állapítottak meg.

Helyes gyakorlat. A kanna visszazáró fedelét mindig csukd le, amint befejezted a töltést. A gyűjtőedényt kármentő tálcán tárold. Kiömléskor azonnal szórd fel felitató granulátummal, várd meg, amíg felszívja, majd a felitatott anyagot tedd a „veszélyes hulladék – olajos felitató anyag” edénybe. A padlóösszefolyót szükség esetén zárható fedéllel ellenőrizd, és az olajfogót rendszeresen tisztíttasd. A baleseti kiömlést dokumentáld a hulladéknyilvántartásban, és a felitatott hulladékot a következő engedélyes átvételkor add át.

2.3.13. Gyakorlati útmutató – veszélyes hulladék gyűjtése a műhelyben

Cél: A fáradt olaj, olajos szűrő, fékfolyadék és hűtőfolyadék szabályos, biztonságos, dokumentált gyűjtése.

Jármű- és adatazonosítás: a munkalapon rögzítsd a jármű rendszámát, alvázszámát, futott kilométert, a cserélt folyadék típusát és mennyiségét.

Szükséges eszközök: feliratú gyűjtőedények, kármentő tálca, védőkesztyű, védőszemüveg, felitató készlet, mérleg, hulladéknyilvántartó lap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. Állítsd a járművet emelőre vagy a szerelőaknára a gyártói emelési pontokon; jármű alá csak biztos alátámasztás után menj be.

2. Vedd fel a védőkesztyűt és védőszemüveget.

3. A leeresztő csavar alá tedd a megfelelő, feliratozott gyűjtőedényt, amely kármentőben áll.

4. Engedd le az olajat teljesen; a forró olaj égési sérülést okozhat, ezért a gyártó szerinti hőmérsékletre hűlt motornál dolgozz, vagy használj hosszú, hőálló kesztyűt.

5. A szűrőt oldd ki, és tedd az „olajos szűrő” zárható edénybe.

6. Töltsd át a fáradt olajat a gyűjtőkannába, zárd le, és jelöld a mennyiséget.

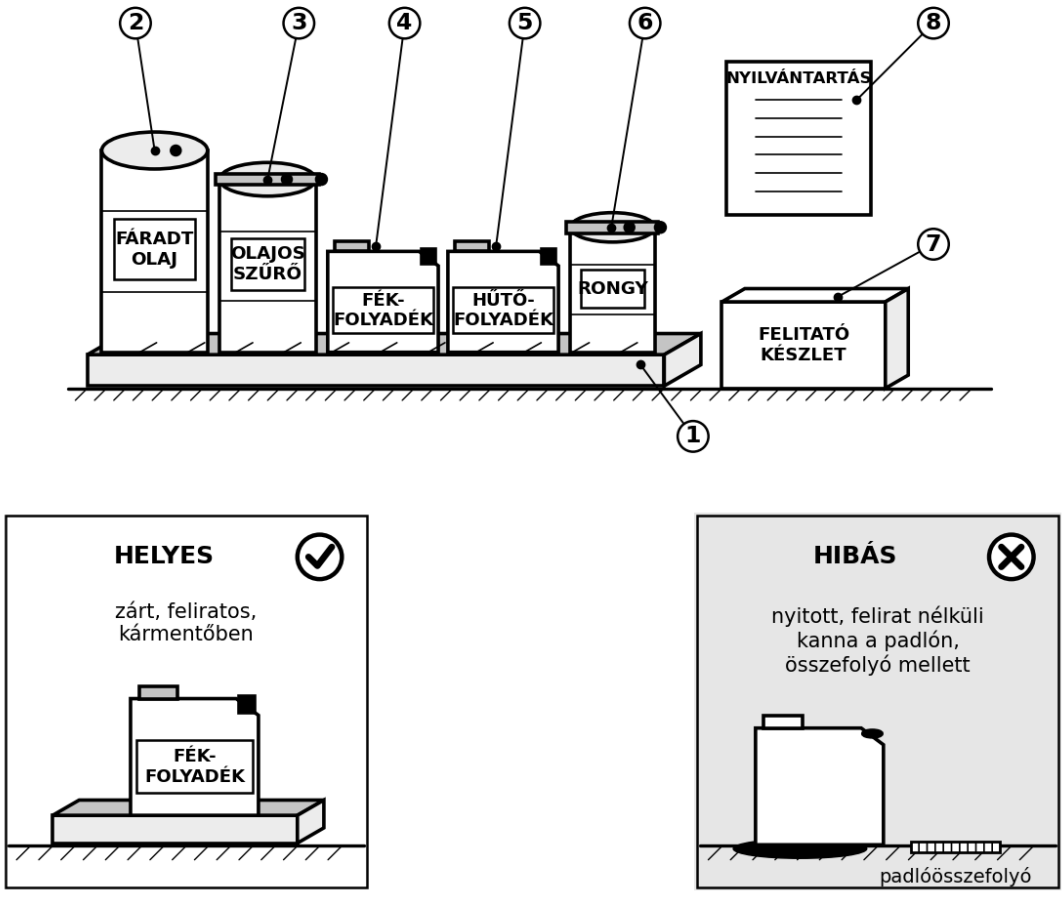
7. Az elcsöpögött olajat kármentőben gyűjtsd, a felitatott anyagot a veszélyes hulladék gyűjtőbe tedd.

8. A munkalapra írd fel a keletkezett veszélyes hulladék fajtáját és mennyiségét.

9. A hulladéknyilvántartást a műhely előírása szerint vezesd; az átadáskor kérd el az átvevő igazolását.

10. Ellenőrizd, hogy a gyűjtőedények zárva, felirattal, kármentőben állnak.

Gyűjtőpont a műhelyben



2.7. ábra. Veszélyeshulladék-gyűjtőhely kármentő tálcán, feliratozott, zárt edényekkel; helyes és hibás tárolás

2.3.14. Tipikus hibák

1. **Fékport sűrített levegővel fújni.** A por szétterjed a műhely levegőjében, a szerelő belélegzi. Helyes: nedves törlés, porszívózás, gyártói előírás szerinti módszer.

2. **Különböző hulladékfolyadékok összekeverése.** A fékfolyadékot a fáradt olajba öntik, vagy a hűtőfolyadékot az olajjal keverik. Ezzel a hulladék átvevője visszautasíthatja, és a kezelés drágább lesz. Helyes: anyagfajtánként külön edény.

3. **Olajos rongy nyitott kukában.** Az olajos rongy éghető veszélyes hulladék; a lenolajos, növényi olajos vagy egyes festék-/lakkmaradékos rongy oxidáció közben önmelegszik és öngyulladhat. Helyes: zárható, feliratozott fémedény, rendszeres ürítés.

4. **Fagyálló hűtőfolyadék leöntése a padlóösszefolyóba.** Édes íze miatt állatok számára is veszélyes, a környezetet szennyezi. Helyes: veszélyes hulladékként gyűjtve.

5. **A biztonsági adatlapot nem olvassák el.** A szerelő nem tudja, milyen kesztyű kell, mivel kell oltani, mi a teendő szembe kerüléskor. Helyes: mindig a 2., 4., 5., 6. és 8. szakasszal kezdeni.

2.3.15. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A biztonsági adatlap 2. szakaszában találod az anyag elsősegély-nyújtási intézkedéseit. Indokold röviden.

2. Mi a teendő, ha a műhely padlójára 1 l benzin ömlik? Sorold fel a fő lépéseket.

3. Legalább hány szakaszból áll a REACH szerinti biztonsági adatlap, és mi a szerepe a 13. szakasznak?

4. Miért tilos sűrített levegővel fújni a fékport?

5. Egy 50 l gyűjtőedénybe legfeljebb 80 %-ig tölthetsz fékfolyadékot (példaérték). Hány liter fékfolyadék fér bele maximálisan?

6. Mi a veszélye az olajos rongy nyitott kukában történő tárolásának, és hogyan kell gyűjteni?

2.3.16. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel, mely piktogramok fordulnak elő leggyakrabban egy járműjavító műhelyben az alábbi anyagokon: benzin, akkumulátorsav, motorolaj, hűtőfolyadék, tisztítóspray.

2. feladat (A) Magyarázd el röviden, mi a különbség a CLP-piktogram és a biztonsági adatlap H-mondata között.

3. feladat (B) Egy műhelyben a hulladéknyilvántartás szerint az év során keletkezett 240 l fáradt olaj és 15 kg olajos felitató anyag. A hulladékkezelő az olajat 95 %-os visszanyerési aránnyal dolgozza fel (példaérték). Számítsd ki, hány liter alapolajat nyernek vissza a fáradt olajból, és ellenőrizd: a mennyiség szerepelhet-e egy 200 l-es tartályban?

4. feladat (B) Olvasd le a szöveg alapján: a fékfolyadékot miért nem szabad a fáradt olajjal közös edénybe gyűjteni? Fogalmazd meg a gyűjtési szabályt két mondatban.

5. feladat (C) Egy műhely dolgozója a raktárban egymás mellé tesz egy tartály benzint és egy nyitott akkumulátort, amelyből savgőzök szivárognak. Milyen két fő veszélyt rejt ez az elrendezés? Milyen tárolási elveknek kell megfelelni?

6. feladat (D) Kiömlött 0,5 l fékfolyadék a műhely padlójára. A szerelő vízzel felmossa, és a csatornába engedi. Helyes volt? Írd le a hibás lépéseket, majd a helyes intézkedési sort, a környezetvédelemre is kitérve.

2.3.17. Megoldások

2.3.17.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A 2. szakasz a veszélyek azonosítását tartalmazza; az elsősegély-nyújtás a 4. szakaszban van.

2. Kapcsolj ki minden gyújtóforrást, szellőztess, vedd fel a megfelelő védőeszközt, itasd fel felitató anyaggal, a felitatott anyagot tedd veszélyes hulladék edénybe, ne engedd csatornába.

3. A REACH szerinti biztonsági adatlap 16 szakaszból áll (ellenőrizendő). A 13. szakasz az ártalmatlanítási szempontokat adja meg.

4. Mert a fékpor a tüdőbe kerül, és régi betétek azbesztet is tartalmazhatnak, ami rákkeltő; ezért nedves vagy elszívásos módszert kell használni.

5. $V_{\max} = 50\,\text{l} \cdot 0{,}80 = 40\,\text{l}$.

6. Az olajos rongy éghető veszélyes hulladék, a növényi olajos (száradó olajos) rongy oxidáció közben önmelegszik és öngyulladhat; zárható fém, „olajos rongy” feliratú edényben kell gyűjteni, nem nyitott kukában.

2.3.17.2. Feladatok megoldásai

1. feladat Benzin: láng, egészségkárosító, környezeti veszély. Akkumulátorsav: maró. Motorolaj: felkiáltójel, egészségkárosító (használt olajnál). Hűtőfolyadék: felkiáltójel, egészségkárosító. Tisztítóspray: láng, felkiáltójel, esetenként maró vagy halálfej (akut toxicitás). A pontos piktogramok a termék biztonsági adatlapjától függnek.

2. feladat A CLP-piktogram egy vizuális jel, amely a veszély típusát mutatja (például láng = gyúlékony). A H-mondat a veszély pontos szöveges meghatározása (például „H225 – fokozottan tűzveszélyes folyadék és gőz”), a P-mondat pedig óvintézkedést ad. A piktogram a gyors felismerést, a H- és P-mondatok a részletes tájékozódást szolgálják.

3. feladat A visszanyert alapolaj mennyisége: $V_{\text{vissza}} = 240\,\text{l} \cdot 0{,}95 = 228\,\text{l}$. Egy 200 l-es tartályba ez nem fér be egy tételben; két részletben vagy nagyobb tartályban kell tárolni. ∎

4. feladat A fékfolyadék mérgező, bőrön át felszívódik, és a fáradt olajjal keveredve az egész tétel visszanyerését, átadását megnehezíti, a kevert hulladék veszélyesebbé és drágábban kezelhetővé válik. A gyűjtési szabály: minden hulladékfolyadékot anyagfajtánként elkülönítve, feliratozott, zárható, kármentőben álló edényben kell gyűjteni.

5. feladat Két fő veszély: (1) a savgőz és a benzingőz keveredése nem közvetlen robbanásveszély, de a sav korrodálhatja a fém tartályt, és a benzingőz nyílt láng vagy szikra esetén robbanhat; (2) a gyúlékony folyadék és a maró anyag együtt tárolása tűz és egészségkárosodás kockázatát

növeli. Helyes tárolás: gyúlékony anyag tűzszekrényben, sav saválló tálcán, egymástól elkülönítve, szellőztetett helyiségben, felirattal.

6. feladat Nem volt helyes. A fő hibák: a fékfolyadékot nem szabad vízzel a csatornába mosni, mert mérgező, bőrön át felszívódik és vízszennyező; nem viselt védőeszközt; nem használt felitató anyagot; nem gyűjtötte veszélyes hulladékként. Helyes sor: szellőztetés, védőkesztyű és -szemüveg; gyújtóforrások kizárása, ha éghető; felitatás univerzális felitató anyaggal; a felitatott anyagot veszélyes hulladék edénybe; felület nedves letörlése; a hulladék nyilvántartásba vétele. A csatornába jutott fékfolyadékot a műhely környezetvédelmi eljárása szerint jelenteni kell.

2.3.18. Rövid összefoglaló

A járműjavító műhelyben használt üzemanyagok, olajok, fék- és hűtőfolyadékok, akkumulátorsav, AdBlue és tisztítószerek veszélyes anyagok. A kezelés alapja a CLP-címke és a biztonsági adatlap 16 szakasza. A piktogramok és H-mondatok mutatják a fizikai, egészségi és környezeti veszélyt; az adatlap megadja az egyéni védőeszközöket, az elsősegélyt, a tűzoltást és a kiömlés kezelését. A folyadékokat eredeti, zárható, feliratozott edényben, kármentő tálcán, szellőztetett, elkülönített tárolóban kell tartani. Kiömléskor gyújtóforrásokat ki kell zárni, felitató anyagot kell használni, a hulladékot tilos a csatornába mosni. A veszélyes hulladékot anyagfajtánként kell gyűjteni, zárható, feliratozott edényben, és csak engedéllyel rendelkező átvevőnek szabad átadni, nyilvántartás mellett. Fékport tilos sűrített levegővel fújni; olajos rongyot zárt fémdobozban kell gyűjteni. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a veszélyes anyag- és hulladékkezelési ismeretet használjuk az Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések alfejezetben, ahol a szervizfolyadékok szintellenőrzését és cseréjét végezzük, valamint a Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása alfejezetben, ahol a járműből kiszerelt alkatrészek és folyadékok elhelyezését kell megszervezni.

2.3.19. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok. Uniós rendeletek: CLP-rendelet (1272/2008/EK), REACH-rendelet (1907/2006/EK) biztonsági adatlapra vonatkozó melléklete; magyar jogszabályok: a munkavédelmi törvény (1993. évi XCIII. törvény), a hulladékról szóló törvény és a végrehajtási rendeletek; gyártói biztonsági adatlapok, hulladékkezelői előírások.

Ellenőrizendő pontok. A CLP- és REACH-rendelet pontos száma és hatályos szövege; a hulladékról szóló törvény pontos száma; a veszélyes hulladék nyilvántartási, adatszolgáltatási és átadási szabályai; a fékpor- és azbeszt-kezelési határértékek; a gyűjtőedény maximális töltöttségére vonatkozó gyakorlat; a hűtőfolyadék keverési arány és fagyáspont példaértéke; a felitató anyag felvevőképessége.

2.4. Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben

2.4.1. Motiváció

Képzeld el a következő hétköznapi műhelyhelyzetet: hegesztés közben egy fröccsenő szikra meggyújtja az állvány alatt felejtett olajos rongyot. A láng gyorsan terjed, a közeli benzines kannánál füstöl. Ebben a pillanatban nem mindegy, hogy a szerelő tudja-e, mit jelent a tűzoltó készüléken az „A, B, C” jelölés, hogyan kell megfogni a porral oltót, és mikor kell abbahagyni az oltást és elhagyni a műhelyt. Ugyanebben a helyzetben egy tanuló megszédül a füsttől,

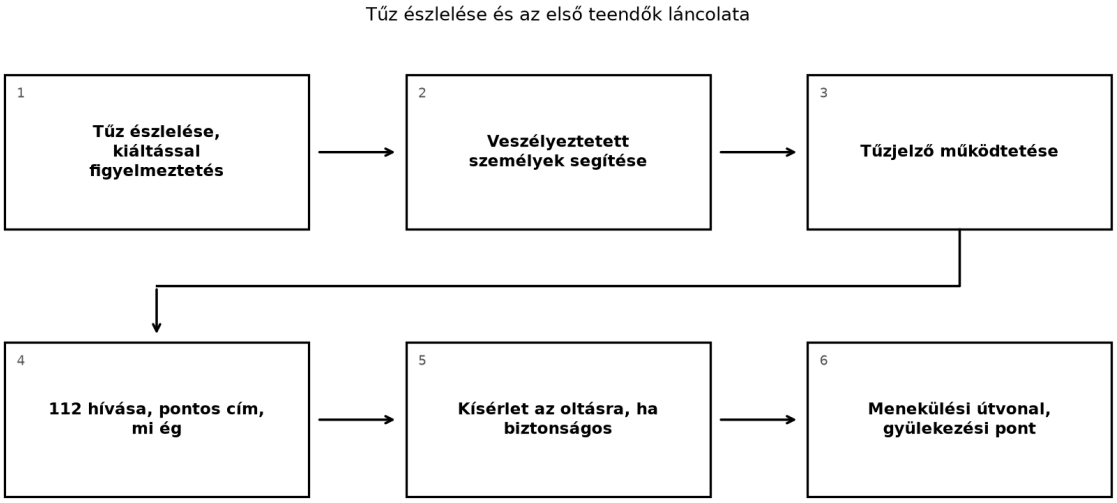
égési sérülést szenved a kezén, és ha senki nem ismeri a mentési láncot, a segítség késlekedése súlyosbíthatja a sérülést.

A gépjárműjavító műhely tűz- és egészségvédelmi tudása nem elméleti dísz: minden évben előfordulnak üzemanyag- és olajtüzek, akkumulátor-robbanások, illetve vegyszer- és égési sérülések. Az alábbi alfejezet ezeket a műhelyi helyzeteket tanítja meg kezelni: kiválasztani a tűzosztálynak megfelelő tűzoltó eszközt, szabályosan jelezni a tüzet, és elsősegélyt nyújtani a leggyakoribb sérüléseknél. A hangsúly az azonnali, biztonságos döntésen van, nem a tűzoltói szakmunkán: a járműjavító szakember feladata az életveszély elhárítása és a szakszerű segítség gyors értesítése.

2.4.2. Szemléletes kép

Rajzolj magad elé egy tipikus kétszintes járműjavító műhelyt. A földszinten, a központi oszlop mellett, jól látható helyen piros porral oltó készülék függ, felirata: „ABC por 6 kg”. A falon zöld menekülési jel mutat a hátsó kijárat felé, és ott van a gyülekezési pont táblája. A műhelyajtó mellett dobozban találhatók az elsősegélynyújtó felszerelések: steril gézlapok, ragtapasz, tekercskötés, nyomókötés, olló, egyszer használatos gumikesztyű, hideg borogatás. Az emelő mellett egy második tűzoltó készülék áll, ez szén-dioxiddal oltó (CO_2), amelyet elektromos és folyékony tüzekhez helyeztek ki. A gázpalack-tároló rácsos, szellőztetett fülkéjében gázérzékelő és „Dohányozni tilos” tábla van. Ezt a képet most a szabályok felől is értelmezni fogjuk, hogy a munkavállaló mindig gyorsan, célirányosan cselekedjen.

A tűzriadó lefolyását az alábbi folyamatábra foglalja össze:



2.8. ábra. Tűz észlelése és az első teendők láncolata - Szemléltető vázlat; a munkahelyi tűzriadó terv pontos sorrendje a mérvadó.

A műhelyben a tűzjelzés és a menekülés gyors, begyakorolt folyamat, amelyet minden új dolgozónak és tanulónak ismernie kell. A fenti folyamat egyetlen célra irányítja a cselekvést: előbb embert menteni, utána jelezni, és csak akkor oltani, ha azzal nem veszélyeztetjük magunkat.

2.4.3. Tűzosztályok, tűzveszélyességi osztályok és tűzoltó készülékek

Definíció. Tűzosztály. Az éghető anyag halmazállapota és kémiai viselkedése szerint a tüzet osztályozzuk, mert az oltóanyag hatásossága ettől függ. A legfontosabb tűzosztályok:

Osztály	Égő anyag	Példa a járműjavító műhelyben	Alkalmas oltóanyagok (általában)
A	szilárd anyagok, izzással, parázslással égnek	fa raklap, rongy, gumiabroncs, műanyag burkolat	víz, hab, ABC por
B	folyékony anyagok vagy olvadékká váló szilárd anyagok	benzin, gázolaj, motorolaj, oldószer, festék	hab, CO_2, BC/ABC por; víz TILOS
C	éghető gázok	propán-bután, acetilén, földgáz	por, CO_2; a gázelzárás az elsődleges
D	fémek	magnézium, titán, alumíniumpor	speciális fémoltó por; víz TILOS
F	étolaj, zsír	járműjavítóban ritkább, konyhai egységben fordul elő	F osztályú nedves kémiai oltó, hab

Az elektromos tűz hagyományosan **nem külön tűzosztály**, hanem egy további veszélyforrás: a villamos energia jelenléte miatt az oltóanyag nem lehet vezető, és a feszültségmentesítést meg kell kísérelni. A porral oltó és a szén-dioxiddal oltó készülék jellemzően feszültség alatti elektromos tüzekhez is használható, de csak a készülék címkéjén feltüntetett maximális feszültségig (például 1000 V-ig; **ellenőrizendő:** a konkrét készülék gyártói adata). A víz és a hab ezzel szemben elektromos tűznél nem választható addig, amíg a rendszer feszültség alatt van.

Definíció. Tűzveszélyességi osztály. Az anyagok, keverékek és helyiségek besorolása tűzveszélyességük szerint (robbanásveszélyes, tűzveszélyes vagy nem tűzveszélyes osztály). Az építmény és a tűzszakasz tűzvédelmi követelményeit a kockázati osztály (nagyon alacsony, alacsony, közepes, magas kockázat) határozza meg. A magyar szabályozás ezt az Országos Tűzvédelmi Szabályzatban (OTSZ) rendezi (**ellenőrizendő:** 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet hatályos szövege és fogalomrendszere); a régi A–E tűzveszélyességi osztályok régi dokumentumokban még előfordulnak, de nem érvényesek. A gyakorlatban a járműjavító műhely, ahol gyúlékony folyadékok, gázpalack, olajos hulladék, hegesztőmunka és akkumulátortöltés is előfordul, magas tűzkockázatú helyiségnek számít; a pontos besorolást a tűzriadó tervben és a munkáltatói tűzvédelmi szabályzatban kell rögzíteni.

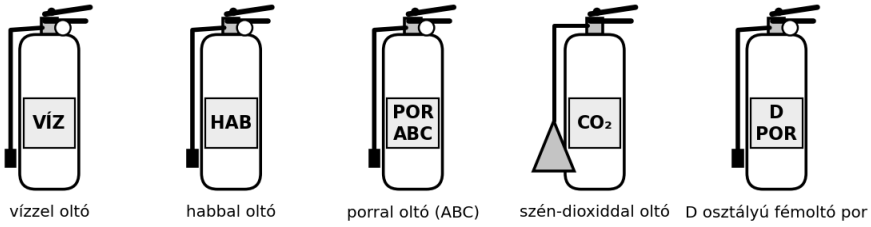
A tűzoltó készülékek fő fajtái:

- **Vízzel oltó készülék.** Alkalmas A osztályú tűzre; égő folyadékra és elektromos berendezésre nem használható.
- **Habbal oltó készülék.** A és B osztályú tűzre jó; elektromos tűzre csak feszültségmentesítés után.
- **Porral oltó készülék (ABC, BC).** Széles körben használható A, B, C és elektromos tüzekre a készülék jelölése szerint; hátránya a szennyezés, a látáskorlátozás, és a D osztályú fémtűzre nem alkalmas.
- **Szén-dioxiddal oltó készülék (CO_2).** B, C és elektromos tüzekre választható; A osztályú parázsló tűzre korlátozottan alkalmas, mert a CO_2 nem hűti eléggé a parazsat. Működés közben a fúvóka erősen lehűl, ezért soha ne fogjuk meg a fémszóró csövet csupasz kézzel (**Figyelem:** fagyásveszély).

- **D osztályú fémoltó por.** Csak fémtüzekre; a műhelyben akkor kell gondolni rá, ha magnéziumötvözet alkatrészek, forgács, régi magnéziumötvözet öntött keréktárcsák hegesztése vagy köszörülése történik.

Az alábbi ábra felső része a felsorolt öt készüléket és alkalmasságukat mutatja tűzosztályonként (✔ alkalmas, ✘ nem alkalmas, (✔) korlátozottan), az alsó képsor a készülék kezelését: biztosítószeg kihúzása, célzás a tűz tövére, a kar lenyomása, seprő mozdulat.

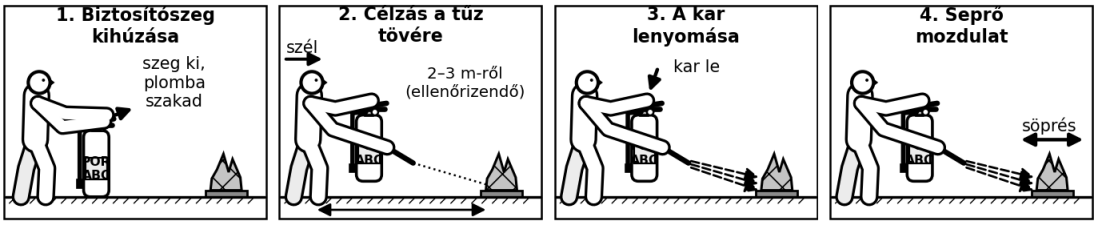
(a) Készülékfajták és tűzosztályok



	vízzel oltó	habbal oltó	porral oltó (ABC)	szén-dioxiddal oltó	D osztályú fémoltó por
A	✔	✔	✔	(✔)	✘
B	✘	✔	✔	✔	✘
C	✘	✘	✔	✔	✘
D	✘	✘	✘	✘	✔
F	✘	(✔)	✘	✘	✘
villamos	✘	✘*	✔**	✔**	–

(✔) korlátozottan / a táblázat szerint; * csak feszültségmentesítés után; ** a címkén megadott feszültségig (pl. 1000 V, ellenőrizendő)

(b) A készülék használata (a Gyakorlati útmutató 5. lépése szerint)



2.9. ábra. Tűzoltó készülékek fajtái a tűzosztályok szerint és a készülék kezelésének négy lépése

Tilos. Égő benzint, gázolajat, motorolajat vagy oldószert vízsugárral (vízzel oltó készülékkel, tömlővel) oltani, mert a víz a forró, könnyebb folyadék alá kerül, gőzrobbanást okozhat, és szétfröcsköli az égő folyadékot. A folyadéktüzet habbal (a hab a felszínen záróréteget képez), porral vagy szén-dioxiddal oltjuk; kis edényben letakarással (fojtással).

2.4.4. Tűzmegelőzés, tűzjelzés és menekülés

A műhelyben a tűzvédelem elsősorban megelőzés. Gyakorlati szabályok:

- Az **olajos rongy** öngyulladást okozhat, ezért fém, zárható edényben gyűjtjük, és naponta eltávolítjuk a műhelyből.
- Az **üzemanyagot** csak jól szellőztetett helyen, hermetikusan zárt, jóváhagyott tartályban tároljuk. A gőzök sűrűbbek a levegőnél, aknákba, pincékbe süllyednek, ezért az aknában soha ne gyújtsunk nyílt lángot.

- **Akkumulátortöltés** alatt hidrogéngáz keletkezik, amely robbanóképes; tilos a közelben nyílt láng, szikra.
- **Hegesztést, csiszolást, vágást** csak tűzvédelmi szempontból ellenőrzött környezetben végezzünk; a szikra messzire terjed, ezért az éghető anyagokat takarjuk le vagy távolítsuk el.

Előírás. A tűzjelzés rendjét a munkáltatói tűzriadó terv és az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) határozza meg (**ellenőrizendő:** hatályos OTSZ ide vonatkozó pontjai). A tipikus folyamat: észlelés – figyelmeztetés – veszélyeztetett személy segítése – tűzjelző működtetése – a 112 segélyhívó hívása – kísérlet az oltásra, ha az biztonságos – menekülési útvonal használata.

A **112-es** egységes segélyhívón a bejelentő mondja el: ki hívja, pontosan hol van a tűz (település, utca, házszám, szint), mi ég, van-e sérült, van-e robbanásveszély, és várjon a hívás fogadójának visszakérdezésére. Telefonos segítségkéréskor soha ne szakítsuk meg a hívást, amíg a diszpécser nem mondja, hogy letehetjük.

A menekülés szabályai: a menekülési útvonalat mindig szabadon kell hagyni; füst esetén a padló közelében haladjunk, mert ott kevesebb a mérgező füst; zárt ajtót a kilincs megérintésével ellenőrizzünk, ha forró, ne nyissuk ki; a gyülekezési ponton jelentkezzünk, hogy a létszámellenőrzéskor ne keressenek – ezzel magunkat és másokat is védünk.

Szabály. A tűzoltó készülék használatának alaptechnikája a „kihúz, céloz, nyom, söpör” módszer:

1. **Kihúz** a biztosító szeget.
2. **Céloz** a fúvókát a tűz alapjára, nem a lángnyelvre.
3. **Nyom** a kart folyamatosan.
4. **Söpör** a fúvókát oldalirányban, amíg a tűz el nem alszik.

Ha a tűz nagyobb, mint egy kis tartály, a helyiség füsttel telik meg, vagy gázpalack, üzemanyagtartály, hibrid-akkumulátor érintett, azonnal hagyjuk el a helyiséget, és hívjunk tűzoltót.

2.4.5. Elsősegély a műhelyben

Definíció. Mentési lánc. Az elsősegélynyújtás egymásra épülő, időben sürgős lépései: **1.** a helyszín és a saját biztonság ellenőrzése; **2.** a sérült állapotának felmérése (eszmélet, légzés); **3.** a 112 hívása; **4.** elsősegély a mentő kiérkezéséig.

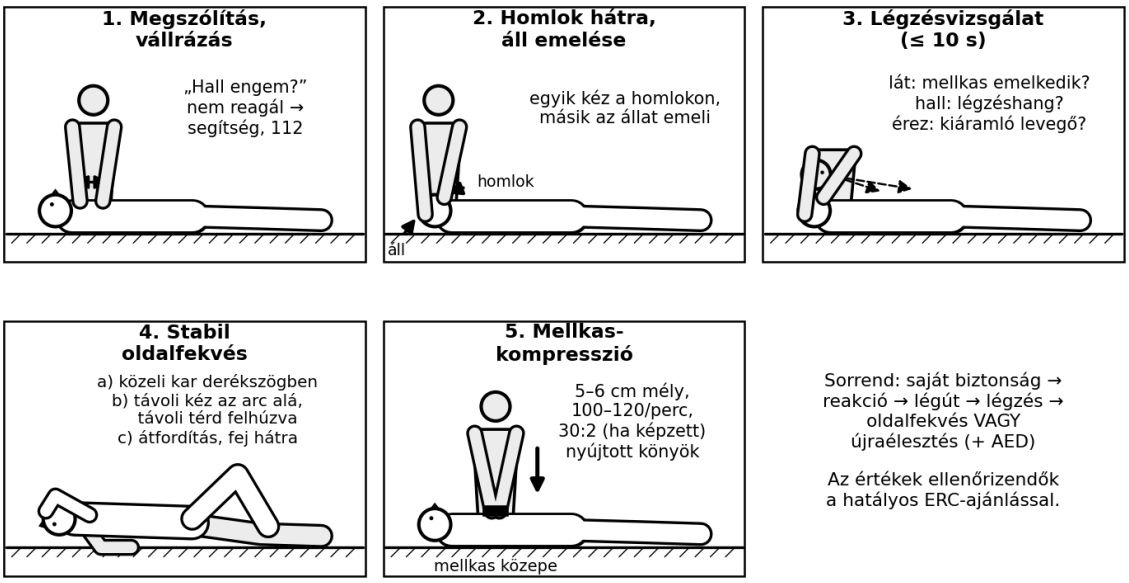
A műhelyben jellemző sérülések: vágás, szúrt seb, égés, vegyszer-szembefröccsenés, sav/lúg marása, áramütés, összenyomott végtag (emelőről leeső jármű, prés). A teendőkben a leggyakoribb hibát az okozza, hogy a segítő pánikba esik, és elfelejti felmérni a saját veszélyeztetettségét. Először mindig a veszélyforrást szüntessük meg, vagy távolítsuk el a sérültet abból a környezetből.

Eszméletlen sérült és újraélesztés alapjai (BLS). Ha a sérült nem reagál a megszólításra és a vállrázásra:

1. Kiáltsunk segítségért, és hívassunk mentőt (112).
2. Szabadítsuk fel a légutat: egyik kezünkkel homlokát hátrafeszítjük, a másikkal az állát kiemeljük.
3. Vizsgáljuk a légzést legfeljebb 10 másodpercig: lássuk a mellkas emelkedését, halljuk a légzést, érezzük a kiáramló levegőt.
4. Ha a sérült normálisan lélegzik: helyezzük stabil oldalfekvésbe, és folyamatosan figyeljük.

5. Ha nem lélegzik vagy csak agónálisan lélegzik: kezdjük el az alapszintű újraélesztést. Felnőttnél 30 mellkaskompresszió, majd 2 befúvás (ha képzett vagyunk), ciklusokban. A kompresszió legyen 5–6 cm mély, 100–120/perc ütemű (például a „Staying Alive” dal ritmusa). Ha AED (félautomata defibrillátor) elérhető, kapcsoljuk be, és kövessük a hangutasításokat; az AED a készülék által ismertetett lépéseket adja.

A képsor a fenti lépések testhelyzeteit mutatja: reakcióvizsgálat, légútfelszabadítás, légzésvizsgálat, stabil oldalfekvés és a mellkaskompresszió kézhelyzete.



2.10. ábra. Elsősegély-képsor: reakció, légút, légzés, stabil oldalfekvés, mellkaskompresszió

Vérzéscsillapítás. A vágott, szúrt sebet közvetlen nyomással fogjuk le. Steril gézlapot helyezünk a sebre, erősen rányomunk, és a végtagot felpolcoltatjuk. Ha átvérzik, az újabb réteget ráhelyezzük, nem távolítjuk el az elsőt. A szorítókötést csak életveszélyes, erős végtagvérzésnél használjuk, széles, rugalmas anyagból, és feljegyezzük a felhelyezés idejét. Levágott testrészt tiszta zacskóba teszünk, és hűtőtáskában, jéggel körülvéve szállítjuk, de ne fagyasszuk.

Égési sérülés. A hő okozta sérülést azonnal hűteni kell folyó, lehetőleg langyos/hideg csapvízzel, legalább 10–20 percen át, vagy amíg a fájdalom csillapodik. A ráégett ruhát ne szakítsuk le; a nem tapadt ruhát óvatosan eltávolíthatjuk. A sebet steril, száraz kötszerrel fedjük; ne tegyünk rá zsírt, kenőcsöt, joghurtot, fogkrémet vagy jeget. Nagyobb méretű, az arcra, a kézre, az ízületekre kiterjedő, vagy gyermeket, idős embert ért égésnél mindig hívjunk mentőt.

Vegyi sérülés. Ha sav, lúg, fékfolyadék, hűtőfolyadék vagy üzemanyag kerül a bőrre, a szennyezett ruhát azonnal le kell venni, és a bőrt bő, folyó vízzel hosszan öblíteni. **Tilos** a savat lúggal vagy lúgot savval semlegesíteni, mert heves hőtermelő reakció alakulhat ki. Ha a vegyszer a szembe jut, a szemhéjat ujjainkkal nyitva tartva legalább 10–15 percig bő vízzel öblítsünk, távolítsuk el a kontaktlencsét, és haladéktalanul orvoshoz kell fordulni.

Áramütés járművön. A hagyományos 12 V-os fedélzeti hálózat alacsony feszültségű, így közvetlen áramütést ritkán okoz, de a nagy indítóáram alatt bekövetkező rövidzárlat fémtárgyakat izzíthat, ékszereket forraszthat össze, égési sérülést okozhat. A sérültet megérinteni csak az áramkör megszakítása után szabad; 12 V-on is kapcsoljuk ki a gyújtást, kössük le az akkumulátor negatív kapcsát, ha lehetséges, mielőtt a sérülthöz nyúlunk.

A hibrid és elektromos járművek nagyfeszültségű (HV) rendszerén az áramütés életveszélyes. A sérültet megérinteni **tilos**, amíg a HV-rendszer feszültségmentességét arra kiképzett, jogosult személy nem ellenőrizte és nem igazolta. Ilyen esetben azonnal hívjunk tűzoltót/mentőt, maradjunk távol a narancssárga vezetékektől, és a gyártói mentési adatlap szerint járjanak el a beavatkozók. A kimentéshez a szigetelő eszközök és a gyártói eljárás ismerete szükséges; ezt a VIII. részben, a HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés alfejezetben tárgyaljuk részletesen.

Továbbvitt eredmény. A tűzosztályok, a tűzoltó készülékek helyes megválasztása, a 112 hívás és a mentési lánc lépései a nagyfeszültségű járműrendszerek biztonsági fejezetében is visszatérnek: a HV-akkumulátor tűzénél és az áramütött sérült ellátásánál ugyanezt a logikát kell magasabb kockázat mellett alkalmazni. A tűz és elsősegély ismerete tehát nemcsak a hagyományos műhelyi esetekre, hanem a modern hibrid/elektromos járművek mentési és munkahelyi biztonsági feladataira is előfeltétel.

2.4.6. Minőségellenőrzés

A tűzvédelmi felszerelést és az elsősegélynyújtó eszközöket rendszeresen ellenőrizni kell, mert csak működőképes állapotban nyújtanak védelmet. Ellenőrzőlista:

1. A tűzoltó készülékek nyomásmérője a zöld tartományban legyen; a plombált biztosító szeg ép legyen.
2. A szén-dioxiddal oltó készülék tömege a címkén feltüntetett töltetsúlynak megfelelő legyen (**ellenőrizendő:** a készülék gyártói adata, hatályos karbantartási előírás).
3. A készülék könnyen hozzáférhető, a menekülési út szabad, a jelölések jól láthatóak legyenek.
4. A tűzjelző, a füstérzékelő és a kézi jelzésadó működőképes; a próbanyomás dátumát dokumentáljuk.
5. Az elsősegélydoboz tartalmazza a lejárati dátumon belüli steril kötszereket, kesztyűt, ollót, nyomókötést, hideg borogatást; hiány esetén azonnal pótolni kell.
6. A műhely tűzriadó terve és a tűzvédelmi oktatás naprakész.

A tűzoltó készülékek időszakos karbantartását szakember végzi; a járműszerelő nem javítja, csak ellenőrzi és használja az eszközt.

2.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy márkaszervizben a technikus az alsó védőburkolat leszerelése után észreveszi, hogy a kipufogócsonkra hosszabb idő alatt rászivárgott motorolaj, és a motor melegedése után vékony füst jelenik meg. A technikus szól a kollégájának, hogy hozza a CO_2 oltót; ekkor a kipufogócsonkra csöpögő olaj lángra kap, és a kolléga alkarjára forró olaj fröccsen. A technikus kiabálva figyelmeztet, egy másik kolléga megnyomja a kézi tűzjelzőt, és hívja a 112-t. A technikus a legközelebbi ABC porral oltó készüléket használja: kihúzza a biztosítószeget, megnyomja a kart, és a fúvókát a tűz alapjára irányítva néhány másodperc alatt eloltja a kisebb olajtüzet. Utána a helyiséget kiszellőzteti, a sérült alkarját folyó, hideg vízzel hűti, steril kötszerrel fedi, majd orvoshoz küldi. A hibafeltárás után a tömítést cseréli, a szivárgás okát megszünteti, a kipufogócsonkról az olajmaradékot az első indítás előtt lemossa, és az olajos rongyokat a veszélyes hulladékba helyezi.

Tanulság: a készüléket a tűzosztály (B, folyadéktűz) alapján választottuk; a 112 hívás és a tűzjelző működtetése akkor is szükséges, ha az oltás sikeres, mert a füst, a parázs és a rejtett góc miatt utóvizsgálat kell. Forró kipufogó közelében az olajszivárgást az első indítás előtt meg kell szüntetni és a maradékot le kell tisztítani.

2.4.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. Az alábbi eljárás tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a munkahelyi tűzriadó terv betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Eljárás: tűz észlelése és az első teendők

1. **Jelezd a tüzet.** Azonnal kiabálj: „Tűz van!”, és figyelmeztesd a környező személyeket.
2. **Segíts a veszélyeztetett személyeknek.** Akinek ruhája ég, állítsd meg, fektesd le, takard le takaróval/kabáttal, és gurítsd, hogy a láng elaludjon; tilos futni hagyni.
3. **Működtesd a tűzjelzőt.** Ha van kézi jelzésadó, nyomd meg, vagy indítsd el a tűzriadót a házirend szerint.
4. **Hívd a 112-t.** Mondd el a helyszínt, mi ég, van-e sérült, majd várd a visszakérdezést.
5. **Kísérlet az oltásra.** Csak akkor kezdj oltani, ha a tűz kicsi, a menekülési út szabad, és nincs robbanásveszély. Válaszd ki a tűzosztálynak megfelelő készüléket, fogd a készüléket stabilan, húzd ki a biztosító szeget, célozz a tűz alapjára, nyomd a kart, és söpörj oldalirányban. (A négy kezelési lépést a „Tűzosztályok, tűzveszélyességi osztályok és tűzoltó készülékek” szakasz ábrájának képsora mutatja.)
6. **Ne hősködj.** Ha a tűz nő, a füst sűrű, gázpalack, üzemanyagtartály vagy HV-akkumulátor érintett, azonnal hagyd el a helyiséget, és hagyd az oltást a tűzoltóságra.
7. **Menekülj a kijelölt útvonalon.** Tartsd magad alacsonyan füstben, zárd az ajtókat (ha biztonságos), és a gyülekezési ponton jelentkezz.
8. **Számold le a jelenlévőket.** Aki hiányzik, jelentsd a tűzoltóságnak; ne menj vissza értük, ha a helyiség füstös vagy a tűz terjed.

Eljárás: égési sérült ellátása (recipe mini)

1. Szüntesd meg a veszélyforrást, hűtsd a sérülést folyó csapvízzel 10–20 percig.
2. A nem ráégett ruhát távolítsd el, a ráégett részt hagyd meg.
3. Fedd a sebet steril, száraz kötszerrel; a kéz- és lábujjakat külön fedd.
4. Ne alkalmazz zsírt, kenőcsöt, jeget, vizet a nyílt hólyagokra.
5. Hívj 112-t, ha a sérülés kiterjedt, az arc, légút, ízület érintett, vagy gyermek/idős a sérült.

2.4.9. Tipikus hibák

1. **Víz égő benzinre, olajra.** A vízsugár a forró, égő folyadékot szétfröcsköli, a tűz terjed, a víz alá süllyedő égő folyadék gőzrobbanást okozhat. Helyes: hab, CO_2, por, fojtás.
2. **A tűzoltó készülék fúvókáját a lángnyelvre irányítani.** A lángok oltása nem hatékony, mert az égést a tűz alapja tartja fenn. Helyes: a fúvókát a tűz alapjára irányítani, és oldalirányban söpörni.
3. **Áramütött sérült megfogása az áramkör megszakítása nélkül.** A HV-rendszeren ez életveszélyes; a 12 V-on is égést okozhat a rövidzár. Helyes: először áramtalanítás, 112 hívás, a sérültet csak akkor érinteni, ha a feszültségmentesség biztosított.
4. **Égési sérülés kezelése zsírral, fogkrémmel, jéggel.** A zsír és a kenőcs megtartja a hőt, növeli a szövetkárosodást, fertőzést okozhat. Helyes: hűtés folyó csapvízzel, száraz steril fedés, orvos.
5. **A 112 hívás elmulasztása sikeres oltás után.** A rejtett parázs, a visszagyulladás és a füstmérgezés veszélye miatt mindig értesíteni kell a tűzoltóságot, ha tűz volt, még ha el is oltották.

2.4.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az elektromos tűz külön tűzosztály, ezért mindig CO₂ oltóval kell oltani. Indokold!
2. Melyik tűzosztályba tartozik az égő motorolaj, és milyen oltóanyagot választanál?
3. Mi a mentési lánc négy lépése?
4. Hogyan ellenőrzöd, hogy a tűzoltó készülék használatra kész-e?
5. Miért tilos savat lúggal vagy lúgot savval semlegesíteni a bőrön?
6. Mi a teendő, ha egy hibrid jármű nagyfeszültségű rendszerénél egy sérült fekszik, és a HV-akkumulátor füstöl?

2.4.11. Az önellenőrzés megoldásai

1. **Hamis.** Az elektromos tűz nem külön tűzosztály; az oltóanyag kiválasztását az égő anyag osztálya és a feszültség jelenléte határozza meg. CO₂ mellett porral oltó is alkalmas lehet a készülék címkéje szerint.
2. Égő motorolaj B osztályú folyadéktűz; hab, CO₂ vagy BC/ABC por használható, víz tilos.
3. Mentési lánc: 1. saját biztonság és a helyszín biztosítása; 2. állapotfelmérés; 3. 112 hívás; 4. elsősegély a mentő kiérkezéséig.
4. A nyomásmérő zöld tartományban legyen, a plomba és a biztosító szeg ép, a tömlő és fúvóka sérülésmentes, a készülék hozzáférhető, a karbantartási matrica érvényes.
5. A sav-lúg semlegesítés erősen hőtermelő reakciót indíthat, ami további égési sérülést okoz; bőven folyó vízzel kell öblíteni.
6. Nem szabad a sérültet megérinteni; azonnal 112 hívás, a területet el kell hagyni, a tűzoltókat és a gyártói mentési adatlapot kell tájékoztatni, a HV-rendszeren csak arra jogosult, feszültségmentesítést végző szakember avatkozhat.

2.4.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a tűzosztályokat, és írj mindegyikhez egy-egy példát a járműjavító műhelyből!

2. feladat (A) Miért nem választható víz vagy vízalapú hab az elektromos berendezés tüzének oltására? Melyik két oltóanyag alkalmas feszültség alatti elektromos tüzekre általában?

3. feladat (B) A műhelyben egy akkumulátortöltő közelében hidrogéngáz csapódik fel, és az érkező szikrától meggyullad. Milyen tűzosztályba tartozik, és mi az elsődleges oltási eljárás?

4. feladat (B) Írd le az alapszintű újraélesztés (BLS) lépéseit felnőttnél, ha a sérült nem lélegzik! Mi az ajánlott kompresszió mélysége és üteme?

5. feladat (C) Egy tanuló égési sérülést szenved a karjára fröccsenő hűtőfolyadéktól. Kollégája jégakkukkal próbálja hűteni, majd égési kenőcsöt ken rá. Mi a hiba ebben az ellátásban, és mi a helyes sorrend?

6. feladat (D) A szerelő a 12 V-os akkumulátor pozitív saruját szereli, a kulcs véletlenül hozzáér a kocsiszekrényhez, rövidzár keletkezik, a gyűrű izzani kezd, és a dolgozó égési sérülést szenved. Milyen elsősegély-lépéseket tegyél meg, és mi a megelőzés?

2.4.13. A feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A – fa raklap, gumiabroncs, karton; **B** – benzin, gázolaj, motorolaj, oldószer; **C** – propán-bután, acetilén; **D** – magnéziumötvözet alkatrész, alumíniumpor; **F** – étolaj, zsír (ha van konyhai részleg). Az elektromos tűz nem külön osztály.

2. feladat (A)
A víz vezeti az áramot, így feszültség alatti elektromos tűznél áramütést okozhat, és a víz gőzrobbanást is előidézhet. Általában a CO_2 és a porral oltó készülékek alkalmasak, de csak a készüléken feltüntetett maximális feszültségig (**ellenőrizendő:** a gyártó adata).

3. feladat (B)
A hidrogéngáz égése C osztályú gáztűz. Elsődleges a gázforrás elzárása (töltő áramtalanítása, a gázfejlődés megszüntetése), majd porral vagy CO_2-vel oltás. Elsődleges a gázfejlődés megszüntetése (a töltő hálózati oldali kikapcsolása, csak ha ez biztonságosan, a töltőtől távol megtehető). Ha a gázforrás nem szüntethető meg, a lángot **nem oltjuk el**, mert a tovább áramló gáz robbanóelegyet képezhet, és visszagyulladáskor robbanás következik be; a környező éghető anyagokat eltávolítjuk vagy védjük, a helyiséget elhagyjuk, és tűzoltót hívunk. **Figyelem.** A hidrogén lángja nappal alig látható; az akkumulátor robbanásakor sav fröccsenhet – arcvédő és saválló kesztyű kell.

4. feladat (B)
Lépések: 1. segítségkérés, 112 hívás; 2. légút felszabadítása (homlok hátra, áll kiemel); 3. légzésvizsgálat max. 10 mp; 4. 30 kompresszió, 2 befúvás ciklus; kompressziós mélység 5–6 cm, ütem 100–120/perc; AED használata, ha elérhető. A laikus is csak kompressziót végezhet, ha a befúvást nem vállalja.

5. feladat (C)
Hiba: a jég közvetlenül a bőrre nem tehető, mert további szövetkárosodást okoz; az „égési kenőcs” otthoni, nem steril készítmény fertőzést okozhat. Helyes sorrend: 1. a forró folyadék lemosása, a szennyezett ruha eltávolítása, ha nem tapadt; 2. bő, folyó csapvízzel hosszan hűtés 10–20 percen át; 3. steril, száraz kötszerrel fedés; 4. orvosi ellátás, 112 hívás, ha a sérülés kiterjedt.

6. feladat (D)
Elsősegély: 1. áramtalanítás (gyújtás ki, negatív akkumulátorkapocs lekötése, ha lehetséges); 2. a sérültet csak az áramkör megszakítása után érinteni; 3. égési sérülést folyó vízzel hűteni; 4. steril fedés; 5. orvos/112 hívás. Megelőzés: a negatív kapcsot először le kell kötni, és utoljára vissza; a szerelésnél szigetelt szerszám, a gyűrűk, óra levétele; az akkumulátorsarukat a gyártói nyomatékkal (ellenőrizendő: gyártói adat) húzd meg, szigetelt szerszámmal.

2.4.14. Rövid összefoglaló

A járműjavító műhelyi tűzvédelem és elsősegély alapja a tűzosztályok ismerete: **A** (szilárd), **B** (folyadék), **C** (gáz), **D** (fém), **F** (zsír/étolaj); az elektromos tűz nem külön osztály, de feszültség alatt csak CO_2 vagy porral oltó használható. A tűzoltó készülék kiválasztása az égő anyag osztályától függ; víz égő benzinre/olajra **tilos**. A tűzjelzés a 112 segélyhívóval, a tűzjelző működtetésével, a veszélyeztetettek mentésével és a biztonságos oltási kísérlettel történik; ha a tűz nő, a menekülési útvonalon, füstben alacsonyan kell haladni. Az elsősegélynyújtás a mentési láncot követi: saját biztonság, állapotfelmérés, 112 hívás, elsősegély. Alapszintű újraélesztésnél felnőtteknél 30 kompresszió 5–6 cm mélyen, 100–120/perc ütemben, majd 2 befúvás. Vérzést közvetlen nyomással, égést folyó vízzel, vegyi sérülést bő öblítéssel kezelünk. A HV-rendszeren az áramütött sérültet megérinteni tilos; azonnali áramtalanítás, 112 hívás, és szakképzett beavatkozó

szükséges. A tűzvédelmi és elsősegély-elvek a VIII. részben, a HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés fejezetben térnek vissza, ahol a HV-akkumulátor tűzét és az áramütött sérültet ezen alapokra építve tárgyaljuk.

2.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

- Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) hatályos előírásai – a pontos rendeletszám, a tűzvédelmi osztályozás, a tűzoltó készülékek karbantartási és elhelyezési követelményei **ellenőrizendők** a kiadás előtt.
- A 112-es egységes segélyhívó használata – a hívás menete általánosan ismert; a diszpécseri protokoll részletei **ellenőrizendők**.
- A tűzoltó készülékekre vonatkozó szabványok (pl. MSZ EN 3 sorozat; a pontos szám és hatályosság **ellenőrizendő**).
- A vegyi anyagok címkézésére és biztonsági adatlapjaira vonatkozó CLP rendelet (EU 1272/2008) – a veszélyességi osztályok és H/P mondatok pontos hivatkozásai **ellenőrizendők**.
- Alapszintű újraélesztési irányelvek – az ERC (European Resuscitation Council) aktuális ajánlásai (a kompressziós mélységet, ütemet és a légzésvizsgálat időtartamát érintő adatok **ellenőrizendők**).
- A nagyfeszültségű járművek tűz és mentés esetén követendő gyártói mentési adatlapjai – a pontos eljárások és feszültségmentesítési lépések a gyártói dokumentációban és a VIII. részben (HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés, Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése) ellenőrizendők.

3 Közlekedési alapismeretek

3.1. A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság

3.1.1. Motiváció

Autószerelőként naponta találkozol azzal, hogy egy jármű „biztonságos-e”: a műszaki vizsgára felkészített autónak jó a fékhatása, világítása, futóműve, az utasvédelmi rendszerek nem hibásak. Baleseti javítás után az a kérdés, hogy a gyűrődő zónát, a légzsákot és az övfeszítőt a gyártó szerint javították-e. Ha tudod, mit jelent az aktív és a passzív biztonság, akkor nem csupán alkatrészt cserélsz, hanem a közlekedésbiztonság egészét látod: a jármű, az ember, a pálya és a környezet együtt dönti el egy helyzet kimenetelét.

3.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egymás mellé két járművet. Az egyik egy századforduló környéki nyitott autó, fa küllős kerekekkel, gyenge mechanikus fékkel és olyan futóművel, amely a vezetőt folyamatos figyelemre kényszeríti. A másik egy mai kiskategóriás autó, amelyben már a baleset előtt dolgozhat a blokkolásgátló és a menetstabilizáló, a vészfék-asszisztens, a sávtartó, a radar vagy kamera. Ha mégis ütközés történik, a jármű eleje gyűrődő zónaként elnyeli az energiát, az utascella merev marad, az öv és a légzsák visszafogja az utasokat. A különbség nemcsak kényelem, hanem védelmi rendszerekben mért fejlődés.

3.1.3. A közlekedés fogalma és felosztása

Definíció. A közlekedés az emberek, áruk és járművek helyváltoztatásának rendszere, amely **járműből**, **pályából**, **telephelyből** (állomás, kikötő, terminál) és az ezeket irányító **szabályozásból** épül fel. A közlekedés nem öncél: a személy- és áruszállítási igényeket elégíti ki, ezért műszaki és forgalomszervezési kérdés egyszerre.

A közlekedést leggyakrabban **alágazatok** szerint osztjuk fel: **közúti**, **vasúti**, **vízi** és **légi** közlekedés. Egyes felosztások ide sorolják a csővezetékes szállítást is, de az autószerelő szempontjából a négy fő alágazat a meghatározó.

Definíció. A **szállítási teljesítmény** azt mutatja meg, hogy egy adott idő alatt mekkora hasznos szállítási munkát végeztünk. Személyszállításban a mértékegysége az **utaskilométer** (ukm), áruszállításban a **tonnakilométer** (tkm).

Összefüggés.
Utaskilométer-teljesítmény:

$$U_{\mathrm{ukm}} = n_{\mathrm{u}} \cdot s$$

Tonnakilométer-teljesítmény:

$$T_{\mathrm{tkm}} = m_{\mathrm{t}} \cdot s$$

A jelölésekben n_{u} a ténylegesen elszállított utasok száma, m_{t} az elszállított hasznos teher tömege tonnában, s pedig a megtett út kilométerben. Az üres futás nem termel utaskilométert vagy tonnakilométert, ezért a fuvarozóknak fontos a minél kisebb üresjárat.

3.1.4. A közlekedés kialakulása és fejlődése

A közlekedés a kerék feltalálásával és az állati erő hasznosításával indult. A római birodalom kiépített úthálózata már a távolsági posta- és áruszállítást szolgálta. A **vízi közlekedés** a vitorlás hajókkal vált tömeges szállítási móddá, majd a gőzhajó tette függetlenebbé a széljárástól. A **vasúti közlekedés** a 19. században robbant be: a gőzmozdony nagy tömegeket tudott gyorsan és viszonylag olcsón mozgatni, ezért az iparosodás egyik motorja lett. A **légi közlekedés** a 20. század elején indult, és a második világháború után vált tömeges személyszállítássá.

A **közúti közlekedés** meghatározó járműve az automobil. A belső égésű motoros járműveket a 19. század végén fejlesztették; Karl Benz 1886-ban mutatta be háromkerekű, benzinmotoros járművét (ellenőrizendő: a szabadalom és a Bemutató pontos dátuma a forrás szerint). A századfordulón megjelentek az első tehergépkocsik és autóbuszok is. A Ford T-modell és a futószalagos gyártás az 1900-as évek elején elérhetővé tette a személyautót (ellenőrizendő: az első futószalagos modell pontos bevezetése). A dízelmotort a 20. században tehergépkocsikban, autóbuszokban és vasúti vontatásban alkalmazták tömegesen.

A 20. század második felében a közúti járművek elektronizálódása gyorsult fel: előbb a gyújtás és a befecskendezés, később a fék- és menetdinamikai rendszerek kaptak elektronikus irányítást. Ez a fejlődés vezetett a mai aktív biztonsági és vezetőtámogató rendszerekhez, valamint a hibrid és elektromos hajtásokhoz. A közlekedés történetét ezért nemcsak járművek, hanem a **pálya**, **forgalomszervezés** és a **biztonsági szabályozás** oldaláról is látnunk kell.

3.1.5. A közlekedésbiztonság tényezői

A közlekedésbiztonságot leggyakrabban négy tényező együtteseként írjuk le: **ember**, **jármű**, **pálya** és **környezet**. Egy baleset ritkán vezethető vissza egyetlen okra; a tényezők egymásra hatnak.

- **Ember:** a járművezető figyelme, képzettsége, fáradtsága, reakcióideje, döntései. A baleseti statisztikák szerint a legtöbb közúti baleset hátterében emberi hiba vagy szabályszegés áll (ellenőrizendő: aktuális baleseti statisztika).
- **Jármű:** a jármű műszaki állapota és biztonsági felszereltsége: fék, kormány, futómű, gumiabroncs, világítás, vezetőtámogató és utasvédelmi rendszerek. Ez az a tényező, amelyre az autószerelő közvetlen felelősséggel hat.
- **Pálya:** az út, a vasúti pálya, a vízi út vagy a repülőtér kialakítása, állapota, jelzései, csúszóssága, geometriája.
- **Környezet:** időjárás, látási viszonyok, forgalmi sűrűség, fényviszonyok, zaj, valamint a közlekedésbiztonsági szabályozás és a mentés, ellátás minősége.

3.1.6. Aktív és passzív biztonság

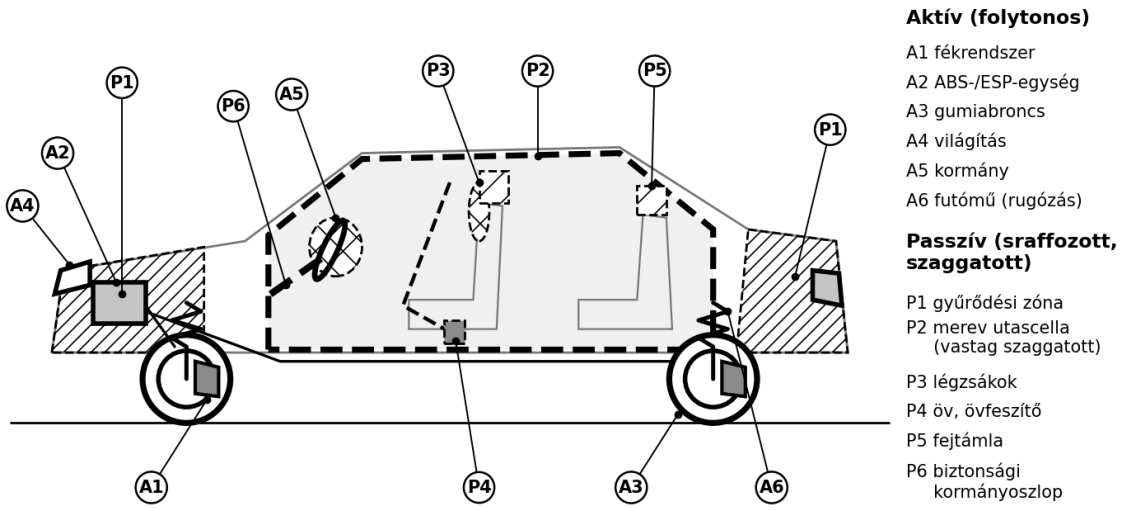
Definíció. Az **aktív biztonság** azoknak a jármű-tulajdonságoknak és rendszereknek az összessége, amelyek a baleset **elkerülését**, illetve a kritikus helyzet **uralását** segítik. Az aktív biztonság tehát a baleset bekövetkezése **előtt és közben** hat.

Definíció. A **passzív biztonság** azoknak a rendszereknek és szerkezeti tulajdonságoknak az összessége, amelyek a baleset bekövetkezésekor és közvetlenül utána a sérülés **súlyosságát csökkentik**. A passzív biztonság tehát a baleseti következményeket enyhíti.

Példa. Az aktív biztonság körébe tartozik a jó fékrendszer, a kormányozhatóság, a korszerű futómű, a megfelelő gumiabroncs, a jó fényszóró, az ABS, az ESP, az ASR és a modern vezetőtámogató rendszerek. A passzív biztonság eszközei a biztonsági öv, a légzsák, az övfeszítő, a gyűrődő zóna, az utascella, a fejtámla, a biztonsági kormányoszlop és a gyermekbiztonsági rendszerek.

Szempont	Aktív biztonság	Passzív biztonság
Cél	baleset megelőzése	sérülés súlyosságának csökkentése
Időbeli hatás	baleset előtt/közben	balesetkor/közvetlenül utána
Példák	fék, kormány, ABS, ESP, világítás	öv, légzsák, gyűrődő zóna, fejtámla
Szerelői ellenőrzés	fékerő, gumiprofil, futómű, lámpa	légzsák-visszajelző, öv, karosszéria-javítás

Az ábra a két csoportot a jármű valódi szerkezetein választja szét: az aktív elemek (A1–A6: fék, ABS-/ESP-egység, gumiabroncs, világítás, kormány, futómű) folytonos vastag körvonalat, a passzív elemek (P1–P6: gyűrődési zóna, utascella, légzsákok, öv és övfeszítő, fejtámla, biztonsági kormányoszlop) sraffozást vagy szaggatott körvonalat kapnak.



3.1. ábra. Aktív és passzív biztonsági elemek a személygépkocsin (átlátszó oldalnézet)

Az eszközök besorolása általános; több rendszer már a baleset előtti fázisban is együttműködik (például a pre-crash övfeszítő a radarjel alapján feszíti meg az övet, miközben a fék aktív biztonsági oldalon avatkozik be).

3.1.7. A járműbiztonság mérése

A járműbiztonságot laboratóriumi **töréstesztekkel** vizsgálják. A legismertebb fogyasztói tájékoztató értékelés az Euro NCAP (European New Car Assessment Programme, ellenőrizendő: aktuális szervezeti név és protokollverzió), amely frontális, oldalsó, oszlopütközéses, gyalogosvédelmi és gyermekvédelmi vizsgálatok alapján ad csillagos minősítést. A csillagszám **nem abszolút örök mérték**: az adott modellre, modellévre és az éppen érvényes protokollra vonatkozik, és a szigorodó követelmények miatt különböző évek vagy kategóriák között csak óvatosan hasonlítható össze. A hatósági forgalomba helyezés ezzel szemben a típusjóváhagyás műszaki előírásainak teljesítését igazolja, amely szintén balesetvédelmi töréstesztet foglal magában (ellenőrizendő: az EU-típusjóváhagyás és az ENSZ-EGB előírások hatályos szerkezete).

3.1.8. Kidolgozott példák

Példa 1 – utaskilométer.
Adott: $n_{\mathrm{u}} = 4$ utas, $s = 120$ km.
Keresett: U_{ukm}.
Képlet: $U_{\mathrm{ukm}} = n_{\mathrm{u}} \cdot s$.
Behelyettesítés: $U_{\mathrm{ukm}} = 4 \cdot 120 = 480\,\mathrm{ukm}$.
Ellenőrzés: ha a 4 utas 120 km-t tesz meg, az úti teljesítmény 480 utaskilométer; ha 8 utas tenné meg ugyanezt, 960 ukm lenne, tehát a szám arányos.

Példa 2 – tonnakilométer.
Adott: hasznos teher $m_{\mathrm{t}} = 2{,}8$ t, megtett út $s = 150$ km.
Keresett: T_{tkm}.
Képlet: $T_{\mathrm{tkm}} = m_{\mathrm{t}} \cdot s$.
Behelyettesítés: $T_{\mathrm{tkm}} = 2{,}8 \cdot 150 = 420\,\mathrm{tkm}$.
Ellenőrzés: 2,8 t teher 150 km-en 420 tonnakilométer; a tonnakilométer a teher tömegére vonatkozik, nem a jármű teljes tömegére.

Hibás példa. Ha valaki azt mondja, hogy 4 utas 120 km-en „4 utas osztva 120 km-rel”, az fizikailag értelmetlen, mert a szállítási teljesítmény szorzás, nem osztás.

3.1.9. Minőségellenőrzés

Autószerelői szemmel a járműbiztonság rendszereit a következőképpen csoportosíthatjuk ellenőrzéskor:

1. Aktív biztonsági elemek: fékhatás, fékfolyadék szintje, gumiabroncs-profilmélység, lengéscsillapító állapota, kormány holtjátéka, futómű csuklói, világító- és fényjelző berendezések működése, ABS/ESP visszajelző rendellenessége.
2. Passzív biztonsági elemek: biztonsági öv állapota és rögzítése, légzsák-visszajelző jelzése és lámpatesztje (gyújtás ráadásakor kigyullad, majd kialszik), fejtámla és ülésrögzítés, a karosszéria gyűrődő zónájának korábbi javítási minősége, a légzsák és övfeszítő egységek gyártó szerinti állapota.
3. A járművizsgálati gyakorlatban a fék, a lengéscsillapítás, a futómű holtjáték és a fényszóró mérési eredményei jelzik az aktív biztonsági oldal állapotát (ellenőrizendő: hatósági vizsgálati határértékek).

3.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfél érkezik használt autó vásárlás előtti állapotfelmérésre. A teszterrel kiolvasod a hibatárat: a légzsákvezérlőben ütközésérzékelő-hiba van, a légzsák-visszajelző lámpa nem világít a gyújtás ráadásakor. Ez gyanús: hibátlan rendszerben is minden visszajelzőnek a gyújtás ráadásakor néhány másodpercre ki kell gyulladnia (lámpateszt); ha tárolt hiba mellett a lámpa egyáltalán nem világít, valószínű, hogy a visszajelzőt korábban kiiktatták vagy a műszerfal hibás – ezt a vevőnek jelezni kell. Az autó forgalomban van, de az utasvédelmi rendszer nem megbízható. A szerelő elmagyarázza az ügyfélnek, hogy a passzív biztonsági eszköz hibás állapotban való használata balesetkor életveszélyes, és hogy a légzsákrendszer javítása csak a gyártói utasítás szerint, feszültségmentesített állapotban végezhető. Az ügyfél először azt kéri, hogy „csak a lámpát tegyék rendbe”, mert az autó eladható legyen. A szerelő ezt visszautasítja, mert a hiba eltüntetése jogellenes és veszélyezteti a következő tulajdonost. A jármű javítását csak a hiba okának feltárásával, gyártói alkatrészekkel és dokumentálással vállalják.

Továbbvitt eredmény. Az aktív biztonság a baleset megelőzésére, a passzív biztonság a baleseti következmények csökkentésére szolgál. Ezt a felosztást alkalmazzuk a(z) A közúti, vasúti, vízi és légi közlekedés technikája alfejezetben az egyes közlekedési technikákra, valamint a Alváz, önhordó karosszéria, aktív és passzív biztonság alfejezetben a járműszerkezeti elemekre.

3.1.11. Tipikus hibák

- **Hiba 1 – aktív/passzív felcserélése.** Sokan azért nevezik aktívnak a légzsákot, mert „aktívan kinyílik”. A légzsák a baleset bekövetkezésekor hat, tehát passzív eszköz; az aktív eszközök a baleset elkerülését segítik.
- **Hiba 2 – rossz szállítási teljesítmény-számítás.** Ha az utasok számát elosztják az úttal, akkor nem utaskilométert kapnak. A képlet szorzás: $n_{\mathrm{u}} \cdot s$, illetve $m_{\mathrm{t}} \cdot s$.
- **Hiba 3 – a töréstesztcsillagok abszolutizálása.** Egy régi protokoll szerinti ötcsillagos autó nem feltétlenül egyenlő a mai ötcsillagossal, mert a mérési előírások szigorodnak.
- **Hiba 4 – csak a járműre figyelünk.** A közlekedésbiztonság az ember, a jármű, a pálya és a környezet együttese; a legjobb fék sem védi meg a gyorshajtó, fáradt vezetőt.

3.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A blokkolásgátló (ABS) passzív biztonsági rendszer.
2. Mennyi az utaskilométer-teljesítmény, ha 3 utas 60 km-t tesz meg?
3. Melyik tényező tartozik az emberi oldalhoz: fékhatás, sofőr fáradtsága, gumiabroncs-profil?
4. Igaz vagy hamis? Az Euro NCAP csillagszám minden járműkategóriában és minden időpontban közvetlenül összehasonlítható.
5. Sorolj fel két passzív biztonsági eszközt.
6. Miért nem elegendő önmagában a légzsák, ha a biztonsági öv nincs becsatolva?

3.1.13. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld az aktív és a passzív biztonságot, és mindkettőre adj egy-egy példát.

2. feladat (A)
Számítsd ki az utaskilométer-teljesítményt: 2 utas 35 km-t tesz meg.

3. feladat (B)
Egy kistehergépkocsi 1,8 t hasznos terhet szállít 95 km-en. Mennyi a tonnakilométer-teljesítmény?

4. feladat (B)
Melyik a nagyobb utaskilométer-teljesítmény: 40 utas 80 km-en, vagy 4 utas 200 km-en? Indokold számítással.

5. feladat (C)
Magyarázd el, miért tervezik a légzsákot a becsatolt biztonsági övvel együttműködő rendszerként. Mi történhet, ha az utas nincs bekötve?

6. feladat (D)
Ügyfél kéri, hogy iktasd ki a világító légzsák-visszajelzőt, mert „zavaróan világít". Hogyan jár el a szakszerű autószerelő? Fogalmazd meg a válaszod a biztonság, a jogi következmények és a szakmai dokumentálás szempontjából.

3.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az ABS megelőzi a kerekek blokkolását és megőrzi a kormányozhatóságot, tehát aktív biztonsági rendszer.
2. $3 \cdot 60 = 180\,\text{ukm}$.
3. A sofőr fáradtsága az emberi tényezőhöz tartozik.
4. Hamis. A csillagérték az adott modellre, évre és protokollra vonatkozik; a szigorodás miatt nem abszolút.
5. Például biztonsági öv, légzsák, gyűrődő zóna, fejtámla.
6. Az öv fékezi az utas előremozdulását, a légzsák pedig a visszafogott testre tervezi a terhelést. Öv nélkül az utas túl nagy sebességgel érkezik a légzsákhoz, és maga a légzsák is súlyos sérülést okozhat.

Feladatok megoldása

1. feladat (A)
Az aktív biztonság a baleset elkerülését segítő rendszerekre és tulajdonságokra vonatkozik, például a fék, a kormány, a futómű, az ABS vagy az ESP. A passzív biztonság a baleset bekövetkezésekor hat, és a sérülés súlyosságát csökkenti, például a biztonsági öv, a légzsák, a gyűrődő zóna vagy a fejtámla.

2. feladat (A)

$$U_{\text{ukm}} = n_{\text{u}} \cdot s = 2 \cdot 35 = 70\,\text{ukm}.$$

3. feladat (B)

$$T_{\text{tkm}} = m_{\text{t}} \cdot s = 1{,}8 \cdot 95 = 171\,\text{tkm}.$$

4. feladat (B)
Busz: $40 \cdot 80 = 3200\,\text{ukm}$.
Személyautó: $4 \cdot 200 = 800\,\text{ukm}$.
A busz teljesítménye nagyobb, mert sok utast visz egyszerre.

5. feladat (C)
A légzsák és az öv együtt tervezett passzív biztonsági rendszer. Az öv a testet a lassulás

kezdetén visszafogja, megtartja a megfelelő testhelyzetet, és a légzsák olyan erőhatásra méretezett, amely bekötött, visszafogott utasnál csökkenti a fej- és mellkasi terhelést. Öv nélkül az utas akadálytalanul előremozdul, a légzsák kinyíló zsákját túl nagy sebességgel éri el, és a zsák maga is súlyos sérülést okozhat; emellett a test a kormány vagy a műszerfal felé is nagy energiával csapódhat.

6. feladat (D)
A szakszerű eljárás:
1. Tájékoztatod az ügyfelet, hogy a légzsák-visszajelző kiiktatása tilos, mert a hibát elrejti, balesetkor életveszélyes, és jogi felelősséggel jár.
2. Kiolvasod a légzsákvezérlő hibatárát, azonosítod a hibát.
3. A javítást a gyártói utasítás szerint hajtod végre, gyártó által előírt alkatrészekkel és munkalépésekkel.
4. A légzsákrendszeren csak a gyártói eljárás szerint dolgozol: gyújtás ki, akkumulátor lekötése, a gyártói várakozási idő kivárása (ellenőrizendő: gyártói adat); a gyújtóegységen ellenállásmérővel mérni **tilos**; csak előírt alkatrész és célszerszám használható, a kiszerelt egységet a gyártó előírása szerint kezeled. A részletes eljárás: Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő.
5. Visszakötés után a hibakódot törlöd, és ellenőrzöd, hogy a légzsák-visszajelző a gyújtás ráadásakor kigyullad, majd néhány másodperc múlva kialszik (lámpateszt).
6. A munkát dokumentálod a munkalapon, és felhívod az ügyfél figyelmét a biztonsági rendszerek jelentőségére.
Ha az ügyfél továbbra is a lámpa kiiktatását kéri, a munkát meg kell tagadnod.

3.1.15. Rövid összefoglaló

A közlekedés emberek és áruk helyváltoztatása, amelyet közúti, vasúti, vízi és légi alágazatra osztunk. A szállítás teljesítményét utaskilométerben és tonnakilométerben mérjük: $U_{\mathrm{ukm}} = n_{\mathrm{u}} \cdot s$, $T_{\mathrm{tkm}} = m_{\mathrm{t}} \cdot s$. A közlekedésbiztonságot az ember, a jármű, a pálya és a környezet együttesen határozza meg. A járműbiztonságot aktív és passzív oldalra bontjuk: az aktív biztonság a baleset megelőzését, a passzív biztonság a baleseti sérülések csökkentését szolgálja. Aktív eszköz például a fék, az ABS, az ESP és a világítás; passzív eszköz a biztonsági öv, a légzsák, a gyűrődő zóna és a fejtámla. A töréstesztek, így az Euro NCAP értékelése, folyamatosan szigorodó protokoll szerint mérik a védelmet, ezért csillagértékük csak azonos feltételek mellett hasonlítható össze. Az autószerelő felelőssége, hogy a jármű aktív és passzív biztonsági rendszereit a gyártói előírás szerint tartsa karban.

3.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: közlekedéstörténeti szakkönyvek és múzeumi összefoglalók; Euro NCAP töréstesztprotokollok és kiadványok; közlekedési statisztikai kiadványok; a járműbiztonságra vonatkozó uniós és ENSZ-EGB jellegű szabályozási háttér (ellenőrizendő: konkrét előírás- és jogszabályszámok).
Ellenőrizendő állítások: a járművekhez kapcsolt évszámok (Benz 1886, Ford T futószalag), az Euro NCAP aktuális szervezeti neve, protokollverziója és értékelési módszere, valamint az emberi tényezőre vonatkozó általános baleseti statisztikai arányok.

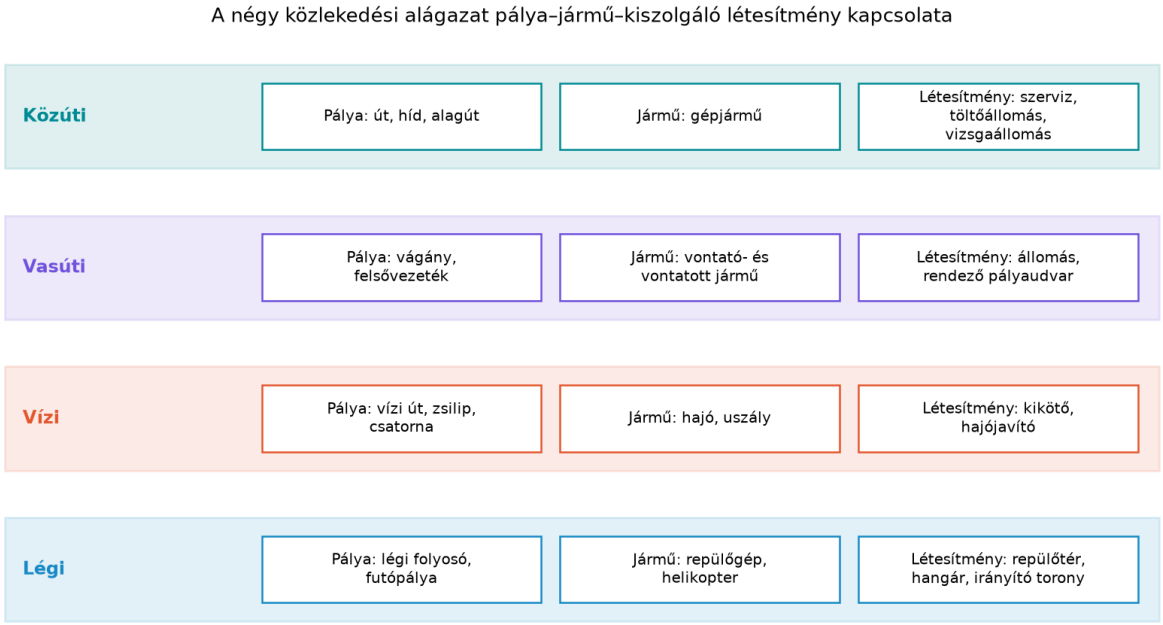
3.2. A közúti, vasúti, vízi és légi közlekedés technikája

3.2.1. Motiváció – miért kell ezt tanulnom?

Autószerelőként az első gondolatod az lehet, hogy a vasúti váltó vagy a hajó merülése nem a te munkád. A mindennapokban viszont ugyanaz a logika működik, mint a műhelyben: minden közlekedési rendszer **pálya + jármű + kiszolgáló létesítmény** hármasra épül. Amikor egy kisteherautó forgalmi engedélyéből kiolvasod az N1 kategóriát, a megengedett legnagyobb össztömeget és a vontatható tömeget, ugyanazt a rendszerszemléletet használod, mint amikor egy vasúti szerelvény pálya-jármű kapcsolatát vagy egy hajó vízkiszorítását értelmezed. A négy alágazat áttekintése segít elhelyezni a közúti járművet a nagyobb műszaki rendszerben, és megalapozza a járművek fő szerkezeti részeinek, valamint a motor működésének későbbi tanulását.

3.2.2. Szemléletes kép – a négy alágazat pálya–jármű–kiszolgáló létesítmény hármasa

A következő vázlat a négy alágazatot hasonlítja össze:



3.2. ábra. A négy közlekedési alágazat pálya–jármű–kiszolgáló létesítmény kapcsolata - Tanulási vázlat; minden sor ugyanazt a hármast mutatja (pálya – jármű – kiszolgáló létesítmény), az alágazatok párhuzamosak, nem épülnek egymásra.

A vázlat lényege: **minden alágazatnál ugyanazt a három kérdést kell feltenni**. Hol halad a jármű? (pálya). Mi viszi az utast vagy az árut? (jármű). Hol kap üzemanyagot, javítást, biztonsági ellenőrzést? (kiszolgáló létesítmény). Ha ezt a hármast megértjük, a műszaki adatok is érthetővé válnak.

3.2.3. Alapfogalmak

Definíció. Közlekedési alágazatnak nevezzük a közlekedés azon nagy részrendszerét, amelyre jellemző a pálya fajtája, a járművek kialakítása és a rájuk vonatkozó szabályozási, irányítási és kiszolgálási környezet. Hagyományosan négy alágazatot különítünk el: **közúti, vasúti, vízi és légi** közlekedést.

Definíció. A **pálya** az a mesterségesen kialakított vagy kijelölt közlekedési út, amelyen a jármű közlekedik. A pálya lehet kiépített (út, vasúti vágány, repülőtéri futópálya) vagy természetes, illetve kijelölt (vízi út, légifolyosó).

Definíció. A **közlekedési jármű** a pályán való haladásra szolgáló, energia átalakítására és mozgásra képes műszaki berendezés. A járműveket elsősorban hajtásuk, futóművük, irányításuk és teher-, illetve személyszállító képességük jellemzi.

Definíció. A **kiszolgáló létesítmény** minden olyan építmény, terület és berendezés, amely a jármű és a pálya üzemeltetését, a jármű feltöltését, karbantartását, javítását, tárolását és a hatósági ellenőrzést szolgálja.

3.2.4. A közúti közlekedés technikája

3.2.4.1. A közúti pálya

A közúti pálya az útpályából, a padkából, a vízelvezető rendszerből, a műtárgyakból (hidak, alagutak) és a forgalomtechnikai elemekből áll. A közutakat funkciójuk és kialakításuk szerint osztályozzák, például autópályákra, autóutakra, főutakra, mellékutakra és helyi utakra **(ellenőrizendő: a hatályos közúti osztályozási előírás)**. A pályaszerkezet tipikusan több rétegből áll: az **alépítmény** teherviselő földmű, a felső **pályaszerkezeti rétegek** teherátadó burkolatot alkotnak. A burkolat lehet aszfalt, beton vagy alacsonyabb rendű utakon kötött vagy kötetlen felület. A burkolat állapota közvetlenül befolyásolja a jármű gördülési ellenállását, a kopást és a zajt.

3.2.4.2. A közúti járművek csoportosítása és fő szerkezeti részei

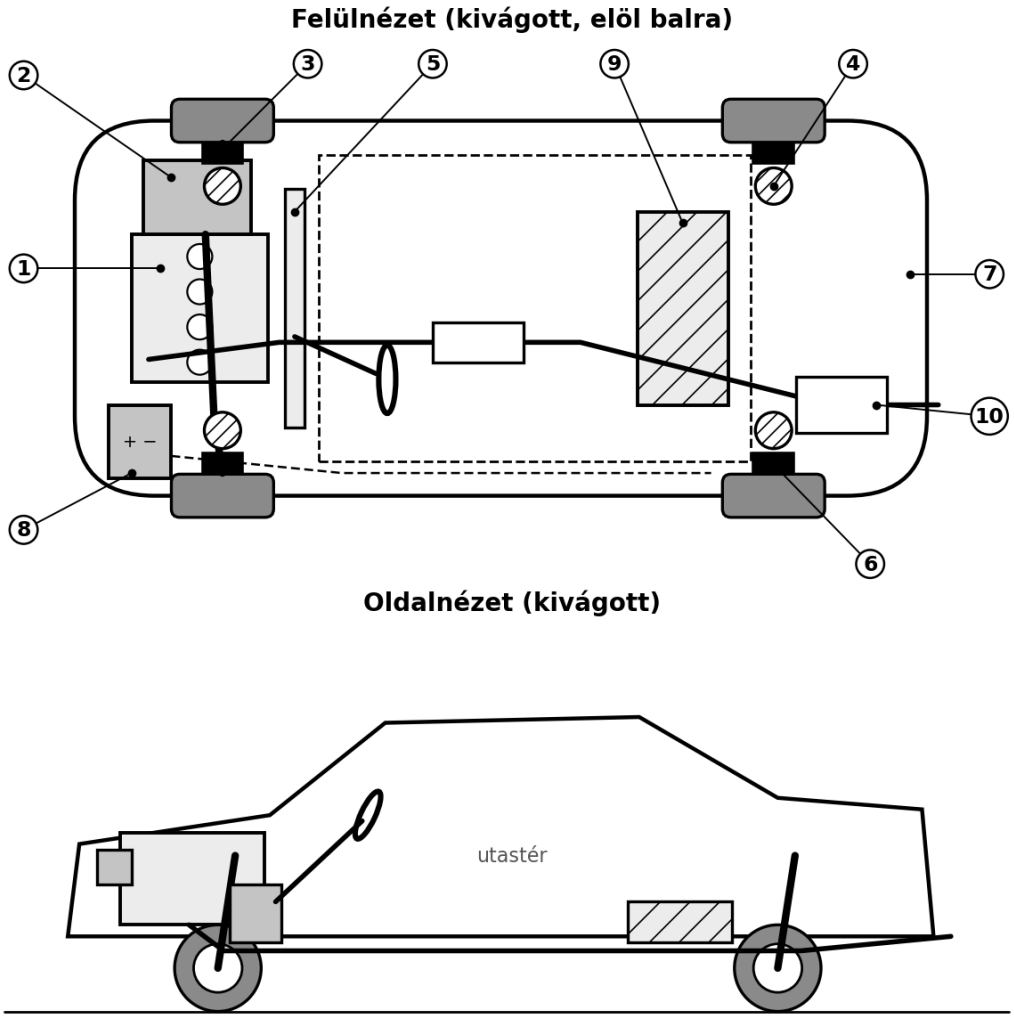
A közúti járműveket az európai gyakorlatban **L, M, N és O** kategóriákba sorolják **(ellenőrizendő: a hatályos EU járműkategóriák meghatározása)**. Egyszerűsítve: L a két- és háromkerekű, valamint könnyű négykerekű járművek, M a személyszállítók, N a tehergépjárművek, O a pótkocsik és félpótkocsik kategóriája. A pontos részleteket a Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai alfejezet tárgyalja.

A közúti jármű fő szerkezeti egységei:

- **alváz vagy önhordó karosszéria**: a jármű teherviselő váza, amelyre a futómű, az erőforrás és a felépítmény csatlakozik;
- **erőforrás**: jellemzően belső égésű motor vagy villamos hajtás, illetve hibrid rendszer;
- **erőátvitel**: tengelykapcsoló, sebességváltó, kardán- és féltengelyek, differenciálmű;
- **futómű**: kerékfelfüggesztés, rugózás, lengéscsillapítás, kerekek és gumiabroncsok;
- **kormányberendezés**: kormánykerék, kormányoszlop, kormánymű és kormányrudazat (szervokormány);
- **fékrendszer**: üzemi, rögzítő és kiegészítő fék;
- **villamos és elektronikus rendszerek**: energiaellátás, világítás, motorirányítás, vezetőtámogató rendszerek;

- **biztonsági és komfortrendszerek**: utastéri biztonsági elemek, fűtés, szellőzés, klíma.

Az alábbi kivágott rajz egy elsőmotoros, elsőkerék-hajtású személyautóban mutatja meg ezeknek az egységeknek a helyét; a rajz egyben a könyv későbbi részeinek „térképe” (a HTML-változatban az egységre mutatva a kapcsolódó alfejezet linkje jelenik meg).



3.3. ábra. A személygépkocsi fő szerkezeti egységei kivágott felül- és oldalnézetben

Továbbvitt eredmény. A közúti járművek kategóriáit és fő műszaki adatait a Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai alfejezetben használjuk, a belső égésű motorok működésének részletes tárgyalását pedig a Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata alfejezetben.

3.2.4.3. Az Otto- és a dízelmotor működése vázlatosan

A közúti járművek nagy része négyütemű belső égésű motort használ. A négy ütem sorrendje:

1. **szívás**: a dugattyú lefelé mozog, a szívószelepen keresztül levegő vagy levegő–tüzelőanyag keverék áramlik a hengerbe;
2. **sűrítés**: a dugattyú felfelé mozog, a közeg hőmérséklete és nyomása megnő;

3. **munkaütem (terjeszkedés)**: az égés megindul, a keletkező forró gázok nyomása lefelé nyomja a dugattyút, ami a forgattyús tengelyen keresztül forgatónyomatékot ad le;
4. **kipufogás**: a kipufogószelep kinyit, és a dugattyú felfelé történő mozgása kiszorítja az égésterméket.

Az **Otto-motor** külső gyújtású: a keveréket gyújtógyertya szikrája gyújtja meg. A **dízelmotor** öngyulladású: a nagyon nagy sűrítési arány miatt a forró levegőbe befecskendezett gázolaj magától gyullad meg. A pontos körfolyamatot, a szerkezeti kialakítást és a beállítási adatokat a V. rész motoros fejezetei tartalmazzák.

3.2.4.4. Tehergépjárművek és a közúti járművek fő paraméterei

A tehergépjárművek csoportosítása a megengedett legnagyobb össztömeg és a felépítmény szerint történik. Gyakori típusok: furgon, kisteherautó, dobozos tehergépkocsi, billenőplatós, tanker, nyerges vontató félpótkocsival. A **nyerges szerelvény** vontatóból és félpótkocsiból áll; a félpótkocsi a vontató nyergén támaszkodik, ezért a vontató hátsó tengelye a félpótkocsi tömegének jelentős részét viseli.

A közúti jármű legfontosabb műszaki paraméterei:

- **méretadatok**: hossz, szélesség, magasság, tengelytáv, nyomtáv, fordulókör;
- **tömegadatok**: saját tömeg, megengedett legnagyobb össztömeg, hasznos teher, tengelyterhelés, vontatható tömeg fék nélkül és fékkel;
- **menetadatok**: legnagyobb sebesség, gyorsulás, üzemanyag- vagy energiafogyasztás, hatótáv;
- **emissziós besorolás**: a járműre vonatkozó környezetvédelmi osztály, például a hatályos Euro-norma szerint **(ellenőrizendő: a hatályos emissziós besorolás)**.

Ezeket az adatokat a forgalmi engedély, a gyártói adattábla és a járműokmányok tartalmazzák. Javítás előtt ezekből állapítható meg, hogy milyen célszerszámmal, emelővel és vizsgapadi eljárással dolgozhatunk.

3.2.4.5. Kiszolgáló létesítmények

A közúti közlekedés kiszolgáló létesítményei közé tartoznak a **töltőállomások** (benzin-, dízel-, elektromos töltőállomások), a **szervizek és márkaszervizek**, a **műszaki vizsgálóállomások**, a **parkolók**, a **pihenőhelyek** és a **mosóállomások**. Az autószerelő munkája tehát a közúti kiszolgáló lánc egyik eleme: a jármű műszaki állapotának fenntartása és a hatósági vizsgára való felkészítés.

3.2.5. A vasúti közlekedés technikája

A vasúti pálya legfontosabb eleme a **vágány**, amely a **felépítményből** (sín, talpfa vagy betonlemez, ágyazat, lekötő elemek) és az **alépítményből** (földmű, hidak, alagutak) áll. A két sínszál közötti távolságot **nyomtávnak** nevezzük. Magyarországon és Európa nagy részén a normál nyomtáv 1435 mm **(ellenőrizendő: a hatályos vasúti nyomtávadatok)**. A **vágánykapcsolások** teszik lehetővé a járművek átirányítását egyik vágányról a másikra; ilyenek a **váltó** (kitérő), a **keresztezés** és a vágánykereszteződés. A villamos vontatású vonalakon **felsővezeték** és **áramszedő** biztosítja az energiaellátást.

A vasúti járműveket két nagy csoportra bontjuk. A **vontató járművek** saját hajtással rendelkeznek: villamos mozdony, dízelmozdony, villamos motorvonat, dízel motorvonat. A **vontatott járművek** nem rendelkeznek saját hajtással; ide tartoznak a személykocsik, a teherkocsik, a pőrekocsik és a különleges rendeltetésű kocsik. A vasúti futómű jellegzetessége a **kerékpár**, amelynél a két kerék mereven egy tengelyen van, és a **nyomkarima** vezeti a járművet a sínen. A vasúti járművek fékrendszere gyakran sűrített levegős: a szerelvény fővezetékén átadott nyomáscsökkenés hozza működésbe a fékhengereket, amelyek féktuskókat vagy tárcsaféket működtetnek.

A vasúti kiszolgáló létesítmények az **állomások**, a **rendező pályaudvarok**, a **járműtelepek**, a **fűtőházak** és a **karbantartó műhelyek**. A vasúti közlekedés nagy tömegű szerelvényeket tud egyetlen vontatóval gazdaságosan továbbítani, mert az acél kerék és az acél sín közötti gördülési ellenállás kicsi.

3.2.6. A vízi közlekedés technikája

A vízi közlekedés pályája a **vízi út**, amely lehet természetes folyó, tó, tenger vagy mesterséges csatorna. A folyami vízi utaknál gyakoriak a **zsilipek**, amelyekkel a vízszintkülönbséget hidalják át. A tengeri hajózásban a „pálya” kijelölt hajózási útvonalakból, elválasztási rendszerekből és kikötői megközelítő útvonalakból áll.

A hajók fő méretei:

- **hossz** (a legnagyobb hajóhossz, LOA – length overall);
- **szélesség** (a hajótest legnagyobb szélessége);
- **merülés** (a vízvonal és a hajófenék legmélyebb pontja közötti távolság);
- **oldalmagasság** a főfedélzet szintjéig;
- **vízkiszorítás**: a hajó által kiszorított víz tömege, amely lebegéskor egyenlő a hajó teljes tömegével;
- **hordképesség** (DWT – deadweight tonnage): a rakomány, üzemanyag, édesvíz, készletek és a személyzet együttes tömege;
- **űrtartalom**: a hajó zárt tereinek térfogatából képzett, mértékegység nélküli mérőszám (bruttó/nettó űrtartalom, GT/NT) **(ellenőrizendő: a hatályos hajózási mérési szabályok)**.

A vízi jármű haladását általában **hajócsavar** (propeller) biztosítja, amely a víz ellenében kifejtett tolóerővel hajtja a hajót. Az irányítást a hátul elhelyezett **kormánylapát** végzi. A hajótest felépítése: **orr** (bow), **tat** (stern), **fedélzet** (deck), **felépítmény** (a lakó- és parancsnoki terek), **géptér** és **rakterek**. A folyami és tengeri kikötők a hajók be- és kirakását, a hajóműhelyek a javítást, a kikötői terminálok az árukezelést szolgálják.

Szabály. A lebegő hajóra ható felhajtóerő egyenlő a kiszorított víz súlyával; ez az Archimédész-törvény. Ezért a hajó merülése a tömegtől és a víz sűrűségétől függ.

3.2.7. A légi közlekedés technikája

A légi közlekedés pályája a **légtér**, amelyben a járművek kijelölt légi útvonalakon, irányítás mellett haladnak. A repülőtéri földi pálya a **futópálya**, a **gurulóút** és az **előtér** rendszere.

A repülőgépeket több szempontból osztályozzuk:

- **merev szárnyú repülőgép**, **forgószárnyas helikopter**, **léghajó**;
- **hajtómű szerint**: dugattyús motor + légcsavar, légcsavaros gázturbina, sugárhajtású (gázturbinás) repülőgép;

- **feladat szerint**: utasszállító, teherszállító, általános repülés, katonai.

A repülőgép fő szerkezeti részei:

- **törzs** (fuselage): a személyzet, az utasok, a rakomány és a rendszerek befogadója;
- **szárny**: a felhajtóerőt termelő fő felület;
- **vezérsíkok**: a vízszintes és függőleges felületek a stabilitáshoz és a kormányzáshoz;
- **futómű**: a földi gurulásra, fel- és leszállásra szolgál;
- **hajtómű**: a toló- vagy vonóerőt biztosítja;
- **fedélzeti rendszerek**: energiaellátás, hidraulika, klimatizáció, műszerezés, irányítás.

A repülőgépek szárnya a levegőben való mozgás révén **felhajtóerőt** hoz létre, amely egyenletes vízszintes repülésben a repülőgép súlyával tart egyensúlyt. A kiszolgáló létesítmények a **repülőterek**, ahol a futópályák, gurulóutak, hangárok, irányítótorony, földi kiszolgáló járművek és a javítóállomások találhatók.

3.2.8. A négy alágazat összehasonlítása

Alágazat	Pálya	Járművek	Energiaellátás	Jellemző sebesség	Terhelhetőség/kapacitás
Közúti	közút, híd, alagút	személygépkocsi, tehergépkocsi, autóbusz, motorkerékpár	benzin, dízel, elektromos, hibrid (fedélzeti energia)	50–130 km/h	személygépkocsi kb. 4–5 fő; tehergépkocsi 3,5–40 t
Vasúti	vágány, felsővezeték	mozdony, motorvonat, kocsi	villamos energia felsővezetékről vagy dízel	60–250 km/h	tehervonat kb. 1000–3000 t
Vízi	vízi út, zsilip, kikötő	hajó, uszály	dízel, gőzturbina, atommeghajtás (tengeri)	10–20 csomó	tengeri konténerhajó 10 000–24 000 TEU
Légi	légtér, futópálya	repülőgép, helikopter, léghajó	kerozin, AVGAS, újabban elektromos hibrid	800–900 km/h sugárhajtású utasszállító	utasszállító kb. 100–850 férőhely

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: az adott alágazat hatályos műszaki és üzemeltetési adatai).

A táblázat megmutatja, hogy minden alágazat ugyanarra a hármasra épül, de a közeg (földfelszín, acélsín, víz, levegő) és a közegellenállás nagyságrendje egészen más műszaki megoldásokat igényel.

3.2.9. Kidolgozott példák

3.2.9.1. 1. példa – közúti szerelvény tömegparaméterei

Adott. Egy nyerges vontató saját tömege 8,2 t, a hozzákapcsolt félpótkocsi saját tömege 6,8 t. A félpótkocsin 24 t rakomány van.

Keresett. Mekkora a szerelvény tényleges össztömege, és megfelelhet-e a 40 t-os megengedett legnagyobb össztömegnek?

Megoldás.

A tényleges össztömeg:

$$m_{\text{össz}} = m_{\text{vontató}} + m_{\text{félpótkocsi}} + m_{\text{rakomány}}$$

$$m_{\text{össz}} = 8{,}2\,\text{t} + 6{,}8\,\text{t} + 24\,\text{t} = 39{,}0\,\text{t}.$$

Az eredmény kisebb, mint a 40 t-os megengedett legnagyobb össztömeg, tehát a szerelvény ebből a szempontból megfelelhet. A tényleges tengelyterheléseket és a műszaki előírásokat a járműokmányok és a hatósági szabályok szerint külön ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: a hatályos közúti tömeg- és tengelyterhelési előírások)**. ∎

3.2.9.2. 2. példa – úszó ponton merülésének becslése

Adott. Egy téglalap alaprajzú ponton hossza 15 m, szélessége 4 m, saját tömege 30 t. Az édesvíz sűrűségét vegyük 1000 kg/m³-nek, a sós vízét 1025 kg/m³-nek.

Keresett. Mekkora a ponton merülése édesvízben?

Megoldás.

A lebegés feltétele, hogy a ponton súlya egyenlő a kiszorított víz súlyával, tehát:

$$m\,g = \rho\,V g,$$

amiből:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

A tömeg:

$$m = 30\,000\,\text{kg}.$$

A kiszorított víz térfogata édesvízben:

$$V = \frac{30\,000\,\text{kg}}{1000\,\text{kg/m}^3} = 30\,\text{m}^3.$$

A ponton alapterülete:

$$A = 15\,\mathrm{m} \cdot 4\,\mathrm{m} = 60\,\mathrm{m}^2.$$

A merülés:

$$T = \frac{V}{A} = \frac{30\,\mathrm{m}^3}{60\,\mathrm{m}^2} = 0{,}5\,\mathrm{m}.$$

A ponton tehát körülbelül 0,5 m mélyen merül az édesvízbe. Sós vízben a nagyobb sűrűség miatt kisebb lenne a merülés, körülbelül 0,488 m. ∎

3.2.10. Minőségellenőrzés

Az alágazatok technikájánál a következőket érdemes ellenőrizni:

- a közúti jármű forgalmi engedélyében szereplő kategória, össztömeg, hasznos teher, tengelyterhelés és vontatható tömeg egyezzen a jármű adattáblájával;
- a jármű tényleges tömege ne haladja meg a megengedett legnagyobb össztömeget, és a rakomány elosztása ne terheljen túl egy tengelyt sem;
- vasúti járműnél a kerékprofil, a nyomtáv és a fékrendszeri nyomásértékek a pálya- és járműengedély szerintiek legyenek **(ellenőrizendő: a hatályos vasúti hatósági előírások)**;
- hajónál a merülési jelek (Plimsoll-jel) mutassák, hogy a hajó a megengedett biztonságos merülési tartományban van;
- repülőgépnél a tömeg- és kiegyensúlyozási adatokat, valamint a futómű állapotát ellenőrzik a földi kiszolgálás során.

Az autószerelő műhelyben a legfontosabb ellenőrzőlista a forgalmi engedély és a jármű adattáblájának összevetése, a tényleges állapot felmérése és a gyártói javítási előírás betartása.

3.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelybe behoznak egy kisteherautót, amelyről a megrendelő azt mondja, hogy „úgyis bírja a rakományt”. A forgalmi engedélyből kiolvassuk: N1 kategória, megengedett legnagyobb össztömeg 3500 kg, saját tömeg 2100 kg, vontatható tömeg fék nélkül 500 kg. A raktérben 1200 kg áru van, és a vonóhorogra fék nélküli, 400 kg tömegű pótkocsit kapcsoltak. A jármű tényleges össztömege így 3300 kg, ami kisebb, mint 3500 kg, tehát a jármű önmagában nem túlterhelt. A pótkocsi tömege 400 kg, ami kisebb, mint a 500 kg-os vontatható tömeg, tehát a pótkocsi is megfelel. Ezután a tanuló a javítás megkezdése előtt ellenőrzi a vonóhorogra jutó függőleges terhelést is, és felhívja a figyelmet arra, hogy a tényleges szerelvénytömeg nem haladhatja meg a gyártó vagy a hatóság által megengedett szerelvény-össztömeget **(ellenőrizendő: a forgalmi engedély szerelvényre vonatkozó adatai)**. Ez a példa mutatja, hogy a közlekedési alágazat technikai ismerete közvetlenül használható a műhelyben.

3.2.12. Tipikus hibák

1. **A pálya és a jármű adatainak összekeverése.** A vasúti nyomtávot sokan a jármű szélességével keverik. A nyomtáv a pálya két sínszála közötti méret, nem a jármű mérete.
2. **A megengedett legnagyobb össztömeg és a hasznos teher felcserélése.** A forgalmi engedélyben az össztömeg a jármű legnagyobb megengedett teljes tömegét jelenti, míg a hasznos teher a megengedett legnagyobb össztömeg és a saját tömeg különbsége.

3. **A hajó vízkiszorításának és űrtartalmának összemosása.** A vízkiszorítás tömegjellegű mennyiség, az űrtartalom térfogatjellegű mérőszám.
4. **A négyütemű motor ütemeinek sorrendhibája.** Sokan a gyújtást külön ütemként írják be. A munkaütem tartalmazza az égést; a négy ütem: szívás, sűrítés, munka, kipufogás.

3.2.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A vasúti nyomtáv a két sínszál közötti távolság. Indokold.
2. Sorold fel a négyütemű Otto-motor négy ütemét a helyes sorrendben.
3. Mekkora sebesség km/h-ban a 20 csomó? ($1\,\text{csomó} = 1{,}852\,\text{km/h}$)
4. Mi a különbség a vontató és a vontatott jármű között a vasútnál? Adj példát.
5. Melyik alágazathoz tartoznak a futópálya, a gurulóút és a hangár?
6. Mit jelöl a hajó Plimsoll-jele?

3.2.14. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel legalább öt fő szerkezeti egységet egy közúti személygépkocsin, és mondd meg, melyik későbbi alfejezet tárgyalja részletesen a motor működését.

2. feladat (A). Mi a különbség a pálya és a kiszolgáló létesítmény fogalma között? Adj mindegyikre egy közúti példát.

3. feladat (B). Egy téglalap alaprajzú ponton hossza 12 m, szélessége 3 m, saját tömege 18 t. Számítsd ki a merülését édesvízben ($\rho = 1000\,\text{kg/m}^3$).

4. feladat (B). Egy közúti nyerges vontató saját tömege 8,2 t, a félpótkocsié 6,8 t. A félpótkocsin a rakomány 22 t. Számítsd ki a szerelvény tényleges össztömegét, és hasonlítsd össze a 40 t-os megengedett legnagyobb össztömeggel.

5. feladat (C). Magyarázd el, miért tud a vasúti közlekedés nagyobb tömegű szerelvényeket gazdaságosabban továbbítani, mint a közúti közlekedés, ha az energiaellátást és a gördülési ellenállást is figyelembe vesszük.

6. feladat (D). Egy ügyfél N1 kategóriás kisteherautót hoz a műhelybe. A forgalmi engedély szerint a megengedett legnagyobb össztömeg 3500 kg, a saját tömeg 2100 kg, a vontatható tömeg fék nélkül 500 kg. A raktérben 1200 kg áru van, és a vonóhorogra egy 400 kg tömegű, fék nélküli pótkocsit kapcsoltak. Állapítsd meg, hogy a jármű terhelése és a pótkocsi vontatása megfelelő-e, és indokold is.

3.2.15. Megoldások

3.2.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A nyomtáv a vasúti pálya két sínszála közötti távolság, jellemzően 1435 mm a normál nyomtáv.
2. Szívás, sűrítés, munkaütem, kipufogás.
3. $20 \cdot 1{,}852 = 37{,}04\,\text{km/h}$.
4. A vontató jármű saját hajtással rendelkezik (pl. villamos mozdony), a vontatott járműnek nincs saját hajtása (pl. személykocsi vagy teherkocsi).
5. A légi közlekedéshez.
6. A hajó megengedett biztonságos merülési határát jelzi.

3.2.15.2. Feladatok – megoldások

1. feladat. Például: alváz/önhordó karosszéria, erőforrás, erőátvitel, futómű, kormányberendezés, fékrendszer, villamos és elektronikus hálózat. A motor részletes tárgyalása a Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata alfejezetben található.

2. feladat. A pálya a haladásra szolgáló út (például közút), a kiszolgáló létesítmény a jármű üzemeltetését, javítását, feltöltését szolgáló létesítmény (például szerviz vagy töltőállomás).

3. feladat.

A kiszorított víz térfogata:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{18\,000\,\mathrm{kg}}{1000\,\mathrm{kg/m^3}} = 18\,\mathrm{m^3}.$$

Alapterület:

$$A = 12 \cdot 3 = 36\,\mathrm{m^2}.$$

Merülés:

$$T = \frac{V}{A} = \frac{18}{36} = 0{,}5\,\mathrm{m}.$$

4. feladat.

$$m_{\mathrm{össz}} = 8{,}2 + 6{,}8 + 22 = 37{,}0\,\mathrm{t}.$$

Ez kisebb, mint 40 t, tehát ebből a szempontból megfelel. A tengelyterheléseket külön kell ellenőrizni.

5. feladat. A vasúti kerék az acélsínen gördül, ezért a gördülési ellenállás kisebb, mint a közúti gumiabroncs aszfalton való gördülése. A vasúti szerelvény energiát felsővezetékről is vételezhet, így nincs minden járművön nagy tömegű energiaforrás; ezek miatt egy vontató jármű nagyobb tömeget tud gazdaságosabban továbbítani.

6. feladat. A raktérrel a tényleges össztömeg:

$$2100 + 1200 = 3300\,\mathrm{kg}.$$

Ez kisebb, mint a megengedett 3500 kg, tehát a jármű terhelése ebből a szempontból megfelel. A pótkocsi tömege 400 kg, ami kisebb, mint a fék nélküli vontatható tömeg 500 kg, tehát a pótkocsi vontatása ebből a szempontból megfelel. A vonóhorogra jutó függőleges terhelést és a szerelvény össztömegét a forgalmi engedély és a gyártói adatok szerint még ellenőrizni kell.

3.2.16. Rövid összefoglaló

A közlekedés négy alágazata – közúti, vasúti, vízi és légi – egységesen értelmezhető a **pálya–jármű–kiszolgáló létesítmény** hármassal. A közúti pálya út, a vasúti pálya vágány, a vízi pálya vízi út, a légi pálya légtér és repülőtéri futópálya. A járművek felépítése alágazatonként eltér, de mindenhol megtalálható az erőforrás, az energiaátalakítás, a hajtás, a futómű és az irányítás. A közúti járművek fő egységeit – erőforrás, erőátvitel, futómű, kormány, fék, villamos hálózat – a későbbi fejezetekben részletesen tárgyaljuk. A négyütemű Otto-motor ütemei: szívás, sűrítés, munka, kipufogás; a dízelmotor öngyulladású. **Továbbvitt eredmény.** A járműkategóriák és fő műszaki adatok a Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai alfejezetben, a motorműködés részletes elmélete a Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata alfejezetben kerül elő. A közúti járművek tömeg- és méretadatait mindig a forgalmi engedély és a gyártói adattábla alapján kell ellenőrizni.

3.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: közlekedési szakkönyvek, az EU járműkategóriákra vonatkozó keretrendelkezése, magyar közúti és vasúti műszaki előírások, hajózási és légügyi hatósági tájékoztatók, gyártói járműadatok. Ebben a fejezetben a konkrét járműkategória-határokat, a normál vasúti nyomtávot, a hajózási csomó átszámítást, a fék nélküli vontatható tömegeket és a repülőgép-sebességértékeket **ellenőrizendő** adatként jelöltük. A műszaki fizika alapösszefüggései (Archimédész-törvény, tömegszámítás) stabil ismeretek.

3.3. Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai

3.3.1. Motiváció: miért kell a műhelyben is érteni a járműkategóriákat és a tömegadatokat?

Amikor egy vevő behoz egy használt autót átvizsgálásra, vontatást kér, vagy megrakott kisteherautóval érkezik, a szerelőnek gyakran elsőként a forgalmi engedélyt és a jármű gyári adattábláját kell értelmeznie. Egy rossz kategóriabesorolásból vagy a „saját tömeg” és „megengedett össztömeg” felcseréléséből hibás terhelésellenőrzés, téves pótkocsi-engedélyezés, sőt műszaki vizsgán való bukás is lehet. Ezért ezt az alfejezetet úgy építjük fel, hogy a forgalmi engedélyben látott adatokat és a típusjóváhagyás alapelvét a műhelyi gyakorlatban használni tudd.

3.3.2. Szemléletes kép: a forgalmi engedély mint a jármű „személyi igazolványa”

Képzeld el, hogy a kezedbe adnak egy forgalmi engedélyt. A jármű azonosításához tartozó részek mellett ott vannak a legfontosabb műszaki adatok: a jármű kategóriája, a saját tömege, a megengedett legnagyobb össztömege, a tengelyenkénti megengedett terhelések, a vontatható tömegek, a teljesítménye, a hengerűrtartalma és a kibocsátási osztálya. Ugyanezeket az adatokat a jármű saját, gyárilag elhelyezett adattábláján is meg kell találni. A szerelő munkája szempontjából ez a két adatforrás az „alapdokumentum”: ha nem egyezik, vagy sérült, azonnal jelezni kell a tulajdonosnak, mert ez a jármű azonosíthatóságát és műszaki megfelelőségét is érinti.

3.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Járműkategória. A közúti járművek típusjóváhagyási és forgalomba helyezési célú, uniós szinten meghatározott csoportosítása, amely elsősorban a jármű rendeltetése, ülőhelyeinek száma, megengedett legnagyobb össztömege és kialakítása szerint osztályoz. Az alapkategóriák: L, M, N, O és T.

Definíció. Menetkész tömeg (mass in running order). A típusjóváhagyási meghatározás szerinti üzemkész tömeg: a jármű feltöltött üzemi folyadékokkal, a tüzelőanyag-tartály jellemzően legalább 90 %-os töltetével, az alapfelszereléssel és a vezetőt helyettesítő 75 kg-mal; a szállított személy és a rakomány nem tartozik bele. A típusjóváhagyási és az EU-megfelelőségi nyilatkozat (CoC) adata ezt a fogalmat használja **(ellenőrizendő: az (EU) 2018/858 és a végrehajtási rendeletek – pl. 1230/2012/EU, (EU) 2021/535 – szerinti meghatározás)**.

Definíció. Saját tömeg (kerb mass; „üres tömeg”). A forgalmi engedélyben szereplő, hazai gyakorlatban használt tömegadat; a vezető nélküli üzemkész tömegnek felel meg, de a forgalmi engedély mezője és a CoC menetkész tömege eltérhet (kb. 75 kg különbség a vezető miatt) **(ellenőrizendő: a hatályos hazai meghatározás, 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet, és a forgalmi engedély adott mezőjének jelentése)**. A hasznos teher számításánál mindig a forgalmi engedély saját tömeg-adatát használjuk, és megnézzük, a vezető benne van-e.

Definíció. Megengedett legnagyobb össztömeg (maximum authorised mass; „össztömeg”). Az a gyártó által megadott, hatóságilag engedélyezett legnagyobb tömeg, amellyel a jármű a közúti forgalomban részt vehet, beleértve a járművet, az utasokat, a rakományt és a vonóberendezésre jutó függőleges terhelést is.

Definíció. Tengelyterhelés (axle load). Az adott tengely kerekei által az útpályára átadott, statikus állapotban mért vagy számított erőhatás, amelyet a műszaki gyakorlat tömegként, kilogrammban ad meg. A forgalmi engedély a jármű egyes tengelyeire megengedett legnagyobb tengelyterhelést is tartalmazza.

Definíció. Vontatható tömeg (towable mass). Az a gyártó által megengedett legnagyobb tömeg, amelyet a jármű pótkocsiként vagy más vontatmányként húzhat. Külön kell kezelni a fékezett és a fék nélküli pótkocsira megadott értéket.

Továbbvitt eredmény. A járműkategóriák és a tömeg- illetve méretadatok értelmezése nélkülözhetetlen a járműazonosításhoz és a javítási adatbázisok használatához, ezért ezt a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetben, valamint a(z) A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga alfejezetben használjuk tovább.

3.3.4. A járműkategóriák áttekintése

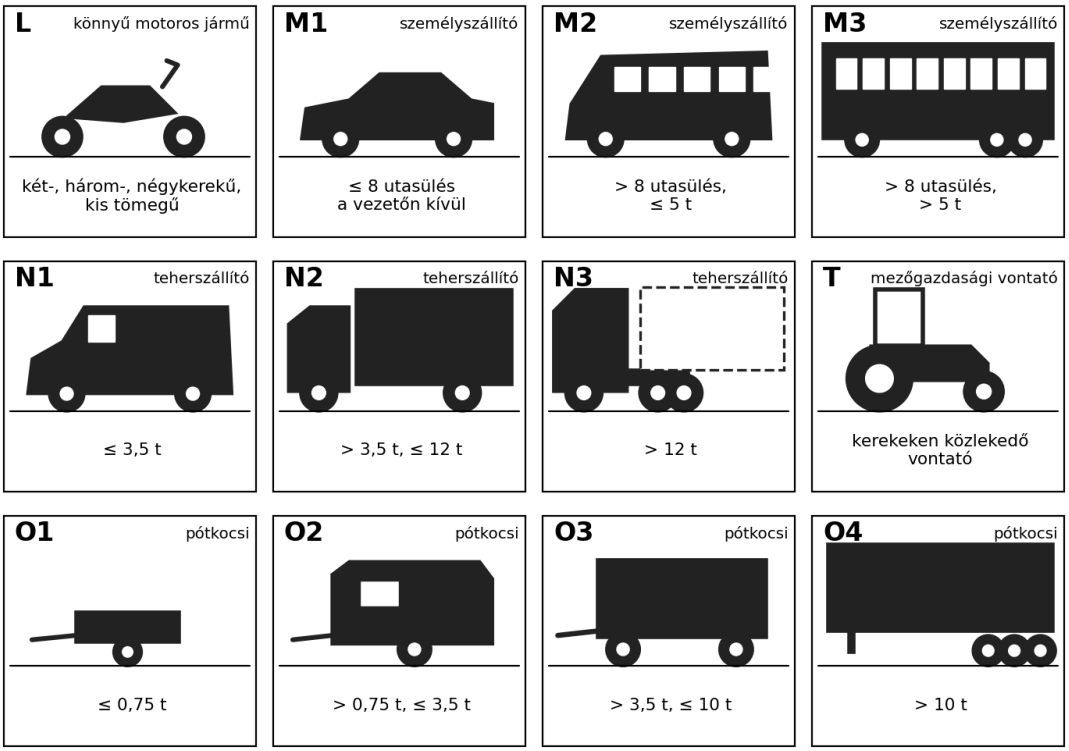
A járműkategóriák nem pusztán adminisztratív jelölések: meghatározzák, hogy az adott járműre milyen fék-, kormány-, világítási és környezetvédelmi követelmények vonatkoznak. A műhelyben ezért is kell pontosan tudni, hogy például egy nagyobb egyterű személyszállító M1 vagy M2 kategóriába tartozik-e, mert a vizsgálati és javítási követelmény eltérhet.

Kategória	Járműfajta	Jellemző kritérium	Példa
L	Könnyű motoros járművek	Két-, három- vagy négykerekű, kis tömegű járművek	Motorkerékpár, robogó, quad

Kategória	Járműfajta	Jellemző kritérium	Példa
M1	Személyszállító gépjármű	Legfeljebb 8 utasülés a vezetőn kívül	Személyautó, kisteher alapú egyterű 5–9 üléssel
M2	Személyszállító gépjármű	8-nál több utasülés, megengedett össztömeg legfeljebb 5 t	Kisbusz
M3	Személyszállító gépjármű	8-nál több utasülés, megengedett össztömeg 5 t felett	Autóbusz
N1	Teherszállító gépjármű	Megengedett össztömeg legfeljebb 3,5 t	Kisáruszállító, furgon
N2	Teherszállító gépjármű	Megengedett össztömeg 3,5 t felett, de legfeljebb 12 t	Kisebb teherautó
N3	Teherszállító gépjármű	Megengedett össztömeg 12 t felett	Nyergesvontató, nagy teherautó
O1	Pótkocsi	Megengedett össztömeg legfeljebb 0,75 t	Könnyű utánfutó
O2	Pótkocsi	Megengedett össztömeg 0,75 t felett, de legfeljebb 3,5 t	Személyautó utánfutó, kisebb lakókocsi
O3	Pótkocsi	Megengedett össztömeg 3,5 t felett, de legfeljebb 10 t	Nehezebb pótkocsi
O4	Pótkocsi	Megengedett össztömeg 10 t felett	Nehéz pótkocsi, félpótkocsi
T	Mezőgazdasági vagy erdészeti vontató	Kerekeken közlekedő vontató	Mezőgazdasági traktor

Az értékek tanulási példák **(ellenőrizendő: az (EU) 2018/858 rendelet, az L kategóriára az (EU) 168/2013 rendelet, a T kategóriára az (EU) 167/2013 rendelet hatályos szövege)**.

Az ábra a táblázat kategóriáit egy-egy jellemző sziluettel és a táblázat szerinti határral köti össze (a „t” a megengedett össztömeg; a sziluettek nem méretarányosak). A HTML-változatban kvízként gyakorolhatod a besorolást.



3.4. ábra. Járműkategóriák sziluettekkel és a táblázat szerinti határokkal

A táblázatban megadott határok az alapkategóriák tipikus elhatárolását mutatják. A részletes, pontos besoroláshoz a hatályos uniós rendelet és a gyártói típusbizonyítvány adatai a mérvadók.

3.3.5. A típusjóváhagyás elve röviden

A forgalmi engedélyben szereplő kategória és műszaki adat nem önkényes: a gyártó a sorozatgyártás előtt típusjóváhagyási eljárást folytat le az illetékes jóváhagyó hatóságnál. A gyártó benyújtja a jármű műszaki dokumentációját, a prototípusokon elvégzi az előírt vizsgálatokat, és igazolja, hogy a típus megfelel az adott kategóriára vonatkozó műszaki, biztonsági és környezetvédelmi követelményeknek. A jóváhagyott típushoz minden legyártott példány megfelelőségi nyilatkozatot kap, és ennek alapján helyezhető forgalomba.

Előírás. Az M, N és O kategóriájú járművek uniós típusjóváhagyásának keretét az (EU) 2018/858 rendelet határozza meg; az L kategóriára és a mezőgazdasági vontatókra külön uniós rendeletek vonatkoznak. A hazai forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételeit külön magyar jogszabályok írják elő. A pontos rendeletszámokat, kategóriahatárokat és az adatmezők megnevezését mindig a hatályos jogszabály szerint kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: hatályos uniós és hazai jogszabályok)**.

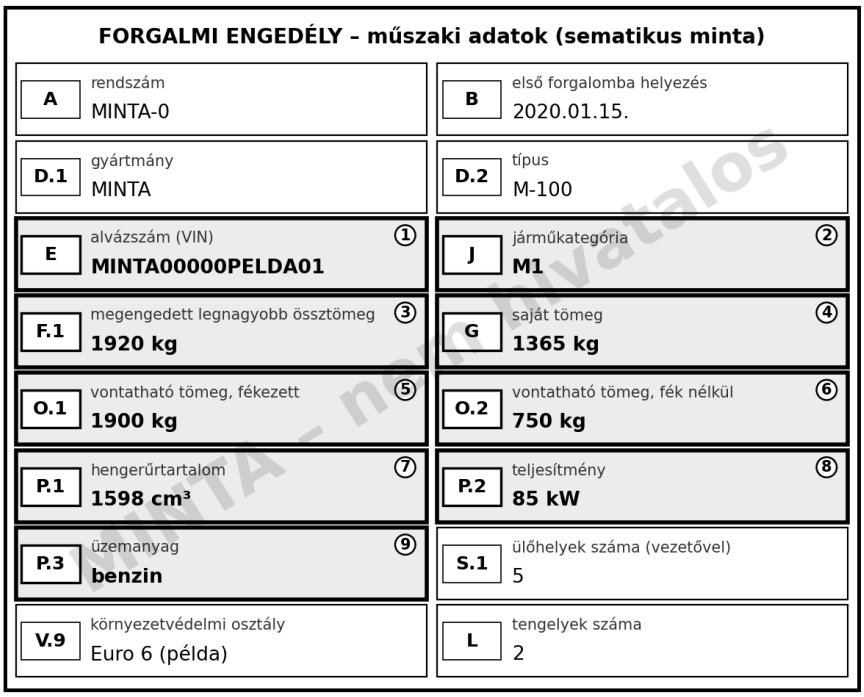
A típusjóváhagyás részletes szabályaira, az egyedi forgalomba helyezésre és a műszaki vizsgálatra a könyv későbbi, hatósági vizsgálati fejezetei térnek vissza.

3.3.6. A forgalmi engedély főbb műszaki adatai

A forgalmi engedélyben a következő, javítási szempontból is fontos adatcsoportokat kell megkülönböztetni:

- **Azonosító adatok:** gyártmány, típus, alvázszám, járműkategória.
- **Tömegadatok:** saját tömeg, megengedett legnagyobb össztömeg, tengelyenkénti megengedett terhelés, vontatható tömeg.
- **Méretadatok:** hossz, szélesség, magasság, tengelytáv, nyomtáv.
- **Teljesítmény- és motoradatok:** hengerűrtartalom, motorteljesítmény, tüzelőanyag fajtája, kibocsátási osztály.
- **Egyéb műszaki adatok:** ülések száma, állóhelyek száma, gumiabroncsméret, zajszint vagy hajtásforma.

A forgalmi engedélyben az egyes adatok betű- és számkódú mezőkben szerepelnek (például F.1 megengedett legnagyobb össztömeg, G saját tömeg, J járműkategória, O.1/O.2 fékezett és fék nélküli vontatható tömeg, P.1 hengerűrtartalom, P.2 teljesítmény, P.3 üzemanyag, E alvázszám; ellenőrizendő: a hatályos forgalmi engedély mintája és az 1999/37/EK irányelv). Az alábbi sematikus, nem hivatalos minta a kidolgozott példák számaival mutatja ezeket a mezőket.



3.5. ábra. A forgalmi engedély műszaki mezői sematikus, fiktív mintán

A méretadatok közül a tengelytávot a futómű-javításnál, a nyomtávot pedig a futómű-bemérésnél használjuk. A teljesítményt a forgalmi engedély kilowattban adja meg; a lóerő csak tájékoztató átszámítás. A hengerűrtartalom a motor azonosításához, az alkatrészrendeléshez és az emissziós besoroláshoz kell.

3.3.7. Kidolgozott példák

3.3.7.1. 1. példa: hasznos teher számítása

Adott: egy személygépkocsi saját tömege $m_{\text{saját}} = 1\,365\,\text{kg}$, megengedett legnagyobb össztömege $m_{\text{össz, meg}} = 1\,920\,\text{kg}$.

Keresett: a járművel még szállítható utas- és csomagtömeg, azaz a hasznos teher m_{hasznos}.

Képlet:

$$m_{\text{hasznos}} = m_{\text{össz, meg}} - m_{\text{saját}}$$

Behelyettesítés:

$$m_{\text{hasznos}} = 1\,920\,\text{kg} - 1\,365\,\text{kg} = 555\,\text{kg}$$

Ellenőrzés: A kapott 555 kg reális egy középkategóriás személyautónál. Ebben a példában a forgalmi engedély saját tömegével számolunk; ha a CoC menetkész tömegét használnád, a vezető (75 kg) már benne van, és ezt a hasznos teherből külön nem vonod le. A saját tömeg a gyártói meghatározás szerint tartalmazhatja a folyadékokat, ezért a gyakorlati „berakható csomag” értéke változhat **(ellenőrizendő: gyártói sajáttömeg-meghatározás)**. ∎

3.3.7.2. 2. példa: tengelyterhelés-átrendeződés a rakomány miatt

Adott: egy N1 kategóriájú furgon üres tengelyterhelése elöl 1 050 kg, hátul 1 050 kg. A tengelytáv $L = 3{,}3\,\text{m}$. A rakfelületre $m_r = 900\,\text{kg}$ rakomány kerül, amelynek tömegközéppontja a hátsó tengely mögött $b = 0{,}4\,\text{m}$-rel van.

Keresett: a rakomány felrakása után kialakuló első és hátsó tengelyterhelés, ha a megengedett tengelyterhelés elöl 1 800 kg, hátul 2 000 kg.

Képlet: a hátsó tengely mögött elhelyezkedő rakomány az első tengelyt tehermentesíti, a hátsó tengelyt pedig a rakomány teljes súlyánál jobban terheli. A tengelyterhelés-változás tömegegységben:

$$\Delta m_{\text{első}} = -\frac{m_r \cdot b}{L}$$

$$\Delta m_{\text{hátsó}} = m_r + \frac{m_r \cdot b}{L}$$

Behelyettesítés:

$$\Delta m_{\text{első}} = -\frac{900\,\text{kg} \cdot 0{,}4\,\text{m}}{3{,}3\,\text{m}} = -109{,}1\,\text{kg}$$

$$\Delta m_{\text{hátsó}} = 900\,\text{kg} + 109{,}1\,\text{kg} = 1\,009{,}1\,\text{kg}$$

Eredmény:

$$m_{\text{első}} = 1\,050\,\text{kg} - 109{,}1\,\text{kg} = 940{,}9\,\text{kg}$$

$$m_{\text{hátsó}} = 1\,050\,\text{kg} + 1\,009{,}1\,\text{kg} = 2\,059{,}1\,\text{kg}$$

Ellenőrzés: Az össztömeg $940{,}9 + 2\,059{,}1 = 3\,000\,\text{kg}$, ami megfelel az üres 2 100 kg és a rakomány 900 kg összegének. Ugyanakkor a hátsó tengely 2 059,1 kg, ami meghaladja a megengedett 2 000 kg-ot. A jármű tehát az össztömeg szempontjából lehet, hogy határon belül van, de a hátsó tengely túlterhelt. ∎

3.3.7.3. 3. példa: vontatható tömeg ellenőrzése

Adott: egy személygépkocsi vontatható tömege fékezett pótkocsira 1 900 kg, fék nélküli pótkocsira 750 kg. A vevő egy olyan pótkocsit szeretne vontatni, amelynek saját tömege 600 kg, és 1 950 kg rakományt vinne benne.

Keresett: megengedett-e a vontatás?

Számítás: a pótkocsi tényleges össztömege:

$$m_{\text{pótkocsi}} = 600\,\text{kg} + 1\,950\,\text{kg} = 2\,550\,\text{kg}$$

Ez mind a fékezett 1 900 kg-os, mind a fék nélküli 750 kg-os határt meghaladja. A vontatás műszakilag nem megengedett, még akkor sem, ha a pótkocsinak egyébként van saját fékje, mert a vontató jármű vontathatótömeg-határa a pótkocsi tényleges össztömegére vonatkozik.

Ellenőrzés: A vontatás tervezésekor a pótkocsi megengedett össztömegét is figyelni kell, nemcsak a vontató határát. A gyakorlatban a kettő közül a kisebbik érték a mértékadó, és a vonóhorogra jutó függőleges terhelést is bele kell számolni a vontató megengedett össztömegébe. ∎

3.3.8. Minőségellenőrzés: mit ellenőrzünk a járművön?

A jármű adatainak ellenőrzésekor a következő sorrend javasolt:

1. **Gyári adattábla beazonosítása:** ellenőrizd, hogy az adattábla sérült, hamisított vagy hiányos-e.
2. **Forgalmi engedély és adattábla egyezősége:** a gyártmány, típus, alvázszám, valamint a kategória ne térhet el egymástól.
3. **Tömegadatok ellenőrzése:** a megengedett össztömeg és a tengelyterhelések mérlegeléssel, tengelyterhelés-mérővel vagy hiteles mérőállomáson ellenőrizhetők.
4. **Vontatható tömeg és vonóberendezés:** a vonóhorog adattáblájának adatait a forgalmi engedéllyel vessük össze.
5. **Dokumentálás:** a javítási vagy átvizsgálási munkalapon rögzítsük a mért vagy azonosított adatokat, és az eltéréseket jelezzük az ügyfélnek.

3.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy kiszállító céghez tartozó N1 kategóriájú furgon futómű-átvizsgálásra érkezik. A forgalmi engedély szerint a megengedett legnagyobb össztömeg 3 500 kg, a hátsó tengely megengedett terhelése 2 000 kg. A műhelyben tengelyterhelés-mérővel a hátsó tengelyt 2 180 kg-ra mérik, az első tengely pedig 1 150 kg. Az össztömeg 3 330 kg, tehát a vezető szerint „nincs túlterhelve”. A műhelyben mégis azt látják, hogy a hátsó tengely 180 kg-mal túl van terhelve, ami a futómű, a kerékcsapágyak és a gumiabroncsok idő előtti károsodását, valamint a fékvizsgálaton való megbukást is okozhatja. A rakományt előrébb vagy egy másik járműre kell osztani, és a guminyomást, a terhelési indexet is a tényleges tengelyterheléshez kell igazítani.

3.3.10. Tipikus hibák

Hiba 1. A saját tömeget hasznos teherként kezelik, vagy a megengedett össztömeget a jármű tényleges tömegének hiszik. Helyes gyakorlat: a hasznos teher a kettő különbsége, és a tényleges terhelést mindig mérni kell a tengelyeken.

Hiba 2. A vontatható tömegnél csak a pótkocsi saját tömegét veszik alapul, és elfelejtik hozzáadni a rakományt. Helyes gyakorlat: a pótkocsi tényleges össztömegével számolunk, és a kisebbik határt vesszük figyelembe.

Hiba 3. Összeadják a megengedett tengelyterheléseket, és azt hiszik, hogy az összeg egyenlő a megengedett össztömeggel. Helyes gyakorlat: a megengedett össztömeg külön korlát, és a tengelyterhelések összege nem lépheti túl azt, illetve a tényleges tengelyterhelés egyik tengelyen sem haladhatja meg az adott tengely határértékét.

Hiba 4. A lóerőt és a kilowattot összekeverik javítási vagy alkatrészrendelési adatként. Helyes gyakorlat: a forgalmi engedély és a gyártói javítási adat kilowattban, illetve a gyártói specifikációban megadott mértékegységben értelmezendő.

3.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Egy ötajtós, 5 üléses, 1 350 kg saját tömegű személyautó M1 kategóriájú. Indokold.
2. Melyik kategóriába tartozik egy 4 800 kg megengedett össztömegű, 16 utasüléses (a vezetőn kívül) kisbusz?
3. Számítsd ki: saját tömeg 2 160 kg, megengedett össztömeg 3 500 kg. Mennyi a hasznos teher?
4. Mi a hiba ebben az állításban? „A megengedett tengelyterhelések összege 2 300 kg, ezért a jármű megengedett össztömege is lehet 2 300 kg.”
5. Melyik pótkocsi-kategóriába tartozik egy 1 200 kg megengedett össztömegű utánfutó?
6. Mit kell ellenőrizni egy vontathatósági vizsgálatnál a pótkocsi tömegére vonatkozóan?

3.3.12. Feladatok

3.3.12.1. 1. feladat (A)

Sorold be a járműveket:
a) 8 utasüléssel a vezetőn kívül (a vezetővel együtt 9 üléssel), 4,8 t megengedett össztömeggel;
b) 18 t megengedett össztömegű autóbusz;
c) 8 t megengedett össztömegű pótkocsi.

3.3.12.2. 2. feladat (A)

Egy személygépkocsi saját tömege 1 280 kg, megengedett legnagyobb össztömege 1 850 kg. Mennyi a hasznos teher?

3.3.12.3. 3. feladat (B)

Egy N1 furgon üres tengelyterhelése elöl 1 180 kg, hátul 1 080 kg, tengelytávja 4,0 m. A rakomány 1 000 kg, tömegközéppontja a hátsó tengely mögött 0,5 m-rel van. Számítsd ki a rakott tengelyterheléseket, és döntsd el, megfelel-e a hátsó tengelyre megengedett 2 200 kg határnak.

3.3.12.4. 4. feladat (B)

Egy jármű vontatható tömege fékezett pótkocsira 2 500 kg, fék nélkülire 750 kg. A pótkocsi saját tömege 600 kg, a szállítandó rakomány 1 900 kg. Műszakilag megengedett-e a vontatás fékezett pótkocsiként? Fék nélküliként?

3.3.12.5. 5. feladat (C)

Magyarázd meg, miért lehet a megengedett tengelyterhelések összege nagyobb, mint a jármű megengedett legnagyobb össztömege, és miért kell mégis mindkét határt betartani.

3.3.12.6. 6. feladat (D)

Műhelyben egy kisteherautó hátsó tengelyét 2 350 kg-ra mérik. A forgalmi engedély szerint a hátsó tengelyre megengedett érték 2 100 kg, a megengedett össztömeg 3 500 kg. A teljes mért össztömeg 3 400 kg. A sofőr szerint nincs gond, mert az össztömeg nem lépte túl a határt. Mi a szakszerű válasz, és milyen műhelyi ellenőrzést végezne el?

3.3.13. Megoldások

3.3.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A legfeljebb 8 utasüléssel rendelkező, személyszállításra tervezett gépjármű M1 kategóriájú.
2. M2, mert 8-nál több utasülése van (16 utasülés a vezetőn kívül), és a megengedett össztömeg legfeljebb 5 t.
3. $m_{\text{hasznos}} = 3\,500\,\text{kg} - 2\,160\,\text{kg} = 1\,340\,\text{kg}$.
4. A megengedett össztömeg külön, a gyártó által meghatározott korlát. A tengelyterhelések összege nem haladhatja meg ezt, de abból, hogy az egyes tengelyhatárok összege nagyobb, még nem következik, hogy a járművet annyira lehet terhelni.
5. O2, mert a megengedett össztömeg 0,75 t felett, de legfeljebb 3,5 t.
6. A pótkocsi tényleges össztömegét a saját tömeg és a rakomány összegeként kell meghatározni, és azt a vontató fékezett, illetve fék nélküli vontatható tömege közül a megfelelővel kell összevetni.

3.3.13.2. 1. feladat megoldása

a) M1, mert a vezetőn kívül legfeljebb 8 utasülése van; az M1 kategóriának nincs össztömeghatára, így a 4,8 t a besorolást nem befolyásolja (ellenőrizendő: (EU) 2018/858 I. melléklet). Ez a határeset: 9 üléssel a vezetővel együtt is M1.

b) M3, mert 8-nál több utasülése van, és az össztömege 5 t feletti.

c) O3, mert a pótkocsi össztömege 3,5 t felett, de legfeljebb 10 t.

3.3.13.3. 2. feladat megoldása

$m_{\text{hasznos}} = 1\,850\,\text{kg} - 1\,280\,\text{kg} = 570\,\text{kg}.$

3.3.13.4. 3. feladat megoldása

$$\Delta m_{\text{első}} = -\frac{1\,000 \cdot 0{,}5}{4{,}0} = -125\,\text{kg}$$
$$\Delta m_{\text{hátsó}} = 1\,000 + 125 = 1\,125\,\text{kg}$$
$$m_{\text{első}} = 1\,180 - 125 = 1\,055\,\text{kg}$$
$$m_{\text{hátsó}} = 1\,080 + 1\,125 = 2\,205\,\text{kg}$$

A hátsó tengely 2 205 kg, ami 5 kg-mal meghaladja a 2 200 kg-os határt, ezért a rakományt el kell osztani vagy csökkenteni.

3.3.13.5. 4. feladat megoldása

A pótkocsi tényleges össztömege:

$$m_{\text{pótkocsi}} = 600\,\text{kg} + 1\,900\,\text{kg} = 2\,500\,\text{kg}$$

Fékezett pótkocsiként éppen eléri a 2 500 kg-os határt, tehát műszakilag éppen megengedett, de nem hagy tartalékot. Fék nélküliként nem megengedett, mert meghaladja a 750 kg-os határt.

3.3.13.6. 5. feladat megoldása

A gyártó úgy is megadhatja az egyes tengelyekre megengedett terhelést, hogy azok összege nagyobb, mint a jármű teljes megengedett össztömege. Így például a rakomány elhelyezkedésétől függően az első vagy a hátsó tengely nagyobb terhelést kaphat, de a jármű teljes tömege mégsem nőhet a megengedett össztömeg fölé. A gyakorlatban mindig mindkét feltételt ellenőrizni kell: sem az egyes tengelyek, sem a teljes jármű nem lépheti túl a rá megengedett értéket.

3.3.13.7. 6. feladat megoldása

A helyes válasz: a hátsó tengely túlterhelt, függetlenül attól, hogy az össztömeg határon belül van. A tengelyterhelés-határ betartása ugyanolyan kötelező, mint az össztömegé. A műhelyben mérleggel vagy tengelyterhelés-mérővel ellenőrizni kell az első tengelyt is, a rakományt át kell rendezni vagy csökkenteni, majd a mérést megismételni. Emellett a gumiabroncsok terhelhetőségét is a tényleges tengelyterheléshez kell igazítani.

3.3.14. Rövid összefoglaló

A közúti járművek kategóriái alapvetően meghatározzák a rájuk vonatkozó műszaki, biztonsági és környezetvédelmi követelményeket. Az M kategóriába a személyszállító, az N kategóriába a teherszállító gépjárművek, az O kategóriába a pótkocsik, az L kategóriába a könnyű motoros járművek, a T kategóriába pedig a mezőgazdasági vontatók tartoznak. A forgalmi engedély legfontosabb tömegadatai a saját tömeg, a megengedett legnagyobb össztömeg, a tengelyenkénti megengedett terhelés és a vontatható tömeg. A hasznos teher az össztömeg és a saját tömeg különbsége. A tengelyterhelések a rakomány elhelyezkedésétől függően átrendeződnek: a hátsó tengely mögötti rakomány az első tengelyt tehermentesíti, a hátsót pedig fokozottan terheli. A vontatható tömeg a vontatmány tényleges össztömegére vonatkozik, külön a fékezett és fék nélküli esetre. A jármű típusjóváhagyással kerül forgalomba, és az adatokat a gyári adattáblának, a forgalmi engedélynek és a gyártói dokumentációnak egyezően kell tartalmaznia. Ezt az ismeretet később a járműazonosítás és a hatósági vizsgálat fejezeteiben alkalmazzuk.

3.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

- (EU) 2018/858 rendelet az M, N és O kategóriájú járművek típusjóváhagyásáról **(ellenőrizendő: hatályos szöveg)**.
- (EU) 168/2013 rendelet az L kategóriájú járművekről **(ellenőrizendő: hatályos szöveg)**.
- (EU) 167/2013 rendelet a mezőgazdasági és erdészeti vontatókról **(ellenőrizendő: hatályos szöveg)**.
- A hazai forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételeit meghatározó vonatkozó magyar jogszabályok **(ellenőrizendő: aktuális rendeletszámok és hatály)**.
- A forgalmi engedély adatmezőinek pontos elnevezése és tartalma, valamint a gyári adattábla kötelező adattartalma **(ellenőrizendő: hatályos hazai és uniós előírás)**.
- A példaszámításokban szereplő tömeg-, tengely- és vontatási értékek tanulási példák, nem konkrét járműtípusok gyártói adatai.

II. RÉSZ – Műszaki rajz, mechanika és menetdinamika

4 Műszaki rajz

4.1. Rajzi alapok, síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás

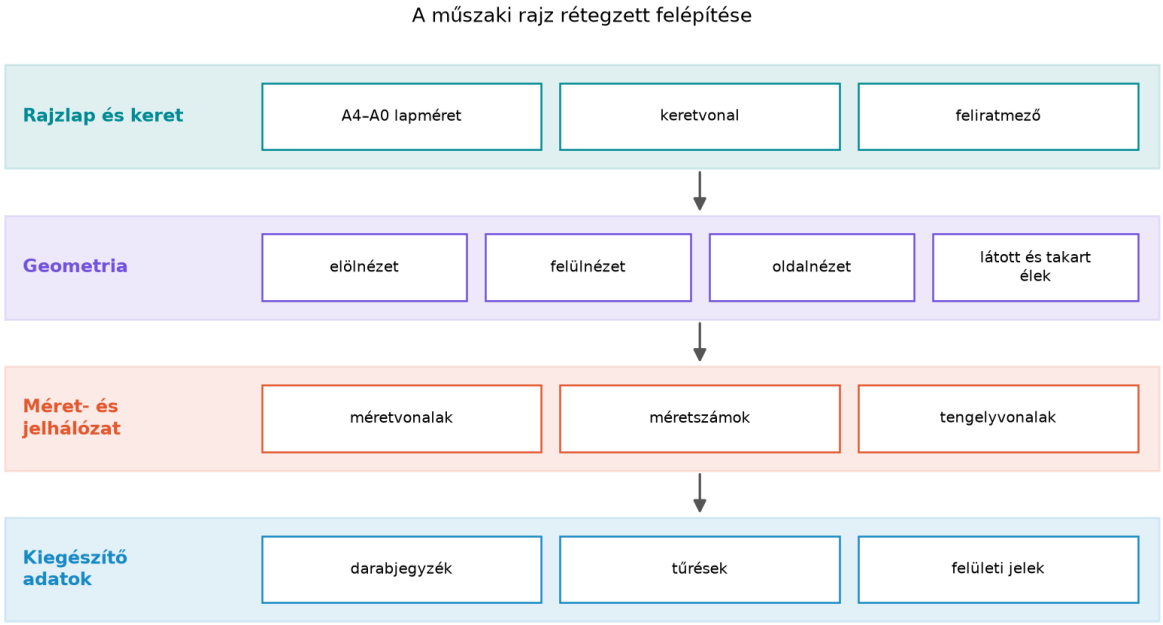
4.1.1. Motiváció: miért kell a műszaki rajz a műhelyben?

A műhelyben a legtöbb hiba nem a csavarkulcsnál kezdődik, hanem a rajz félreértésénél. Amikor egy féknyereg-konzolról kell másolatot készíttetni, vagy amikor egy gépjármű-villamossági kapcsolási rajzról kell beazonosítani egy csatlakozót, a rajz a közös nyelv. Ha nem tudod, hogy a rajzon hol van a felülnézet, melyik vonal jelent takart élet, vagy mit jelent az `1:2` méretarány, akkor rossz alkatrészt rendelhetsz, hibás vázlatot adhatsz a lakatosnak, vagy félreérted a gyártói robbantott ábrát.

Ez az alfejezet azokat az alapokat tanítja meg, amelyekre a későbbi szerkezeti rajzok, hidraulikus kapcsolási rajzok és gépjármű-villamossági áramútrajzok épülnek. Előismeret A könyv használata és a szakma követelménytérképe alfejezet szintjén elég; a rajzeszközöket és a vonalzó/cirkalmazás alapjait fokozatosan vezetjük be.

4.1.2. Szemléletes kép: a rajz mint rétegzett dokumentum

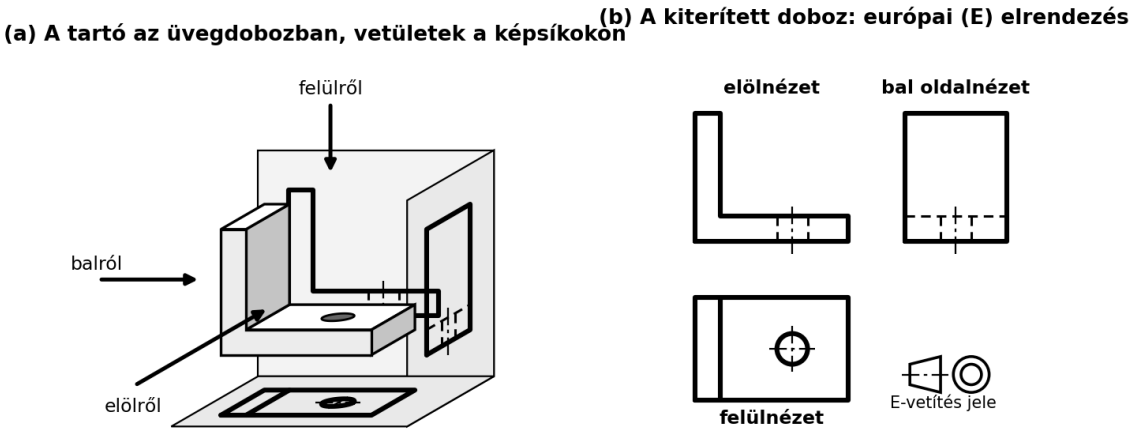
Képzeld úgy a műszaki rajzot, mint egy többrétegű dokumentumot. Az első réteg a szabványos rajzlap: a lap mérete, a keret és a feliratmező. A második réteg a geometria: az elölnézet, a felülnézet és az oldalnézet, amelyek a darab kontúrjait, látható és takart éleit mutatják. A harmadik réteg a méret- és jelhálózat: méretvonalak, méretszámok és tengelyvonalak. A negyedik réteg a kiegészítő adatok: darabjegyzék, tűrések és felületi jelek. A négy réteg együtt teszi a rajzot egyértelművé.



4.1. ábra. A műszaki rajz rétegzett felépítése - A rétegábra a rajzlap tartalmi egységeit szemlélteti; a vetületek és a méréthálózat egymástól függetlenül is ellenőrizhetők.

Az ábra azt mutatja, hogy a rajzlap, a geometria, a méret- és jelhálózat és a kiegészítő adatok négy rétege hogyan épül egymásra. A gyakorlatban ezt a rétegződést akkor használjuk, ha ellenőrizzük, hogy egy alkatrészrajzon a nézet, a méret és a darabjegyzék nincs-e ellentmondásban.

A vetítést egy üvegdobozba tett alkatrészen lehet a legkönnyebben elképzelni. Az alábbi ábra (a) része egy furatos, L alakú tartót mutat az üvegdobozban: elölről, felülről és balról nézve a nézet a test mögötti képsíkra vetül. A (b) rész a kinyitott, síkba terített dobozt mutatja: az elölnézet középen, a felülnézet alatta, a bal oldalnézet jobbra kerül; a takart furat szaggatott, a tengelyvonal pontvonal. A HTML-változatban a doboz kinyitása lépésenként követhető, és összevethető az amerikai (A) elrendezéssel.



4.2. ábra. Első térnegyedes (európai) vetítés: az üvegdoboz kiterítése és a nézetek helye

4.1.3. Definíciók, rajzlapok és szabványírás

Definíció. A **műszaki rajz** (technical drawing) a műszaki termék alakjának, méreteinek, anyagainak, pontossági és felületi követelményeinek szabványos, egyértelmű közlése rajzjelekkel. A **nézet** (view) a tárgynak egy képsíkra előírt irány szerint vetített képe; a **méretarány** a rajzolt hossz és a valóságos hossz hányadosa.

Definíció. A **vetület** (projection) a tárgy pontjainak párhuzamos vetítősugarakkal történő leképezése a képsíkra. A későbbi Metszetek és szelvények és a(z) A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz alfejezet is ezt a vetületi szemléletet használja, csak ott a belső üreges alakzatot metszéssel, illetve az áramutak kapcsolási rajzát egyezményes jelekkel ábrázoljuk.

Rajzlapok. A műhelyben leggyakrabban A4-es és A3-as lapokkal dolgozunk, mert ezek elférnek a munkapadon, és a vázlathoz, jegyzőkönyvhöz elegendőek. A nagyobb szerelési rajzok A2–A0 lapokra készülnek.

Jel	Lapméret (mm)	Jellemző műhelyi felhasználás
A4	210 × 297	műhelyi vázlat, mérési jegyzőkönyv
A3	297 × 420	kisebb alkatrészrajz, kapcsolási rajz
A2	420 × 594	szerelési rajz, csőrendszer rajza
A1	594 × 841	nagyobb összeállítási rajz
A0	841 × 1189	teljes gép, elrendezési rajz

Az értékek az ISO 216 A-sorozat tanulási értékei (ellenőrizendő: hatályos MSZ EN ISO 5457 rajzlapszabvány).

Feliratmező és darabjegyzék. A rajzlap jobb alsó sarkában lévő **feliratmező** (title block) azonosítja a rajzot: rajzszám, megnevezés, anyag, méretarány, vetítési mód, keltezés, valamint rajzoló és ellenőr neve. A **darabjegyzék** (parts list; Bill of Materials) tételszámmal, darabszámmal, megnevezéssel, rajzszámmal vagy szabványjelzettel, anyaggal és gyakran tömeggel sorolja fel az összeállítás elemeit. Az autószerelő a gyártói robbantott ábrán a tételszám alapján rendeli a pótalkatrészt.

Vonalfajták. A rajz csak akkor egyértelmű, ha a vonalak jelentését megtartjuk. Az alábbi táblázat a leggyakoribb vonalfajtákat foglalja össze.

Vonal	Rajzi szerep
folytonos vastag	látható élek, látható kontúrok
folytonos vékony	méretvonal, segédvonal, vonalkázás, hajlítási vonal
szaggatott vékony	takart, nem látható élek
pontvonal vékony	tengelyvonal, szimmetriavonal
kétpont-vonal vékony	súlyvonal, szomszédos alkatrész, szélső helyzet, hajlítás előtti alak

A vonalvastagságok szabványos sora például 0,25 mm, 0,35 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 1 mm; a vastag és a vékony vonal arány általában 2:1 (ellenőrizendő: ISO 128 vonalfajta-szabvány). A szabványos betűmagasságok pedig 2,5 mm, 3,5 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 14 mm, 20 mm (ellenőrizendő: hatályos MSZ EN ISO 3098 szabványírás-szabvány). A betű lehet dőlt vagy álló, de egy rajon belül egységes.

Összefüggés. A méretarány:

$$M = \frac{L_{\text{rajz}}}{L_{\text{valós}}}$$

ahol L_{rajz} a rajzon mért hossz, $L_{\text{valós}}$ a valóságos hossz ugyanabban a mértékegységben. A kicsinyítést `1 : x`, a nagyítást `x : 1` alakban írjuk. Például `1:2` azt jelenti, hogy a rajzhossz a valós hossz fele, tehát $M = 0{,}5$.

Szabály. A rajzra írt méretszám mindig a **valóságos** méretet jelöli, nem pedig a papíron lemért hosszt. A méretarány csak az ábrát méretezi, a méretszámot nem.

Előírás. A rajzlapok méretét az ISO 216 A-sorozat, a vonalfajtákat az ISO 128-sorozat, a feliratmező adattartalmát az ISO 7200 szabályozza; Magyarországon ezek honosított MSZ EN ISO jelzetű szabványokként jelennek meg. A vetítési módot a rajzlapon egy csonka kúpot és nézetirányt mutató jel különbözteti meg (ellenőrizendő: a hatályos szabványszámok és a jelölés pontos rajza).

4.1.4. Síkmértani szerkesztések

Mielőtt vetületet rajzolnál, érdemes gyakorolni az alapvető síkmértani szerkesztéseket, mert ezek adják a tengelyvonalak, osztókörök, furatkiosztások és illesztési vonalak alapját.

- **Merőleges szerkesztése** egy egyenesre adott pontban: körzőnyílással azonos távolságra kimetszünk két pontot, majd a két pontból nagyobb körzőnyílással metszést szerkesztünk; a metszéspont és az eredeti pont összekötve merőlegest ad.
- **Párhuzamos szerkesztése**: egy távolságot felmérve, merőleges szerkesztésével a kívánt távolságban párhuzamost kapunk.
- **Szögfelezés**: a szög csúcsából körívet húzunk, a szögszárak metszéspontjaiból azonos sugárral újabb metszést szerkesztünk; a csúcs és a metszéspont összekötése a szögfelező.
- **Szakaszfelezés**: a szakasz két végpontjából azonos, nagyobb sugárral két metszéspontot szerkesztünk; a metszéspontok összekötője a szakasz felezőmerőlegese.
- **Szabályos sokszögek és érintők**: például hatszög szerkeszthető egy osztókör sugarával, érintők pedig úgy, hogy az érintési pontban merőlegest állítunk a kör sugarára.

Gyakorlat. Szabályos hatszög szerkesztése adott körben, osztókörhöz – például kerékagy-csavarfurat kiosztáshoz.

1. Rajzold meg a vízszintes és függőleges tengelyvonalat, metszéspontja legyen O.
2. Rajzold meg az osztókört, például Ø60 mm.
3. Hagyd a körző nyílását a kör sugarán, azaz 30 mm-en.
4. Szúrd a körzőt a függőleges tengely és a kör felső metszéspontjába, metszd el a kört jobbra és balra.
5. Szúrd a körzőt a függőleges tengely és a kör alsó metszéspontjába, metszd el a kört újra.
6. Az így kapott hat metszéspont adja a szabályos hatszög csúcsait; kösd össze a szomszédos pontokat.
7. Töröld a segédvonalakat, hagyd meg a tengelyvonalakat.

Az eredmény egy szabályos hatszög, amely például hat csavarfurat elrendezésének alapja lehet.

4.1.5. Két- és háromképsíkos vetületi ábrázolás

A három fő nézetet úgy képzeljük, mintha az alkatrészt egy üvegdobozba tennénk. Az alkatrészt párhuzamos vetítősugarakkal vetítjük a doboz lapjaira: elölnézetre, felülnézetre és oldalnézetre.

Elölnézet kiválasztása. Az elölnézet az a nézet, amely a legtöbb jellemző alakzatot mutatja. Gépjármű-alkatrésznél ez gyakran a szerelési irányból látható kép: például féknyeregnél a dugattyúoldal felőli nézet, csapágyperselynél a tengelyirányú nézet.

Európai és amerikai elrendezés. Magyarországon és az európai gyakorlatban az **első térnegyedes vetítés** (európai vetítés, jele: E) az általános: az elölnézet középen marad, a felülnézet az elölnézet alá, a bal oldalnézet az elölnézet jobb oldalára, a jobb oldalnézet a bal oldalára kerül. Az amerikai **harmadik térnegyedes vetítés** (jele: A) ezzel ellentétes: a felülnézet az elölnézet fölé, az oldalnézetek az azonos oldalra kerülnek. Az autóiparban amerikai beszállítói rajzokon is találkozhatsz A-vetítéssel, ezért mindig nézd a rajz fejlécét.

Látható és takart élek. A látható éleket folytonos vastag vonallal rajzoljuk. A takart, nem látható éleket szaggatott vékony vonallal jelöljük. A szimmetriatengelyt és a furat középvonalát pontvonallal.

Síklapú testek. Egy téglatest elölnézete általában téglalap, felülnézete és oldalnézete szintén téglalap. Egy „L” alakú tartó elölnézete és felülnézete együtt már megadja a hajlítás mértékét, de a furatok oldalirányú helyzetét gyakran csak az oldalnézet mutatja.

Forgástestek. Egy henger elölnézete téglalap, felülnézete kör. A tengelyvonal a kör közepén keresztező pontvonal. A csonkolt henger esetén a ferde vágás az egyik nézetben ferde egyenesként, a másik nézetben jellemzően ellipszisívekkel vagy torzult kontúrral jelenik meg.

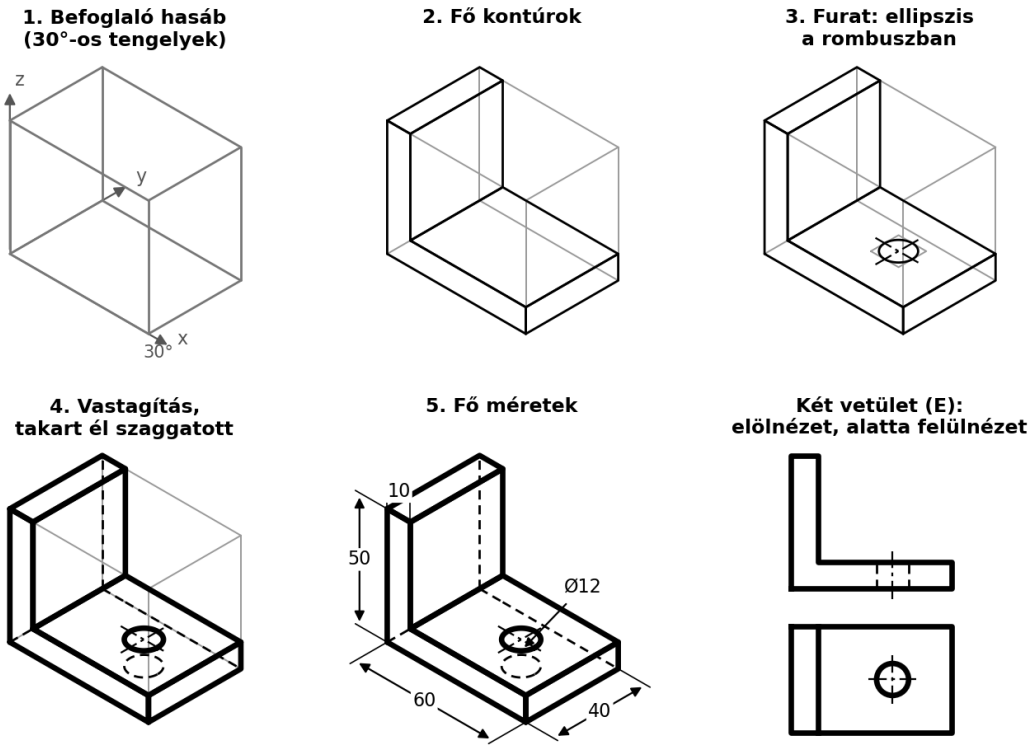
Továbbvitt eredmény. A nézeti elrendezés, a látható/takart él megkülönböztetése és a tengelyvonalak használata közvetlenül kell a Metszetek és szelvények alfejezetben, ahol a belső alakzatot síkmetszéssel ábrázoljuk. Ugyanezt a „rajz–jármű–mérés hármast” használjuk a(z) A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz alfejezetben is, ahol a kapcsolási rajzot a járművön lévő vezetékekkel és mérési pontokkal együtt kell értelmezni.

4.1.6. Axonometrikus ábrázolás és szabadkézi vázlat

A háromnézeti rajz pontos, de néha nehéz térben elképzelni. Az **axonometrikus ábra** (axonometric projection) egyetlen térbeli képet ad. A leggyakoribb az **izometrikus** ábra: a három tengely egymással 120°-os szöget zár be, a tengelyek mentén a hosszakat általában 1:1 arányban mérjük, és a körök ellipszisként látszanak. A dimetrikus és ferde axonometriák a forma jobb érzékeltetésére szolgálnak, de a kézi szerkesztésük kissé bonyolultabb.

A műhelyben a legfontosabb a **szabadkézi műszaki vázlat**: nem tökéletes szerkesztés, hanem arányos, méretezett, egyértelmű rajz. A jó vázlatban a nézetek elrendezése ugyanolyan szabályos, mint a szerkesztett rajzon, csak a vonalakat kézzel, arányosan húzzuk.

Az izometrikus vázlatot lépésenként építjük fel: (1) befoglaló hasáb vékony segédvonalakkal, (2) a fő kontúrok, (3) a furat ellipszisként, befoglaló rombuszba írva, (4) a látható élek vastagítása, a takart élek szaggatottan, (5) a fő méretek. Az ábra ugyanazt a tartót mutatja, mint a vetítési ábra, mellette a két vetülettel.



4.3. ábra. Szabadkézi izometrikus vázlat öt lépésben és a kész darab két vetülete

4.1.7. Kidolgozott példák

1. példa – kicsinyítés. Egy tartó valós hossza 120 mm, a rajzot `1:2` méretarányban kell elkészíteni.

Adott: $L_{\text{valós}} = 120\,\text{mm}$, $M = 1:2 = 0{,}5$.
Keresett: L_{rajz}.
Képlet: $L_{\text{rajz}} = M \cdot L_{\text{valós}}$.
Behelyettesítés: $L_{\text{rajz}} = 0{,}5 \cdot 120\,\text{mm} = 60\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: a rajzolt hossz fele a valósnak, tehát a számítás helyes. ∎

2. példa – nagyítás. Egy kisméretű furat valós átmérője 6 mm, a rajz `5:1` méretarányú.

Adott: $L_{\text{valós}} = 6\,\text{mm}$, $M = 5:1 = 5$.
Keresett: L_{rajz}.
Képlet: $L_{\text{rajz}} = M \cdot L_{\text{valós}}$.
Behelyettesítés: $L_{\text{rajz}} = 5 \cdot 6\,\text{mm} = 30\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: nagyításnál a rajz nagyobb, ezért a 30 mm reális. ∎

3. példa – méretarány visszaszámolása. Egy rajzon mért hossz 21 mm, a rajz `1:4` kicsinyítésű. A valós hossz:

$$L_{\text{valós}} = \frac{L_{\text{rajz}}}{M} = \frac{21\,\text{mm}}{0{,}25} = 84\,\text{mm}.$$

Ez a számítás akkor fontos, ha a vázlatról ellenőrizzük, hogy az alkatrész tényleg elfér-e a beépítési helyen.

4.1.8. Minőségellenőrzés

Egy műszaki rajzot vagy vázlatot ugyanúgy ellenőrizni kell, mint egy beépített alkatrészt. Ellenőrzőlista:

1. A feliratmezőben megvan-e a megnevezés, rajzszám, anyag, méretarány és vetítési mód?
2. A nézetek az európai elrendezés szerint követik-e egymást?
3. A látható élek folytonos vastag vonallal, a takart élek szaggatottal, a tengelyek pontvonallal vannak-e jelölve?
4. A méretaránynak megfelelőek-e a rajzolt kontúrok?
5. A darabjegyzék tételszámai megegyeznek-e a rajzon lévő tételhivatkozásokkal?
6. A rajz–jármű–mérés összhang megvan-e: a rajzon szereplő főméret és a járművön mért érték azonos-e?

Rajz–jármű–mérés hármas. A rajz értelmezése akkor válik biztonságossá, ha a rajzot, az alkatrészt a járművön és a mérési eredményt együtt használjuk. Ha a rajzon egy furattávolság 84 mm, a járművön a tolómérő pedig 83,5 mm-t mutat, akkor vagy nem azonos rajzról van szó, vagy az alkatrész kopott/elcsúszott.

4.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy kisteherautóhoz egyedi fékcsőtartó konzolt kell készíttetni, mert a gyári tartó már nem beszerezhető. A szerelő először szabadkézi vázlatot készít. Felveszi a konzol három fő nézetét: elölnézetben a hajlítás alakját, felülnézetben a furatok helyét, oldalnézetben pedig a lemez vastagságát és a hajlítási szöget. A méreteket a járművön tolómérővel ellenőrzi, majd a vázlatra `1:2` méretarányt jelöl, bár a darabot valós méretek alapján gyártják. A lakatos a vázlatról dolgozik, és a furattávolságot a rajz szerint 84 mm-re fúrja. Ha a szerelő kihagyta volna az oldalnézetet, a hajlítás iránya bizonytalan maradt volna; ha a takart furatot folytonos vastag vonallal rajzolja, a lakatos látható élet, nem pedig hátsó furatot lát, és rossz helyre jelöl.

4.1.10. Gyakorlati útmutató

Cél. Egyszerű, méretezett háromnézeti szabadkézi vázlat készítése egy járműalkatrészről vagy tanműhelyi gyakorlódarabról.

Alkatrész- és rajzadat-azonosítás. Rögzítsd a darab megnevezését, anyagát, a jármű típusát vagy a tanműhelyi gyakorlódarab jelét, a méretarányt, a vetítési módot, a vázlat készítőjét és dátumát.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok. HB és 2H ceruza, radír, vonalzó, derékszögű vonalzó, körző, sablon, mérőszalag és tolómérő. A méréshez legyen kéznél a mérendő alkatrész vagy annak pontos fényképe.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A körzőt és a mérőeszközöket heggyel/éles mérőfelülettel előre soha ne szállítsd; a rajzasztal legyen tiszta, a levágott ceruzahegy ne kerüljön a padlóra csúszásveszélyként.

Munkalépések.

1. Mérd meg az alkatrész fő méreteit: hossz, szélesség, magasság, furatátmérők és furattávolságok.
2. Válaszd ki a méretarányt úgy, hogy a három nézet ráférjen a rajzlapra.

3. Rajzold meg a lapkeretet és a feliratmezőt, töltsd ki az azonosító adatokat.
4. Jelöld ki a nézetek helyét halvány szerkesztővonalakkal az európai elrendezés szerint: elölnézet, alatta felülnézet, jobb oldalt bal oldalnézet.
5. Rajzold meg az elölnézetet a legjellemzőbb nézetként, vékony szerkesztővonallal.
6. Vetítsd le a felülnézetet vékony vonallal, majd az oldalnézetet.
7. Erősítsd meg a látható éleket folytonos vastag vonallal; a takart éleket rajzold szaggatottal; a tengelyeket pontvonallal.
8. Írd fel a méretszámokat valós értékkel, méretvonalakkal.
9. Töröld a felesleges szerkesztővonalakat, és ellenőrizd a rajz–jármű–mérés összhangot.

Ellenőrzési pontok. A nézeti téglalapok arányosak-e? A méretarányszámításnál a rajzméret = valós méret × M? A feliratmező hiánytalan-e? A furat tengelyvonalai megvannak-e minden nézetben?

Tipikus szerelési/rajzolási hibák. A méretarányszámot összetévesztik a valós mérettel; az oldalnézetet amerikai elrendezésbe teszik; a takart élet folytonos vastaggal rajzolják; a darabjegyzék tételszámát nem írják fel a rajzra.

Dokumentálás. A vázlatra kerüljön dátum, készítő, méretarány, anyag és a mérésnél használt eszköz. A szervizkönyvben vagy munkalapon hivatkozz a vázlat azonosítójára.

4.1.11. Tipikus hibák

1. **Méretarányszám félreértése.** Gyakori hiba, hogy a tanuló az `1:2` jelet úgy olvassa, hogy a rajzra írt méretszámot is felezni kell. Helyesen a méretszám a valós méret, az ábrát méretezi a méretarány.
2. **Az oldalnézet rossz oldalra kerül.** Európai vetítésnél a bal oldalnézet az elölnézet jobb oldalára, a jobb oldalnézet a bal oldalára kerül. Ha ezt felcseréljük, a rajz tükörképként értelmezhető.
3. **A látható és takart él összekeverése.** A hátsó furat kontúrját folytonos vastaggal rajzolják, így az látható élnek tűnik. Ilyenkor a rajzot olvasó szerelő rossz oldalra fúr, mert nem látja, hogy a furat takart.
4. **Hiányzó tengelyvonal.** Forgástest vagy furat rajzán a pontvonal hiánya megnehezíti a közép és a méret viszonyítását, és bizonytalanná teszi a munkadarab befogását.

4.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: `1:2` méretaránynál a rajzra írt méretszám a valós méret fele.
2. Melyik vonalfajta jelöli a takart éleket?
3. Európai első térnegyedes vetítésnél hová kerül a felülnézet?
4. A rajzon lemért hossz 25 mm, a méretarány `4:1`. Mekkora a valós hossz?
5. Mi a hiba ebben a leírásban: „A felülnézetet az elölnézet fölé rajzoltam, mert így jobban látszik a darab teteje”?
6. A feliratmezőből melyik három adatot kell feltétlenül ellenőrizned, mielőtt pótalkatrészt rendelsz?

4.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Egy alkatrész valós hossza 90 mm. Számítsd ki a rajzhosszt `1:3` méretaránynál.

2. feladat (A). A rajzon mért furatátmérő 15 mm, a rajz `5:1` nagyítású. Mekkora a furat valós átmérője?

3. feladat (B). A4-es álló rajzlapon hasznos rajzmezőnek 180 mm szélességet feltételezünk. `1:2` méretaránynál mekkora valós hossz fér el ebben a szélességben?

4. feladat (B). Rajzold le szavakkal egy „L” alakú tartó európai háromnézeti elrendezését. Add meg, melyik nézet hová kerül, és melyik élet rajzolnád szaggatottal.

5. feladat (C). Egy Ø50 mm átmérőjű, 80 mm hosszú csapot `1:2` méretarányban akarsz ábrázolni. Add meg az elölnézet és felülnézet rajzméreteit. Magyarázd meg, miért nem elég önmagában a felülnézet a csap hosszának és átmérőjének együttes közlésére.

6. feladat (D). Műhelyi hiba elemzése: egy tanuló a vázlatán a bal oldalnézetet az elölnézet bal oldalára helyezi, a hátsó furatot folytonos vastag vonallal rajzolja, és a méretszámokat felezi, mert a rajz `1:2`. Sorold fel a hibákat, és írd le a helyes eljárást.

4.1.14. Megoldások

4.1.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A méretszám a valós méret marad; az ábra mérete feleződik.
2. A takart éleket szaggatott vékony vonal jelöli.
3. Európai vetítésnél a felülnézet az elölnézet alá kerül.
4. $M = 4$, $L_{\text{valós}} = 25/4 = 6{,}25\,\text{mm}$.
5. Az európai elrendezésben a felülnézet az elölnézet alatt van; az elölnézet fölé rajzolás amerikai harmadik térnegyedes elrendezést sugall, ami félreértést okoz.
6. Megnevezés/rajzszám, méretarány, anyag; tételszám és a változat/dátum is fontos.

4.1.14.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).

Adott: $L_{\text{valós}} = 90\,\text{mm}$, $M = 1:3 = \frac{1}{3}$.
Keresett: L_{rajz}.
$L_{\text{rajz}} = \frac{1}{3} \cdot 90\,\text{mm} = 30\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: kicsinyítésnél a rajzolt hossz kisebb, tehát a 30 mm reális. ∎

2. feladat (A).

Adott: $L_{\text{rajz}} = 15\,\text{mm}$, $M = 5:1 = 5$.
Keresett: $L_{\text{valós}}$.
$L_{\text{valós}} = \frac{L_{\text{rajz}}}{M} = \frac{15\,\text{mm}}{5} = 3\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: nagyításnál a valós méret kisebb, tehát a 3 mm reális. ∎

3. feladat (B).

Adott: hasznos rajzszélesség $180\,\text{mm}$, $M = 1:2 = 0{,}5$.
Keresett: a legnagyobb valós hossz.
$L_{\text{valós}} = \frac{180\,\text{mm}}{0{,}5} = 360\,\text{mm}$.
Tehát 360 mm valós hossz fér el. ∎

4. feladat (B).

Az európai elrendezésben az elölnézetet középre rajzoljuk, ez mutatja a tartó elülső kontúrját és a hajlítás magasságát. Alá kerül a felülnézet, amely a hajlás vízszintes kiterjedését és a furatok helyét mutatja. Jobb oldalra kerül a bal oldalnézet, amely a tartó szélességét, anyagvastagságát és a hajlítás irányát egyértelműsíti. Szaggatott vonallal rajzolnánk azt a hátsó furatot vagy hátsó élet, amely az adott nézetben takarásba esik.

5. feladat (C).

A csap elölnézete téglalap, felülnézete kör. `1:2` méretaránynál a rajzon a csap hossza $80/2 = 40\,\text{mm}$, az átmérő $50/2 = 25\,\text{mm}$. A felülnézet önmagában csak az átmérőt mutatja, a hosszt nem, az elölnézet pedig a hosszt és az átmérő egyik kontúrját, de a kör keresztmetszetet nem. Ha azonban az elölnézetben az átmérő méretszáma elé a Ø jelet írjuk (Ø50), a hengeres csapot egyetlen nézet egyértelműen megadja; a kör alakú nézetet csak akkor rajzoljuk, ha a homlokfelületen furat, horony vagy lapolás van. A tengelyvonalat mindig berajzoljuk.

6. feladat (D).

A tanuló hibái: 1. Európai vetítésnél a bal oldalnézet az elölnézet jobb oldalára kerül, nem balra. 2. A hátsó furat takart él, ezért szaggatott vékony vonallal kell rajzolni. 3. A méretszámokat nem szabad felezni; a `1:2` csak az ábrát kicsinyíti, a méretszámok valós értékek maradnak. 4. A rajzon fel kell tüntetni a vetítési módot, a méretarányt, a feliratmezőt és a darabjegyzéket.

Helyes eljárás: elölnézet középre, felülnézet alá, bal oldalnézet jobbra; látható él folytonos vastag, takart él szaggatott, tengelyek pontvonal; a méretszámok valós méretek; a vázlatot ellenőrizd a járművön mért értékkel.

4.1.15. Rövid összefoglaló

A műszaki rajz a szerelő közös nyelve. A rajzlapot az ISO 216 A-sorozat szerint választjuk (A4: 210 mm × 297 mm), a feliratmező azonosítja a rajzot, a darabjegyzék pedig tételszám szerint sorolja fel az alkatrészeket. A vonalfajták jelentése kötött: folytonos vastag a látható él, folytonos vékony a méret- és segédvonal, szaggatott a takart él, pontvonal a tengely. A méretarány a rajzhossz és a valós hossz hányadosa; `1:2` kicsinyítés, `2:1` nagyítás. A rajzra írt méretszám mindig a valós méret marad. Az európai első térnegyedes vetítésben az elölnézet alatt van a felülnézet, a bal oldalnézet az elölnézettől jobbra kerül; az amerikai vetítés ezzel ellentétes, ezért a fejlécet mindig ellenőrizni kell. A szabadkézi vázlat arányos, méretezett háromnézeti rajz, amelyet a járművön mérve ellenőrzünk. **Továbbvitt eredmény.** A vetületi nézetek, a takart élek és a tengelyvonalak szabályait a metszeti ábrázolásban, valamint a gépjármű-villamossági áramútrajzok olvasásában használjuk később.

4.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

- A rajzlapméretek, keret és feliratmező: ISO 216, ISO 5457, ISO 7200 honosított változatai (ellenőrizendő: hatályos MSZ EN ISO szabványszámok és kiadási évük).
- Vonalfajták és vonalvastagságok: ISO 128-sorozat (ellenőrizendő: hatályos részek).
- Szabványírás: ISO 3098 (ellenőrizendő: hatályos MSZ EN ISO 3098).
- A vetítési mód jelölése: ISO 128-ra épülő rajzszabály (ellenőrizendő: a pontos jel alakja és a hatályos szabványszám).
- A példákban szereplő értékek tanulási példák, nem gyártói adatok.

4.2. Metszetek és szelvények

4.2.1. Motiváció

A műhelyben a gyártói javítási rajzok gyakran „röntgenfelvételként” mutatják meg a rejtett belső részeket: a féknyereg munkahengerének tömítőhornyát, a dugattyú gyűrűhornyait, a hengerfej olajjáratait vagy a lengéscsillapító belső szerkezetét. A vetületi nézetben ezek sokszor szaggatott vonalként jelennének meg, vagy egyáltalán nem látszanának. A metszet ezért nem felesleges rajztechnikai dísz, hanem a járműalkatrész belső kialakításának pontos közlési módja. Aki metszetet nem tud olvasni, az a javítási útmutató alapján sem tudja eldönteni, hogy egy csatorna üreg, egy horony helye vagy egy csavar hosszirányú teste-e a rajzon látható alakzat.

Továbbvitt eredmény. A metszetolvasás során megtanuljuk a vágott anyagfelület, a metszet mögött látható kontúr és a nem metszendő alkatrész megkülönböztetését. Ezt a Méretmegadás, felületi érdesség, tűrések és illesztések alfejezetben használjuk fel: a tűréseket és a felületi érdességet leggyakrabban a metszett felületeken adják meg, ezért a metszetjelölés pontos olvasása nélkül a méréthálózat is félreérthető.

4.2.2. Szemléletes kép

Képzeljük el, hogy egy acélperselyt a hossztengelyén átmenő síkkal félbevágunk. Az elején lévő, hozzánk közelebbi anyagot eltávolítjuk, mintha egy fűrész pontosan a vágósík mentén kettévágná. Ezután arra a részre nézünk rá, amelyik mögöttünk maradt. A vágás helyén látható anyagfelületet vékony, párhuzamos vonalakkal – **sraffozással** – jelöljük. A furat ürege nem kap sraffozást, viszont a furat mögötti, nem vágott anyag körvonala látható marad. A persely metszetén így egyszerre látjuk a külső és belső átmérőt, valamint azt is, hogy a furat mélyén van-e váll, zsákfurat vagy átmenő furat.

4.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **metszet** olyan ábrázolási mód, amelynél a tárgyat képzeletbeli vágósíkkal elvágjuk, az elülső részt eltávolítjuk, és a hátul maradó részt vetületként rajzoljuk meg. A vágósíkba eső anyagfelületet sraffozással jelöljük, a metszet mögött látható kontúrokat pedig folytonos vonallal rajzoljuk meg.

Definíció. A **szelvény** ettől abban különbözik, hogy csak a vágósíkba eső anyagfelületet ábrázoljuk; a metszősík mögött látható kontúrokat nem rajzoljuk meg. A szelvény tehát a metszetnél kevesebbet mutat, de alkalmas például bordák, küllők, hornyok vagy idomacélok keresztmetszetének egyszerű ábrázolására.

Szabály. A vágósík nyomvonalát a nézeten szaggatott pontvonallal, a széleken nyilakkal és betűjellel (például `A–A`) jelöljük. A metszet fölött vagy mellett ugyanezt a betűjelet feltüntetjük. A gyártói rajzokon gyakran rövidített jelölést látunk, ezért mindig a teljes rajzi jelölést és a vonatkozó rajzi szabványt kell követni.

Szabály. A sraffozást vékony folytonos vonallal, általában a kontúrhoz vagy a tengelyhez képest 45°-os szögben rajzoljuk. Egy alkatrész minden vágott felülete azonos irányú és osztású sraffozást kap. Szomszédos, egymástól különböző alkatrészeknél eltérő irányt vagy osztást használunk, hogy a rajzolvasó meg tudja különböztetni az érintkező részeket.

Előírás. A metszeti ábrázolás, a vágósík jelölése és a sraffozás alapelveit a műszaki rajzi szabványsorozat rögzíti (Magyarországon az MSZ EN ISO 128-sorozat, ellenőrizendő: a vonatkozó

részsorozatok pontos száma és a hatályos állapot). A gyártói javítási rajz mindig az adott járműalkatrész mérvadó ábrázolása.

4.2.4. A metszetek és szelvények csoportosítása



4.4. ábra. Metszetek és szelvények rendszere - Szemléltető tanulási áttekintés; a tényleges rajzi jelölést a vonatkozó műszaki rajzi szabvány és a gyártói rajz határozza meg.

A fenti ábra rendszerezi a legfontosabb fajtákat. A gyakorlatban a metszetfajtát az alkatrész alakja és a közlendő belső részlet határozza meg.

4.2.4.1. Egyszerű metszetek

Teljes metszet: a vágósík a tárgy teljes hosszán vagy teljes szélességén átmegy. A metszet így a teljes belső keresztmetszetet mutatja. Jellemzően hosszanti irányban alkalmazzuk perselyek, hengerfuratok, fékhengerek és szelepvezetők esetén.

Félmetszet: szimmetrikus alkatrésznél a nézet egyik fele külső nézet, másik fele metszet. A két fél határa a szimmetriatengely, amelyet szaggatott pontvonallal rajzolunk. A félmetszet takarékos, mert egy nézetben mutatja a külső és a belső kialakítást.

Részmetszet vagy kitörés: a nézetnek csak egy kisebb részén tárjuk fel a belső alakzatot. A kitörés határa vékony szabadkézi vonal vagy vékony cikcakkvonal. Például egy hengerfejcsavar-furat helyi metszetén csak a menetes zsákfuratot mutatjuk, nem az egész hengerfejet vágjuk át.

4.2.4.2. Összetett metszetek

Lépcsős metszet: ha a tárgyban két vagy több jellemző belső részlet eltérő magasságban, síkban fekszik, akkor párhuzamos, eltolt vágósíkokat használunk. A metszetben a lépcső eltolási éle **nem** rajzolható meg, mert az a vágósíkváltásnak nem valódi éle. A metszet a furatokat, hornyokat egyetlen síkba képzelve mutatja. A vágósík nyomvonala a nézeten jelzi a lépcsőzést.

Befordított metszet: ha a vágósík ferde helyzetű, a metszetet a rajzlap síkjába beforgatva, a nézet irányának megfelelően rajzoljuk. A forgatás irányát a betűjel és a nyíl jelzi.

Kiterített metszet: több ferde vágósík esetén a síkokat egyetlen közös síkba kiterítve ábrázoljuk. Így olyan bonyolult belső járatok is egy képen láthatóvá válnak, amelyek egyetlen síkkal nem metszhetők egyértelműen.

4.2.4.3. Szelvények

Befordított szelvény: a vágósíkba eső felületet a rajz síkjába 90°-kal beforgatva, a nézet kontúrjai közé rajzoljuk. Hosszú rudak, bordás merevítők, idomacélok ábrázolására alkalmas.

Kihúzott szelvény: a szelvényt a vágósík nyomvonalából kiemelve, a rajz szabad területére rajzoljuk. A szelvényt betűjellel jelöljük, és a vágósík helyét nyilakkal, betűvel mutatjuk. Előnye, hogy nagyobb léptékben, jól olvashatóan ábrázolható.

Elcsúsztatott szelvény: a kihúzott szelvényhez hasonló, de a szelvényt a vágósík irányából párhuzamosan elcsúsztatva helyezzük el, hogy ne takarjon fontos kontúrokat vagy méreteket. A gyakorlati rajzolvasásnál a betűjel és a nyilak egyértelműen összekapcsolják a szelvényt a vágósíkkal.

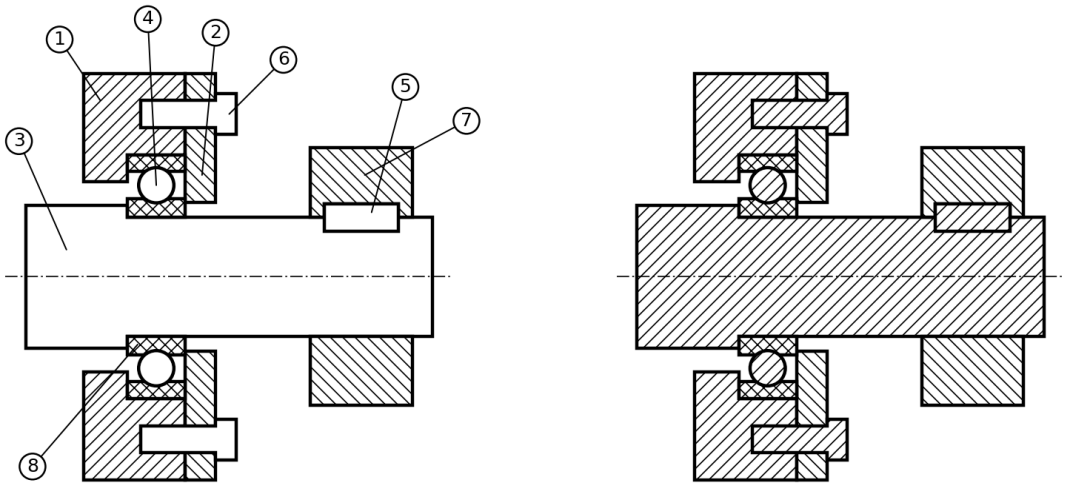
4.2.5. Nem metszendő alkatrészek

Szabály. Bizonyos gépelemeket akkor sem metszünk el, ha a vágósík hosszirányban áthalad rajtuk: csavar, csavarorsó, csapszeg, szegecs, tengely, golyó, görgő, ék, retesz, borda és küllő. Ezeket a metszetben is metszetlen, azaz nem sraffozott elemként rajzoljuk, csak a körvonalukat tüntetjük fel.

Az indoklás az, hogy ezek az elemek általában tömör, homogén alkatrészek, és a sraffozás nem adna új alakrajzi információt. Ha viszont a vágósík keresztirányban metszi őket, például egy tengelyt keresztben vágunk el, akkor a vágott felületet sraffozzuk.

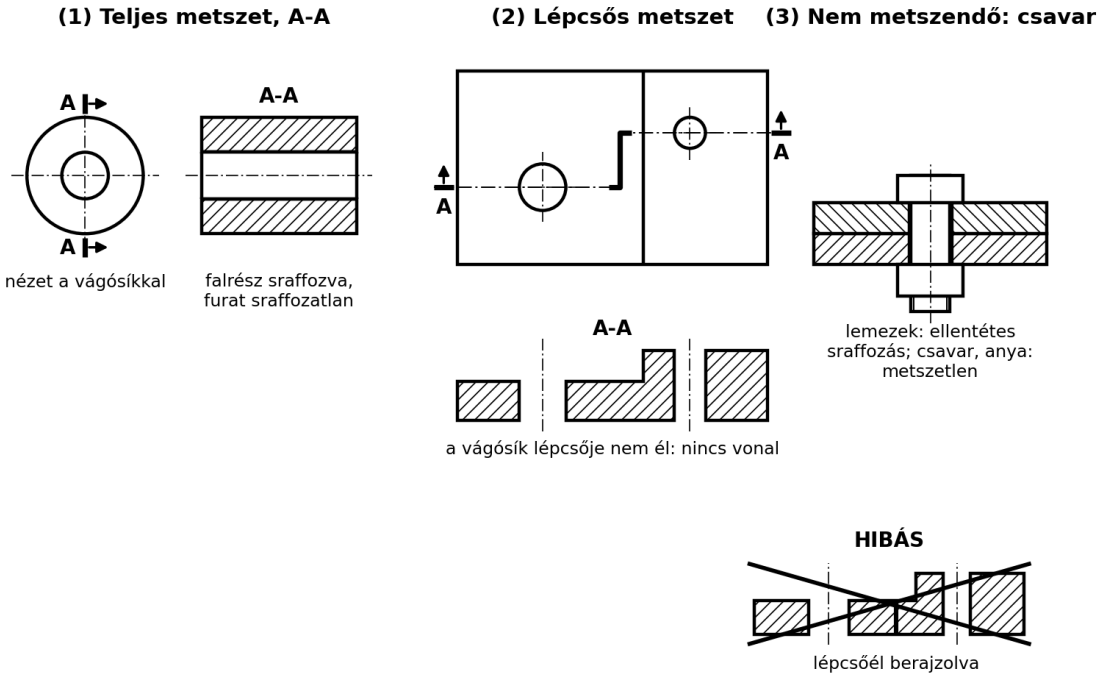
Példa. A dugattyú hosszmetszetén a dugattyú anyaga sraffozott, a dugattyúcsapszeg viszont nem metszendő elem, ezért nem sraffozzuk, hanem csak a palástját és homlokfelületét rajzoljuk. A dugattyúgyűrűk hosszmetszetben vágott anyagot mutatnak, ezért sraffozottak. A féknyereg metszetén a rögzítőcsavarokat nem sraffozzuk, a nyereg anyagát viszont igen; a fékfolyadék-csatornák üregek, ezért sraffozás nélkül maradnak.

A nem metszendő elemeket egy csapágyazott tengely hosszmetszetén mutatja az alábbi ábra: a ház, a fedél, az agy és a csapágygyűrűk sraffozottak, a tengely, a golyó, a retesz és a csavar nem; a jobb oldali, áthúzott változatban minden elem sraffozott, ezért nem látszik, mi tömör gépelem és mi vágott ház.



4.5. ábra. Nem metszendő alkatrészek egy csapágyazott tengely hosszmetszetében: helyes és hibás ábrázolás

A metszetek jelölését az 1. és 2. kidolgozott példa adataival foglalja össze a következő ábra: (1) a Ø30/Ø12 × 40 mm-es persely nézete a vágósík nyomvonalával és `A–A` teljes metszete sraffozott fallal és sraffozatlan furattal; (2) a kétfuratú fedél lépcsős vágósíkja és `A–A` metszete, amelyben a lépcső élét nem rajzoljuk meg (a betétkép a hibás, lépcsőéllel rajzolt változat); (3) csavarkötés, amelyben a csavar és az anya metszetlen, a két lemez ellentétes irányú sraffozást kap. A HTML-kiadásban a szerkesztés lépésenként lejátszható.



4.6. ábra. Teljes metszet (A-A), lépcsős metszet és nem metszendő csavar

Megjegyzés. A metszet nem önálló, hanem a vetületi nézetekkel együtt olvasandó ábrázolás. A gyártói javítási rajzokon a metszet gyakran a méretek és tűrések hordozója, ezért az alábbi olvasási sorrendet érdemes követni: nézet – vágósík jelölése – metszett anyagfelület – nem metszendő alkatrészek – méretek.

4.2.6. Kidolgozott példák

Példa 1 – Teljes metszet olvasása és szerkesztése. Egy 30 mm külső átmérőjű, 12 mm belső átmérőjű, 40 mm hosszú acélperselyt kell teljes hosszmetszetben ábrázolni. A szerkesztés lépései:

1. Felvesszük a szimmetriatengelyt és a persely külső körvonalát elöl nézetben.
2. Felvesszük a vágósíkot a hossztengelyen átmenő, az elölnézet képsíkjával párhuzamos síkként; nyomvonalát a kör alakú oldalnézeten jelöljük `A` betűvel és nézetirány-nyilakkal.
3. Elképzeljük, hogy a persely felénk eső elülső felét eltávolítjuk, és a hátsó felet az elölnézet helyén rajzoljuk meg.
4. A metszetben berajzoljuk a belső furat kontúrvonalait: a 12 mm-es furat falai párhuzamosak a külső palásttal.
5. A vágott anyagot 45°-os sraffozással jelöljük; a furat belsejét nem sraffozzuk.
6. A metszet fölé vagy alá írjuk: `A–A`.

A rajz azt eredményezi, hogy egyetlen nézeten látjuk a persely két átmérőjét, anyagvastagságát, és azt, hogy a furat átmenő.

Példa 2 – Lépcsős metszet leolvasása. Egy öntött fedélben két furat van: az egyik középen, a másik egy oldalsó lépcsőn magasabb síkban. Két külön teljes metszet helyett lépcsős metszetet választunk: az első vágósík a középső furaton, a másik eltolt, párhuzamos sík az oldalsó furaton halad át. A metszetben mindkét furat egyetlen `A–A` nézetben jelenik meg. A két vágósík közötti lépcső élet a metszetben **nem** rajzoljuk meg, mert az nem alkatrészél; a vágósík nyomvonala az alapnézetben mutatja a lépcső eltolását. Ezáltal a rajz egyszerűbb, mint két külön metszet, de ugyanazt a belső információt adja.

4.2.7. Minőségellenőrzés

Metszetolvasáskor ellenőrizzük:

- A metszet betűjele és a vágósík nyomvonala összetartozik-e.
- A vágott anyagfelület sraffozott-e, az üregek sraffozatlanok-e.
- A szomszédos alkatrészek sraffozása eltérő-e.
- A csavar, tengely, golyó, borda, küllő hosszirányban metszetlen-e.
- A szelvénynél csak a vágósíkba eső felületet ábrázoltuk-e, a mögöttes kontúrokat nem.
- A lépcsős metszetben a lépcsőfok nem szerepel-e alkatrészélként.

Ellenőrző sorrend: rajz – vágósík – sraffozás – nem metszendő elemek – méret. Ha bármelyik bizonytalan, a gyártói rajz címfelirata és a vetületi nézet az irányadó.

4.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy személyautó féknyereg-javításakor a szerelő azt a gyártói metszeti rajzot kapja, amely a féknyereg munkahengerét, a dugattyút, a négyszöggyűrű hornyát és a porvédő hornyot mutatja. A rajzon a nyereg anyaga sraffozott, a fékfolyadék-csatorna üreg, a rögzítőcsavarok metszetlenek. A tömítőgyűrű hornya a sraffozott anyagban látható bemélyedés. A szerelő a metszet alapján azonosítja, hogy melyik horonyba kerül a négyszöggyűrű, és milyen a hornyok sorrendje a visszaszerelésnél. Ha nem tudná elkülöníteni a vágott anyagot a csatornától, könnyen felcserélhetné a porvédő és a tömítőhorony helyzetét.

Figyelem. A féknyereg metszeti rajzának félreolvasása a fékrendszer helytelen összeszereléséhez vezethet; a járműjavítás során ezért a szerelési rajzot a gyártói adatokkal és a tényleges alkatrész megszemlélésével együtt kell ellenőrizni.

4.2.9. Gyakorlati útmutató: metszetolvasás tanulóasztalon

1. **Rajz azonosítása:** azonosítsd a címfeliratban az alkatrészt és a rajzszámot.
2. **Vetületi nézet megkeresése:** először nézd meg a teljes külső alakot.
3. **Vágósík megkeresése:** olvasd le a vágósík nyomvonalát és betűjelét.
4. **Metszett anyag leolvasása:** keresd meg a sraffozott felületeket és az üregeket.
5. **Nem metszendő elemek kijelölése:** jelöld be a csavarokat, tengelyeket, golyókat.
6. **Alakjellemzők összekapcsolása:** azonosítsd a furatokat, hornyokat, üregeket a méretekkel együtt.

4.2.10. Tipikus hibák

Hiba. A vágott anyagfelületet nem sraffozzuk. Ekkor a metszet nem különül el a nézettől, és a belső anyaghatárok értelmezhetetlenné válnak. **Helyes gyakorlat:** a vágósíkba eső anyagot mindig sraffozni kell.

Hiba. A tengelyt, csavart vagy csapszeget hosszirányú metszetben sraffozzuk. Ez félrevezeti az olvasót, mert a tömör elem testét vágott anyagként mutatja. **Helyes gyakorlat:** a felsorolt nem metszendő elemeket hosszirányban csak körvonalukkal ábrázoljuk.

Hiba. A lépcsős metszetben a vágósíkváltás élét alkatrészélként berajzoljuk. A metszet így azt a téves benyomást kelti, hogy a tárgyon ott valóságos lépcső van. **Helyes gyakorlat:** a lépcső élét a metszetben nem rajzoljuk meg.

Hiba. Szomszédos alkatrészeknél azonos irányú és osztású sraffozást használunk. A rajzolvasó nem tudja szétválasztani a két anyagot. **Helyes gyakorlat:** eltérő irányt vagy osztást alkalmazzunk.

Hiba. A metszet mögött látható kontúrokat elhagyjuk, vagy éppen a szelvényben a mögöttes kontúrokat is berajzoljuk. A metszet így hiányos, a szelvény pedig pontatlan. **Helyes gyakorlat:** metszetnél a mögöttes látható éleket rajzoljuk, szelvénynél csak a vágósíkba eső felületet.

4.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A szelvény a metszősík mögött látható kontúrokat is ábrázolja.
2. Igaz vagy hamis? A tengelyt hosszirányú metszetben nem sraffozzuk.
3. Milyen metszetfajtát válasszunk, ha egymástól eltérő magasságban fekvő két furatot akarunk egy metszetben bemutatni?
4. Mi a különbség a teljes metszet és a kihúzott szelvény között?
5. Sorolj fel legalább négy olyan elemet, amelyet hosszirányú metszetben sem sraffozunk!

4.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg saját szavakkal, hogyan keletkezik a metszet, és mi a metszet és a szelvény közötti lényeges különbség.

2. feladat (A). Sorold fel, mi mindent jelöl a metszeti rajzolvasónak a sraffozás szabályos alkalmazása.

3. feladat (B). Egy öntött fedél két furata eltérő síkban van. Magyarázd el röviden, miért lépcsős metszetet használunk, és miért nem rajzoljuk be a vágósíkváltás lépcsőfokát a metszetbe.

4. feladat (B). Állítsd helyes sorrendbe a teljes metszet szerkesztésének lépéseit: sraffozás, szimmetriatengely felvétele, vágósík jelölése, belső kontúrok rajzolása, metszet felirata. Indokold a sorrendet.

5. feladat (C). Hibaelemzés. Egy féknyereg metszeti rajzán a rögzítőcsavart hosszirányban sraffozva ábrázolták. Mi a hiba, milyen következménye lehet a javítás során, és hogyan kell helyesen ábrázolni?

6. feladat (D). Gyártói javítási rajzon egy dugattyú hosszmetszete látható. A rajzon a dugattyú anyaga sraffozott, a gyűrűhornyok bemélyedések, a csapszegfurat üreg. Milyen ellenőrző méréseket készítene elő a metszet alapján a dugattyú állapotfelméréséhez?

4.2.13. Megoldások

4.2.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A szelvény csak a vágósíkba eső felületet ábrázolja; a mögöttes kontúrokat nem.
2. Igaz. A tengely hosszirányban nem metszendő, ezért nem sraffozzuk.
3. Lépcsős metszetet.
4. A teljes metszet a metszősík mögötti látható kontúrokat is ábrázolja; a kihúzott szelvény csak a vágósíkba eső anyagfelületet.
5. Pl. csavar, tengely, golyó, borda – a szabály teljes felsorolásából bármely négy (összesen tizenegy elem); hosszirányban egyik sem sraffozandó.

4.2.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat. A metszet úgy keletkezik, hogy a tárgyat képzeletbeli vágósíkkal elvágjuk, eltávolítjuk az elülső részt, a hátul maradó részt vetítjük, és a vágott anyagfelületet sraffozzuk. A metszet mögött látható kontúrokat megrajzoljuk; a szelvénynél ellenben csak a vágósíkba eső felületet rajzoljuk.

2. feladat. A sraffozás mutatja a vágott anyagot, megkülönbözteti az üregektől, azonosítja, hogy a metszősík ténylegesen átvágta-e az anyagot, és eltérő irányával vagy osztásával szétválasztja a szomszédos alkatrészeket. A nem sraffozott elemek metszetlen anyagot, üreget vagy nem metszendő alkatrészt jelezhetnek.

3. feladat. A két furat eltérő síkban van, ezért egyetlen egyenes vágósíkkal nem metszhetők egyszerre. A lépcsős metszet párhuzamos, eltolt vágósíkokat használ, így mindkét furatot egy `A–A` metszetbe vetíthetjük. A lépcsőfok nem valódi alkatrészél, ezért a metszetben nem rajzolható meg; a vágósík nyomvonala az alapnézeten jelzi az eltolást.

4. feladat. Helyes sorrend: szimmetriatengely felvétele, vágósík jelölése, belső kontúrok rajzolása, sraffozás, metszet felirata. Először a vetületi alapot, majd a vágósíkot kell rögzíteni, ezután rajzoljuk a belső üregek kontúrjait, végül a vágott anyag sraffozását és a metszet azonosító feliratát.

5. feladat. A hiba, hogy a rögzítőcsavart hosszirányban metszendő alkatrészként sraffozták. Ebből a rajzolvasó úgy olvashatja, hogy a csavar testét a metszősík anyagában átvágta, holott a csavar tömör, külön alkatrész. A javítás során félreérthető, hogy a csavar a nyereg anyagához tartozik-e, ami szerelési hibához vezethet. Helyesen a csavart metszetlen elemként, sraffozás nélkül, csak körvonalaival rajzoljuk.

6. feladat. A metszet alapján előkészíthető mérések: a dugattyúpalást átmérőjének mérése mikrométerrel, a gyűrűhornyok szélességének mérése hézagmérővel vagy tolómérővel, a horonymélység mérése, a csapszegfurat átmérőjének és furatjátékának mérése. A metszeten a sraffozott anyag mutatja, hogy mely felületek tartoznak a dugattyú anyagához; ezekre a felületekre vonatkoznak a gyártói kopási határok.

4.2.14. Rövid összefoglaló

A metszet a tárgyat képzeletbeli vágósíkkal elvágva, az elülső részt eltávolítva ábrázolja; a vágott anyagfelületet sraffozzuk, a mögöttes kontúrokat megrajzoljuk. Az egyszerű metszetek közé tartozik a teljes, fél- és részmetszet (kitörés). Az összetett metszetek – lépcsős, befordított, kiterített – akkor szükségesek, ha a belső részletek egyetlen egyenes vágósíkkal nem ábrázolhatók. A szelvény csak a vágósíkba eső felületet mutatja; fajtái a befordított, kihúzott és elcsúsztatott szelvény. Csavart, tengelyt, csapszeget, szegecset, golyót, görgőt, éket, reteszt, bordát és küllőt hosszirányban nem metszünk; ezeket sraffozás nélkül rajzoljuk. A metszetolvasás során a vágott felületet, az üreget és a nem metszendő elemet mindig elkülönítjük, mert ezt a felismerést a Méretmegadás, felületi érdesség, tűrések és illesztések alfejezetben a tűrt felületek méretének leolvasásakor használjuk fel.

4.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

- Műszaki rajzi szabványsorozat: MSZ EN ISO 128 (ellenőrizendő: a metszeti és szelvényábrázolásra vonatkozó részsorozatok pontos száma, magyar nyelvű jelölései és hatályos állapota).
- Gyártói javítási rajzok és alkatrészkatalógusok metszeti ábrázolásai (ellenőrizendő: az adott járműre vonatkozó gyártói adat).
- A nem metszendő elemek felsorolása a rajzi konvenció szerint (ellenőrizendő: a hatályos műszaki rajzi szabvány pontos meghatározása).

4.3. Méretmegadás, felületi érdesség, tűrések és illesztések

4.3.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy kopott főtengelycsapot vagy hengerfuratot kell elbírálnod a műhelyben. A munkalapon nemcsak annyi áll, hogy „átmérő 30 mm”, hanem például `Ø30 H7/g6`, a rajzon pedig egy furatméret mellett Ra 0,8, egy csapágyfészek mellett pedig alak- és helyzettűrés jelölése szerepel. Ha ezeket nem tudod pontosan értelmezni, nem tudod eldönteni, hogy az alkatrész megengedhető-e, felújítható-e, vagy cserélni kell. Ebből az alfejezetből megtanulod, hogyan olvasd le a rajzról a méreteket és a tűréseket, hogyan számítsd ki a játékot vagy fedést, és hogyan kapcsolod ezt a járműszerkezetek javításához – például csapágyhézag, dugattyúcsapszeg, kerékcsapágy vagy hengerfurat ellenőrzéséhez.

4.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy géprajzot, amelyen egy csapágycsap és a hozzá tartozó csapágyfészek metszete látható. A furat méretvonala fölött `Ø30 H7` felirat, a csap méretvonala fölött `Ø30 g6` felirat, és mellettük érdességjel: Ra 0,8. A méretsegédvonal a furat szélétől indul, a méretvonal nyilakkal zárul, a méretszám milliméterben értendő. A rajz jobb alsó sarkában táblázatos méretmegadás: az `A` jelű hosszméret $12 \pm 0{,}1$, a `B` jelű vállméret $0{,}5 \times 45°$. A csap mellett alak- és helyzettűrés keretben: a hengeresség jele, tűrésértékkel. Ez a rajz egyszerre mutatja a méretmegadást, a tűréseket és az érdességet.

4.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció.
A **névleges méret** a rajzon megadott elvi méret, amelyhez a tűréseket viszonyítjuk. A **tényleges méret** a legyártott alkatrészen mért méret. A **mérettűrés** a megengedett legnagyobb és legkisebb tényleges méret közötti különbség, vagyis az a tartomány, amelyen belül a méretnek maradnia kell.

Definíció.
A **felső határméret** a névleges méret + felső tűrés, az **alsó határméret** a névleges méret + alsó tűrés. Például `Ø30 H7` furatnál – ha a táblázati tűrés `H7` értéke `+21` µm – a méret 30,000 mm és 30,021 mm közé eshet (ellenőrizendő: szabványtáblázat).

Összefüggés.
Ha a furat legnagyobb mérete $D_{\max}$ és a csap legnagyobb mérete $d_{\max}$, a legkisebb méretek $D_{\min}$ és $d_{\min}$, akkor:

- **Játék** esetén a legnagyobb játék $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$, a legkisebb játék $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$.
- **Fedés** esetén a legnagyobb fedés $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$, a legkisebb fedés $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$.

Az **átmeneti illesztés** esetében a tűrésmezők átfedik egymást, így előfordulhat kis játék vagy kis fedés is.

Szabály.
A rajzon a méretek **milliméterben** értendők, ha a méretszám után nincs más egység. A méretvonal vékony vonal, a méretsegédvonal merőlegesen indul a kontúrvonaltól, a méretvonal nyilakkal zárul, és a méretszámot általában a méretvonal fölé, a méretvonal közepére írják.

4.3.4. Méretmegadás

4.3.4.1. Méretvonal, méretsegédvonal, méretszám

A géprajzon a méretmegadás célja, hogy egyértelműen közölje az alkatrész méreteit. A **méretvonal** az a vékony vonal, amelyre a méretszám kerül; két végét **mérethatároló nyilak** zárják. A **méretsegédvonal** a kontúrvonaltól kivezetett vékony vonal, amely a méretvonalat elhelyezi. A **méretszámot** mindig a méretvonal felett, attól kis távolságra, vízszintes helyzetből olvashatóan írják – függőleges méretnél a szám baloldalra kerül, a méretvonalat jobbról olvassuk.

Átmérőméretnél a méretszám elé `Ø` jelet írunk, sugárnál `R`-et, gömbfelületnél `S` betűt és `Ø`-t, váll/letörés jelölésére `45°`, $0{,}5 \times 45^\circ$. Menet méreténél `M`, `G`, `R` betűjelzést használunk (pl. `M10`, `G1/2`). A méretvonalat lehetőleg ne keresztezzék más vonalak, és a méretszám ne kerüljön metszéspontba.

4.3.4.2. Láncszerű, bázistól induló és táblázatos méretmegadás

A méretmegadásnak három gyakori elrendezése van:

- **Láncszerű méretmegadásnál** az egyes jellemző méretek egymás után, láncszerűen, mindig a következő alakzattól indulva szerepelnek. Előnye a szomszédos elemek pontos viszonya, hátránya, hogy a hibák összeadódnak, mert a méretlánc hosszabb lesz.

- **Bázistól induló (koordináta) méretmegadásnál** minden méret egy közös bázisfelülettől vagy középvonaltól indul. Ez jobb a gyártás szempontjából, de az egymáshoz képesti méretpontosságot nem közvetlenül adja meg.

- **Táblázatos méretmegadásnál** a rajz alfanumerikus jeleket (`A`, `B`, `C`) kap, és a méreteket külön táblázatban adják meg. Ez akkor praktikus, ha sok azonos jellegű méret van, vagy ha a méretek paraméterei változatok szerint módosulnak.

Például egy tengely lépcsőinél a `72`, `24`, `12` méretek láncszerűen, vagy `0`, `72`, `96`, `108` bázistól indulóan adhatók meg.

4.3.4.3. Furatok, kúposság, lejtés

Furatok méretmegadásánál az átmérő mellett gyakran megadják a furat mélységét, süllyesztést (pl. `süllyesztett furat Ø12, süllyesztés Ø18 × 90°`). A furat méretét `Ø` jellel, a menetet `M` jellel, a központfurat jelölése az ISO 6411 szerinti egyszerűsített jellel történik (ellenőrizendő). A furat végének alakját (pl. átmenő, zsákfurat) a rajz mutatja.

A **kúposság** (`C`) egy kúp átmérőjének és hosszának viszonya:

$$C = \frac{D - d}{L}$$

ahol `D` a nagy átmérő, `d` a kis átmérő, `L` a kúp hossza. A rajzon a kúpos felületet jellemzően `1:x` vagy százalékosan adják meg, pl. `1:10` azt jelenti, hogy 10 mm hosszon 1 mm átmérőváltozás. A **lejtés** (`m`) egy ferde sík emelkedésének és vízszintes vetületének viszonya:

$$m = \frac{h}{l}$$

ahol `h` a magasságkülönbség, `l` a vízszintes vetület. Megadható százalékban is (pl. `5%`, ami 100 mm-en 5 mm emelkedést jelent).

Szabály.
A kúposságot és lejtést a rajzon a méretszám mellett meg kell adni, lehetőleg a metszetben vagy a vetületben, a kúp tengelyével párhuzamos méretvonallal.

4.3.5. Felületi érdesség

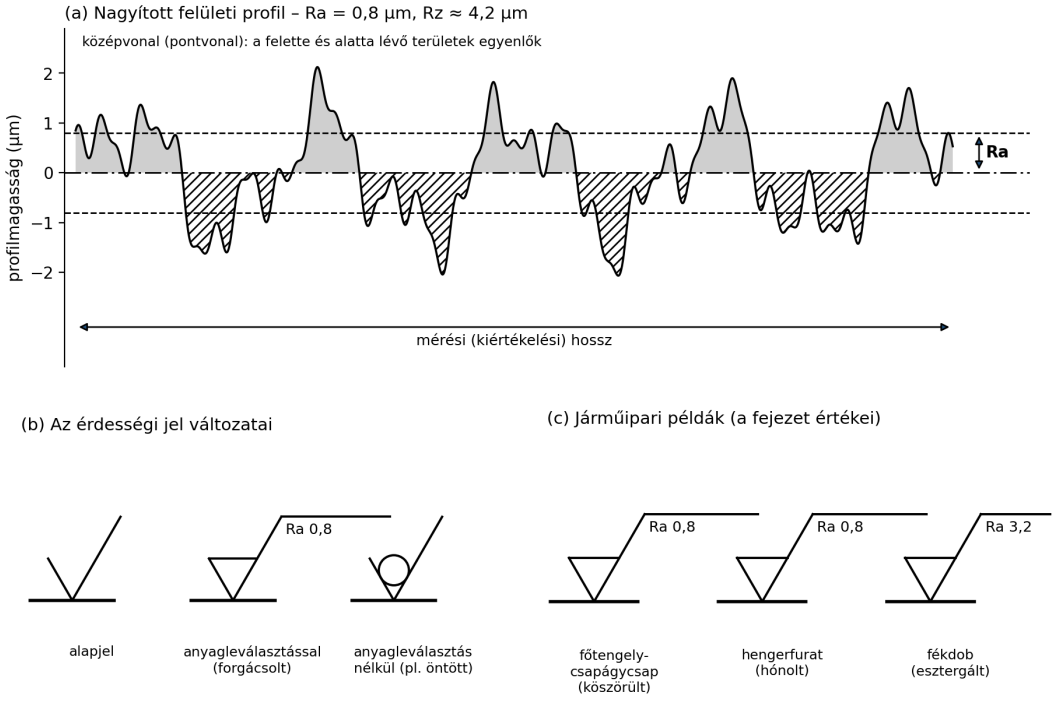
Definíció.
A **felületi érdesség** a megmunkált felületen visszamaradó, a névleges geometriai felülettől való egyenetlenség. Az érdesség jellemzésére leggyakrabban az `Ra` (középvonali átlagérdesség) és az `Rz` (maximális profil magasság) paramétereket használják. `Ra` a mért szelvény ordinátáinak abszolút értékű átlagos eltérése a középvonaltól, `Rz` pedig egy mérési szakaszon a legnagyobb profilcsúcs és a legmélyebb profilvályú közötti távolság (ellenőrizendő: ISO 4287 és ISO 1302 szerinti aktuális értelmezés).

Jelölés.
A rajzon az érdességjelet a felületre, a méretvonal meghosszabbítására vagy a felület burkolóvonalára helyezzük. A modern jel két, eltérő hosszúságú, kb. 60°-os szárból álló pipa (√-szerű), amely a felületre vagy annak kivezető vonalára támaszkodik (ellenőrizendő: ISO 1302 / ISO 21920-1); a régi rajzokon háromszögjelek (▽) láthatók. A szimbólum alatt/fölött a `Ra` vagy `Rz` értékét megadjuk mikrométerben, pl. Ra 0,8 vagy Rz 6,3. Ha szükséges, a jelbe gyártási eljárást (esztergálás, köszörülés), felületkikészítést (horganyzás, foszfátozás), minta hosszát és hullámosságot is megadhatunk.

Példák járműipari alkatrészekre:

- csapágycsap: Ra 0,2–0,8 µm
- hengerfurat: Ra 0,4–0,8 µm
- szelepülék: Ra 0,8–1,6 µm
- fékdob: Ra 1,6–3,2 µm
  (az értékek tanulási példák, ellenőrizendő: gyártói/tervrajzi adat.)

Az alábbi ábra (a) része egy nagyított, szemléltető felületi profilt mutat: a középvonal fölötti és alatti területek egyenlők, az Ra a profil átlagos eltérése ettől a vonaltól (itt $Ra = 0{,}8\,\mu\text{m}$). A (b) rész az érdességi jel három alapváltozatát (alapjel, anyagleválasztással, anyagleválasztás nélkül), a (c) rész a fenti járműipari példák jelölését adja. A HTML-kiadásban csúszkával változtatható a profil durvasága, és az Ra értéke élőben számolódik.



4.7. ábra. Felületi profil Ra-sávval és az érdességi jel változatai

A felületkikészítés és hőkezelés megadása gyakran együtt jár: pl. a rajz tartalmazza `HRC 58-62`, `nitridálva`, `foszfátozva` feliratot. A hőkezelésre a keménységet Rockwell `HRC` vagy Brinell `HBW` skálán adhatjuk meg, és utalhatunk a hőkezelés módjára (edzve, megeresztve, betétedzve [cementálva], nitridálva).

Megjegyzés.
Az érdesség értékét nem szabad összekeverni a mérettűréssel: az érdesség a felület mikrogeometriája, a tűrés a méret megengedett tartománya.

4.3.6. ISO-tűrésrendszer és illesztések

Definíció.
A **tűrésmező** a felső és alsó határméret közötti tartomány. Az ISO-tűrésrendszerben a tűrésmezőt egy betű és egy szám kombinációja jelöli, pl. `H7`, `g6`, `s6`. A betű az **alapeltérést** adja meg (a tűrésmező helyzete a névleges mérethez képest), a szám a **tűrésfokozatot** (a tűrés nagysága, `1`–`18`, csökkenő pontossággal).

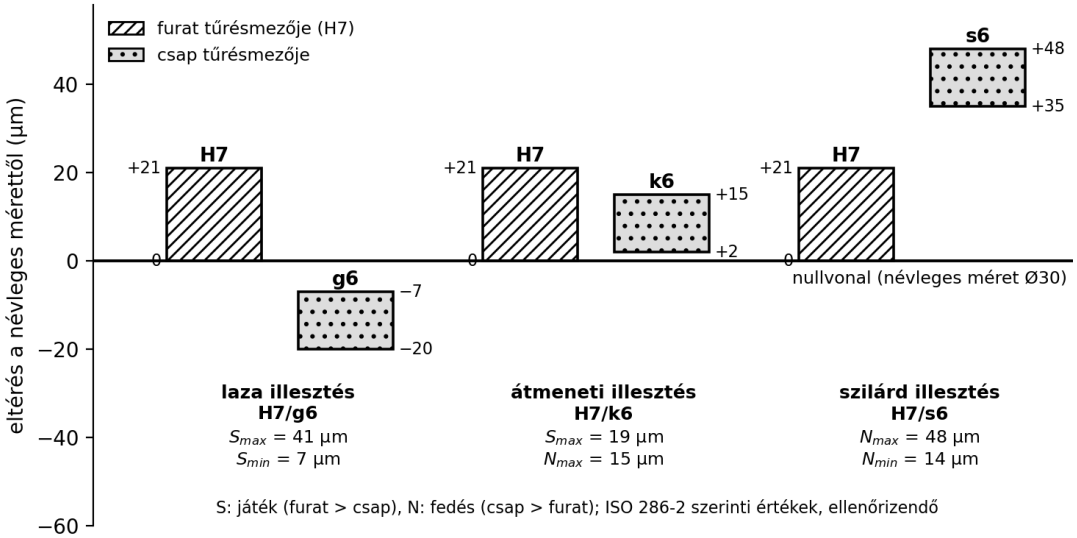
- **Furatoldali betűk:** A…H (alaplyuk felé), J…ZC (jellemzően fedés irányába).
- **Csapoldali betűk:** a…h (alapcsap felé), j…zc.

Szabály.
Alaplyuk-rendszerben a furat tűrésmezője mindig `H` (alsó határméret egyenlő a névleges mérettel, EI = 0), a csap tűrésmezője változik. **Alapcsap-rendszerben** a csap tűrése `h` (felső határméret egyenlő a névleges mérettel, es = 0), és a furat tűrésmezőjét választjuk meg. A járműiparban általában az **alaplyuk-rendszer** terjedt el, mert a furatszerszámokat nehezebb cserélni.

Illesztési fajták:

- **Laza illesztés:** mindig játék van a furat és csap között, pl. `H7/g6` (forgó csapágy, dugattyúcsapszeg perselyben).
- **Átmeneti illesztés:** vagy kis játék, vagy kis fedés van, pl. `H7/k6` (fogaskerék agya, görgőscsapágy-ház).
- **Szilárd illesztés:** mindig fedés van, azaz a csap nagyobb a furatnál, pl. `H7/s6` (sajtolt persely, fogaskerék tengelyre).

Az illesztés fajtáját a tűrésmezők egymáshoz viszonyított helyzete dönti el. Az alábbi ábra Ø30 mm-en a H7 furatmezőt és három csapmezőt mutat (ISO 286 szerinti értékek, ellenőrizendő): a g6 mező a furatmező alatt van (mindig játék, 7…41 µm), a k6 átfedi a furatmezőt (legfeljebb 19 µm játék vagy 15 µm fedés), az s6 a furatmező fölött van (mindig fedés, 14…48 µm). A HTML-kiadás kalkulátorában a névleges méret és a csapmező választható; mérési módban a mért furat- és csapméretből a tényleges játékot vagy fedést és a tűrésmezőbe esést számolja.



4.8. ábra. Tűrésmezők helyzete és az illesztés fajtája (alaplyuk-rendszer, Ø30)

Összefüggés.
Az illesztés megnevezéséhez a furat és a csap tűrésmezőjét adjuk meg, pl. `Ø30 H7/g6`. A tűrésmező értékei táblázatból olvashatók ki: a furatnál `ES` (felső eltérés) és `EI` (alsó eltérés), a csapnál `es` (felső eltérés) és `ei` (alsó eltérés) mikrométerben.

4.3.7. Alak- és helyzettűrések röviden

A **mérettűrés** mellett a járműalkatrészeknél fontos az **alak- és helyzettűrés**, amely a felület geometriai alakját, illetve egymáshoz viszonyított helyzetét korlátozza. A rajz ezeket keretbe foglalt szimbólummal adja meg, pl.:

Tűrés	Jel (ISO 1101, ellenőrizendő)
egyenesség	—
síklapúság	▱

Tűrés	Jel (ISO 1101, ellenőrizendő)
körkörösség	○
hengeresség	
párhuzamosság	∥
merőlegesség	⊥
(radiális/axiális) ütés	↗
teljes ütés	
szimmetria	

Például a hengerfuratnál hengerességi tűrés, a csapágynál radiális ütés, a fogaskeréknél párhuzamosság szerepelhet. A tűrésérték általában kisebb, mint a mérettűrés. (Az alak- és helyzettűrések ellenőrzésének mérőeszközeit a Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek alfejezet mutatja be.)

4.3.8. Kidolgozott példák

Példa 1 – Laza illesztés játéka.
Adott egy `Ø30 H7/g6` illesztés. A táblázatból (ellenőrizendő ISO 286 szerint):
- furat `H7`: ES $= +21\,\mu$m, EI $= 0\,\mu$m $\rightarrow$ $D_{\max} = 30{,}021$ mm, $D_{\min} = 30{,}000$ mm.
- csap `g6`: es $= -7\,\mu$m, ei $= -20\,\mu$m $\rightarrow$ $d_{\max} = 29{,}993$ mm, $d_{\min} = 29{,}980$ mm.

Számolás:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 30{,}021 - 29{,}980 = 0{,}041\,\text{mm} = 41\,\mu\text{m}$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 30{,}000 - 29{,}993 = 0{,}007\,\text{mm} = 7\,\mu\text{m}$$

Ez tehát **laza illesztés**, a játék 7…41 µm, alkalmas forgó csapágyazásra. ∎

Példa 2 – Szilárd illesztés fedése. Adott `Ø20 H7/s6` illesztés. Táblázatból (ISO 286-2, ellenőrizendő): - `H7` furat: ES $= +21\,\mu$m, EI $= 0$ $\rightarrow$ $D_{\max} = 20{,}021$ mm, $D_{\min} = 20{,}000$ mm. - `s6` csap: es $= +48\,\mu$m, ei $= +35\,\mu$m $\rightarrow$ $d_{\max} = 20{,}048$ mm, $d_{\min} = 20{,}035$ mm.

Tehát:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 20{,}048 - 20{,}000 = 0{,}048\,\text{mm}$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 20{,}035 - 20{,}021 = 0{,}014\,\text{mm}$$

A fedés 14…48 µm, tehát **szilárd illesztés**, sajtolással (szükség esetén a furat melegítésével) szerelhető. ∎

Ellenőrzés.
Mindkét példában a játék/fedés pozitív, és a határok értelmesek (tizedmilliméter alatti tűrések). A mértékegységet mindig µm vagy mm formában adjuk meg konzisztensen.

4.3.9. Táblázat: Gyakori illesztések járműipari alkatrészeknél

Alkatrész / méret	Tűrésjelölés	Illesztés jellege	Jellemző játék/fedés (µm)	Felhasználás
Főtengelycsap – csapágy	Ø50 H7/g6	laza	9–50	forgó csapágy, filmkenés
Dugattyúcsapszeg – kis hajtókarszem (példa)	Ø20 H7/k6	átmeneti	legfeljebb 19 játék vagy 15 fedés	csapszeg rögzítés
Kerékcsapágy belső gyűrű – tengely	tengely Ø40 k6 (a csapágyfurat tűrése gyártói, nem H7)	enyhe fedés	kb. 2–30 fedés (ellenőrizendő)	könnyű sajtolás
Sajtolt persely – ház	Ø25 H7/s6	szilárd	14–48 fedés	besajtolt persely, nem mozdul
Hengerfurat – dugattyú (hideg)	nem ISO-illesztés, gyártói beépítési játék	laza	gyártói adat szerint (pl. 20–50 játék, ellenőrizendő)	hőtágulás miatti játék

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói tervrajz és ISO-táblázat).

4.3.10. Minőségellenőrzés

A rajz alapján az ellenőrzéshez a következőket kell megállapítani:

- **Mérőeszköz választása:** a tűrés nagyságához illő pontosságú mérőeszközt használjunk; pl. 0,01 mm-es tolómérő a század milliméteres pontossághoz, 0,01 vagy 0,001 mm felbontású mikrométer (furatnál furatmikrométer) a mikrométeres tűrések ellenőrzéséhez.

- **Illesztés számítása:** a mért furat- és csapméretekből meghatározzuk a tényleges játékot vagy fedést, és összehasonlítjuk a rajzon előírt tűréssel.

- **Felületi érdesség:** megmunkálás után műszeres (profilométer) vagy összehasonlító idomszerrel ellenőrizzük; a járműjavításban a felület szemrevételezése és az előírt Ra betartása fontos.

- **Alak- és helyzettűrés:** csapnál ütésmérővel, furatnál idomszerrel, párhuzamosságnál indikátorral. A javítási gyakorlatban a tűréshatárok betartását a gyártói javítási adatok tartalmazzák.

4.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Zajos kerékcsapágy miatt bevizsgált jármű. A kerékagy csapágyfészkének rajz szerinti furata Ø72 H7, ISO 286 szerint 72,000 ... 72,030 mm (a H7 értéke e méretsávban +30 µm; ellenőrizendő: gyártói adat). A csapágy külső gyűrűjének mért átmérője 71,990 mm, a fészek mért furata 72,042 mm (példaértékek). A tényleges játék $72{,}042 - 71{,}990 = 0{,}052$ mm, és a furat 12 μm-rel nagyobb a felső határméretnél, tehát tűrésen kívüli, kopott fészek. A gyűrű a fészekben elfordulhat, ezért a javítás a kerékagy cseréje vagy gyártó által engedélyezett javítóhüvely, és új

csapágy. A tanulság: a mért méretet a tűrésmezőhöz kell hasonlítani, és a tényleges játékot a mért furat és a mért gyűrű különbségéből kell számolni.

4.3.12. Tipikus hibák

1. **Méretlánc túlzott halmozása.** A láncszerű méretmegadásnál a részméretek tűrései összeadódnak, ezért a teljes hossz bizonytalanná válik. Helyes gyakorlat: bázistól induló méretmegadás vagy zárt méretlánc elkerülése.

2. **Játék és fedés előjelének félreértése.** Az illesztés számításánál a csap alsó és felső tűrését tévesen adják össze. Mindig az adott tűrésmező határméreteivel dolgozzunk, mértékegységben.

3. **Ra és Rz összekeverése.** `Ra` átlag, `Rz` maximális magasság, így azonos felületre `Rz` gyakran nagyobb, mint `Ra`. Ha a rajz Ra 0,8, nem Rz 0,8-at kell mérni.

4. **Nem megfelelő mérőeszköz.** Tizedmilliméteres tűrésnél nem elég a mérőszalag vagy a 0,1 mm-es tolómérő; µm-es tűréshez (pl. H7/g6) a tolómérő sem alkalmas, mikrométer vagy furatmikrométer kell.

4.3.13. Önellenőrzés

1. Mit jelent az `Ø30 H7/g6` illesztésben a `H7` és a `g6`?

2. Hogyan számítod ki egy illesztés legnagyobb játékát?

3. Mi a különbség `Ra` és `Rz` között?

4. Miért előnyös a bázistól induló méretmegadás?

5. Határozd meg, hogy az `Ø25 H7/s6` illesztés milyen jellegű, ha a furat 25,000…25,021, a csap 25,035…25,048 mm.

6. Milyen mérőeszközt választanál egy Ra 0,4 µm-es érdesség ellenőrzéséhez a műhelyben?

4.3.14. Feladatok

1. feladat (A)
Írd le, mi a különbség a láncszerű és a bázistól induló méretmegadás között, és mi a hátránya a láncszerűnek.

2. feladat (A)
Egy furat mérete `Ø40 H7` (felső eltérés `+25 µm`, alsó `0`), a csapé `Ø40 g6` (felső eltérés $-9\,\mu$m, alsó $-25\,\mu$m). Számítsd ki a legnagyobb és legkisebb játékot.

3. feladat (B)
Egy tengely mérete `Ø20 s6` (felső eltérés `+48 µm`, alsó `+35 µm`), a furat `Ø20 H7` (felső eltérés `+21 µm`, alsó `0`). Számítsd ki a legnagyobb és legkisebb fedést, és mondd meg, milyen illesztésről van szó.

4. feladat (B)
Egy dugattyúcsapszeg 20 mm névleges átmérőjű, a furat tűrése `H7`, a csapé `k6`. A táblázat szerint (ISO 286-2, ellenőrizendő) a `k6` csap eltérése `+2/+15` µm. Határozd meg, hogy ez átmeneti illesztést ad-e, és számítsd ki az esetleges játékot/fedést.

5. feladat (C)
Rajzolj fel egy mérethálózatot (szövegesen) egy lépcsős tengelyre, ahol a teljes hossz 120 mm, az első lépcső 80 mm, a második 40 mm. Elemezd, hogy láncszerű megadásnál mi a hiba lehetősége, ha mindkét részméret tűrése ±0,2 mm.

6. feladat (D) Egy kerékagy csapágyfészkének rajz szerinti furata `Ø72 H7` (határai 72,000…72,030 mm, ellenőrizendő), a csapágy külső gyűrűje mért átmérője 71,990 mm, a fészek mért furata 72,042 mm. Számold ki a tényleges játékot, döntsd el, hogy a furat a tűrésmezőn belül van-e, és hogy a fészek javítást igényel-e.

4.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. `H7` a furat tűrését jelöli: `H` az alaplyuk eltérése (alsó határméret = névleges), `7` a tűrésfokozat. `g6` a csap tűrése: `g` alapeltérés, `6` tűrésfokozat.

2. $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$, ahol $D_{\max}$ a furat legnagyobb, $d_{\min}$ a csap legkisebb megengedett mérete.

3. `Ra` a középvonali átlagérdesség, `Rz` a maximális profil magasság; azonos felületen `Rz` általában nagyobb, mint `Ra`.

4. Mert a hibák nem halmozódnak fel, minden méret a bázistól mérhető, így a tűrések egymástól függetlenek maradnak.

5. Szilárd illesztés, mert minden fedés pozitív: $N_{\max} = 25{,}048 - 25{,}000 = 0{,}048$, $N_{\min} = 25{,}035 - 25{,}021 = 0{,}014$ mm.

6. Profilométer vagy összehasonlító etalon; a műhelyben gyakran érdességi etalonlapot használunk.

1. feladat megoldása:
Láncszerűnél az egyik méret a másiktól indul; bázistól indulónál minden méret közös kiindulóponttól mérve. A láncszerű hátránya, hogy a részméretek tűrései összeadódnak, ezért a teljes hossz bizonytalanabb.

2. feladat megoldása:
$D_{\max} = 40{,}025$ mm, $D_{\min} = 40{,}000$; $d_{\max} = 39{,}991$ mm, $d_{\min} = 39{,}975$ mm.
$S_{\max} = 40{,}025 - 39{,}975 = 0{,}050$ mm; $S_{\min} = 40{,}000 - 39{,}991 = 0{,}009$ mm.

3. feladat megoldása:
$D_{\max} = 20{,}021$, $D_{\min} = 20{,}000$; $d_{\max} = 20{,}048$, $d_{\min} = 20{,}035$.
$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 20{,}048 - 20{,}000 = 0{,}048$ mm; $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 20{,}035 - 20{,}021 = 0{,}014$ mm. Szilárd illesztés.

4. feladat megoldása:
Furat `H7` → `0/+21 µm`; csap `k6` → `+2/+15 µm`.
$D_{\max} = 20{,}021$, $D_{\min} = 20{,}000$; $d_{\max} = 20{,}015$, $d_{\min} = 20{,}002$.

Lehet játék: ha csap a legkisebb és furat a legnagyobb → $S_{\max} = 20{,}021 - 20{,}002 = 0{,}019$ mm. Lehet fedés: ha csap a legnagyobb és furat a legkisebb → $N_{\max} = 20{,}015 - 20{,}000 = 0{,}015$ mm. Tehát átmeneti illesztés.

5. feladat megoldása:
Láncszerű megadásnál `120` mm teljes hosszt két részből (`80` + `40`) kapjuk. Ha az első tűrése ±0,2, a másodiké ±0,2, a teljes hossz tűrése a legkedvezőtlenebb esetben ±0,4 mm lesz, mert a hibák összeadódnak. Bázistól induló megadásnál a `80` és a `120` méretet külön-külön adjuk meg (mindkettő ±0,2), ezért ezek pontosak maradnak, de a köztük adódó `40` mm-es szakasz eltérése legfeljebb ±0,4 mm lesz – az adódó méretre halmozódik a hiba. Ezért a funkcionálisan fontos méretet kell közvetlenül megadni.

6. feladat megoldása: A tényleges játék a mért méretekből: $72{,}042 - 71{,}990 = 0{,}052$ mm. A furat 72,042 mm nagyobb a `H7` felső határméreténél (72,030 mm), tehát `12` µm-rel tűrésen kívüli. A fészek kopott, a gyűrű elfordulhat, ezért a kerékagyat (vagy a gyártó által engedélyezett javítóhüvellyel a fészket) javítani kell, a csapágyat cserélni. A döntéshez mindig a gyártói előírás a mérvadó.

4.3.16. Rövid összefoglaló

A méretmegadás a géprajz nyelvén közli az alkatrész geometriáját: méretvonal, méretsegédvonal, méretszám, átmérő- és sugárjel. Láncszerű, bázistól induló és táblázatos megadást ismerünk; a kúposság ($C = (D - d)/L$) és lejtés ($m = h/l$) a ferde felületek jellemzője. A felületi érdességet `Ra` (átlag) és `Rz` (maximális profil) paraméterrel adjuk meg, a jelölés az ISO 1302 szerint történik (ellenőrizendő). Az ISO-tűrésrendszer betűből (alapeltérés) és számból (tűrésfokozat) áll, pl. `H7`, `g6`; alaplyuk-rendszerben a furat `H`, alapcsap-rendszerben a csap `h`. Az illesztés lehet laza (játék), átmeneti (játék vagy fedés), szilárd (fedés); a játék/fedés a határméretekből számítható. Az alak- és helyzettűrések röviden: egyenesség, síklapúság, körkörösség, hengeresség, párhuzamosság, merőlegesség, ütés. **Továbbvitt eredmény:** A tűrések, illesztések és érdességjelek olvasását, valamint a játék/fedés számítását közvetlenül használjuk a Jelképes ábrázolások: menetek, fogazatok, csapágyak, rugók, kötések alfejezetben a csapágy- és kötésjelöléseknél, valamint a Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek alfejezetben a gyakorlati mérési eljárásoknál.

4.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: géprajzi szabványok (ISO 128, ISO 129 – méretmegadás), ISO 286 (tűrések és illesztések), ISO 4287/ISO 1302 (felületi érdesség), gyártói tervrajzok és javítási útmutatók, műszaki rajz tankönyvek.

Ellenőrizendő állítások: a táblázatban megadott tűrésértékek (H7, g6, s6, k6 stb.) a névleges mérethez tartozó pontos eltérések; a felületi érdességre adott járműipari példaértékek; az ISO szabványok aktuális kiadása; az illesztett járműalkatrészekre vonatkozó konkrét gyártói tűrések. A tankönyvi példákban a tűréshatárok a megértést szolgálják, tényleges gyártói/szabványértéket mindig a mindenkori táblázatból kell kikeresni.

4.4. Jelképes ábrázolások: menetek, fogazatok, csapágyak, rugók, kötések

4.4.1. Motiváció

Javítási kézikönyvben vagy internetes katalógusban egy menetes alkatrészt keresel. A rajzon nem a csavar fényképe, hanem egyszerűsített, szabványos jelölés látható: vastag és vékony vonalak, pontvonalak, körök, nyílszimbólumok. Ha a jelet félreérted – például finommenetet hagyományosnak, balmenetet jobbmenetnek olvasod –, rossz alkatrészt rendelsz, a szerelés elakad, vagy a csavarkötés meghibásodik. Ugyanez igaz a csapágyakra, fogaskerekekre, rugókra és a hegesztési varratokra is: a rajz a gyártó és a szerelő közötti **egyértelmű nyelv**.

Ebben az alfejezetben megtanulod felismerni a gépészeti rajzon használt jelképes ábrázolásokat, leolvasni a méreteket, és értelmezni a javítási kézikönyv összeállítási rajzait, robbantott ábráit.

4.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy gépészeti rajzot, amelyen egy tengely vége látható. A tengely egyik szakaszán csavarmenet van: a tengelyvonal felett **vastag folytonos vonal** jelöli a menet külső átmérőjét (a csúcsok átmérőjét), közvetlenül alatta pedig **vékony folytonos vonal** fut a menet magátmérőjének (a menetárok aljának) megfelelő hosszúságban. A tengely végén az elölnézetben egy kör látható: a külső kör vastag, a belső kör vékony, és a belső kör körülbelül **háromnegyed körívet** alkot – ez a menet elölnézeti szimbóluma. A rajz mellett a felirat: `M10×1,25-6g` (ellenőrizendő: ISO 965-1, ISO 6410). Ez azt jelenti: metrikus finommenet, 10 mm névleges átmérő, 1,25 mm menetemelkedés, 6g tűrésosztály (külső menet); a menethossz (pl. 20 mm) a rajzon külön méret. Ha a jelölésben `LH` szerepel, a menet **balmenet**.

Ez a kép jól mutatja a jelképes ábrázolás lényegét: nem a valóságos csavarvonalat rajzoljuk ki, hanem a szerkezeti jellemzőket kiemelő, szabványos jeleket.

4.4.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A jelképes ábrázolás olyan rajztechnikai módszer, amely a valós gépelem bonyolult, apró részleteit (menetek, fogazatok, csapágygolyók, rugómenetek) a műszaki rajzszabványok szerint egyszerűsített, megegyezéses jelekkel helyettesíti. A cél a rajz olvashatóságának megőrzése és az alkatrész funkciójának kiemelése.

Szabály. A jelképes ábrázolás nem a valóságos alkatrész fotórealisztikus rajza, hanem egy megegyezés szerinti nyelv. A rajzjeleket nem a rajzoló hangulatától függően, hanem a vonatkozó szabványok (például az MSZ EN ISO 6410 menetekre, az MSZ EN ISO 2203 fogaskerekekre, az MSZ EN ISO 2553 hegesztési varratokra – ellenőrizendő: pontos szabványszámok) szerint kell értelmezni.

Összefüggés. A rajzon megadott méret vagy jelölés akkor bírálható el, ha ismerjük a jelölést alkotó elemek jelentését. Például egy metrikus menet jelölésében: - `M` = metrikus ISO-menetes (metrikus normál menet) - `10` = névleges átmérő (a menet külső átmérője) milliméterben - `×1,25` = menetemelkedés milliméterben (csak finommenetnél; normál menetnél elhagyható) - `LH` = balmenet (left hand) – ha nincs megadva, a menet jobbmenet - a kötőjel utáni jel (pl. `6g` külső, `6H` belső menetnél) a tűrésosztály; a menethosszt külön méretként adjuk meg.

Megjegyzés. A csavar megnevezésében (pl. „hatlapfejű csavar M10 × 40”) a × utáni szám a csavar hossza, a menetjelölésben (M10 × 1,25) a menetemelkedés – a környezetből kell eldönteni.

Továbbvitt eredmény. A menetek, fogazatok, csapágyak és varratok jelképes ábrázolásának ismeretét használjuk a Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása alfejezetben a kapcsolási rajzok értelmezésekor, valamint a Kötőgépelemek: csavarok, szegecsek, csapszegek, reteszek és biztosítások alfejezetben a tényleges csavarkötések és biztosítások kiválasztásakor.

4.4.4. Csavarmenetek ábrázolása és méretmegadása

A csavarmenet a gépjárművekben az egyik leggyakoribb kötőelem. A rajzokon a menet valódi csavarvonalát **nem rajzoljuk meg**, mert az túlságosan sűrű, apró vonalakat eredményezne. Helyette a következő szabályokat alkalmazzuk:

Szabály. Menetes orsón (külső menet) a menet csúcsától mért külső átmérőt **vastag folytonos vonallal**, a menetárok aljának megfelelő magátmérőt **vékony folytonos vonallal** rajzoljuk. A menet végét a tengely teljes metszeténél **vastag, a tengelyre merőleges vonallal** jelöljük. Elölnézetben a magátmérő köre vékony, és általában **háromnegyed kör**. A menetes furat (belső menet) metszetben a külső átmérőt vékony, a magátmérőt vastag vonallal jelöljük; elölnézetben a helyzet fordított: a külső átmérő vékony kör, a magátmérő vastag kör (ellenőrizendő: a vonatkozó szabvány pontos előírása).

Példa. `M8` normál metrikus menetet jelöl, a menetemelkedés nincs kiírva, mert a szabvány szerinti normál menetemelkedés tartozik hozzá (például M8-nál 1,25 mm – ellenőrizendő a szabvány táblázatából). `M8×1` finommenet, ahol a menetemelkedés 1 mm. `M8×1 LH` balmenet.

A méretmegadás gyakorlati alakja: a menet külső átmérője elé az `M` betűt írjuk, majd a menetemelkedést, ha szükséges, és a menethosszt külön méretként adjuk meg. A rajzon a menethosszt a menet végét jelölő vonaltól mérik.

Hatlapfejű csavar és anya. A hatlapfejű csavar (például `M10×40` – hossz 40 mm) rajzán a fej hatszögét egyszerűsítve ábrázoljuk: oldalnézetben a fej kontúrja két-két párhuzamos, ferde él, elölnézetben szabályos hatszög, benne a letörés körével. Az anya hasonlóan jelenik meg, de nem rendelkezik szárral. A csavar teljes hosszát a fej alsó síkjától a szár végéig mérik.

Menetes furatok. A menetes furat metszetén a furat mélységét a fúrt rész és a menetes rész külön-külön jelzik. A menetes rész hosszát a menet jeléhez tartozó méret mutatja, a fúrt rész végét a fúró csúcsának megfelelő kúpos végét vastag vonallal rajzolják. Az átmenő menetes furat esetén a furat mindkét nyílása látható.

4.4.5. Fogazatok és fogazott alkatrészek ábrázolása

A fogaskerekek, fogaslécek és csigahajtások fogainak profilját a műszaki rajzokon nem rajzoljuk meg fogról fogra, mert az túl aprólékos lenne. Ehelyett a fogak jelentős köreit jelképes vonalakkal adjuk meg.

Szabály. Homlok fogaskeréken a fejkört (a fogak csúcsai által meghatározott kört) **vastag folytonos vonallal**, az osztókört (a fogak elméleti középvonala) **vékony pontvonallal**, a lábkört **vékony folytonos vonallal** ábrázoljuk. A fogprofilokat nem rajzoljuk meg a teljes kerületen. A fogazat jelölésére gyakran a fogas koszorú annyi részét mutatják, amennyi a profil azonosításához szükséges (pl. 1–2 fog).

Összefüggés. A fogaskerék legfontosabb mérete a **modul** m, amely a fogak nagyságát jellemzi. A modul, a fogszám z és az osztókör átmérője d közötti kapcsolat:

$$d = m \cdot z \quad \text{(mm)}.$$

A kapcsolódó fogaskerekek modulja mindig azonos, különben a hajtás nem működne.

Kinematikai rajzjelek. A kinematikai vázlatokon (olyan egyszerűsített rajzokon, amelyek csak a mozgásátvitel lényegét mutatják) a fogaskerekeket gyakran **két párhuzamos vonal** jelzi a kerék helyén; a hajtó és hajtott fogaskerék kapcsolódását a két egyenes érintkezésével, vagy egy kis téglalappal ábrázolják. A homlok-, kúp- és csigahajtásokat eltérő szimbólumokkal különböztetik meg (például kúpkeréknél a jelek ferde vonalakkal találkoznak, csigahajtásnál egy csiga és egy kerék jelét kombinálják – ellenőrizendő: a pontos kinematikai rajzjelek a vonatkozó szabványban).

Fogasléc. A fogasléc fogazatát oldalnézetben a fogak profilját több fogon kirajzolva mutatják, a fogakat a kapcsolódó fogaskerék fogainak megfelelően ábrázolják. Fogaslécnél az osztóvonal egyenes.

4.4.6. Bordás tengelykötések, csapágyak és rugók egyszerűsített ábrázolása

Bordás tengelykötés. A bordás (hornyolt) tengelykötés a nyomatékátvitelt szolgálja. A rajzokon a bordákat a tengely hosszmetszetén **párhuzamos vonalak** jelzik, az elölnézetben a bordák szimmetrikus elrendezésű, rövid vastag vonalak. A bordák számát, átmérőjét és illesztését táblázatban vagy feliratban adják meg, például `6×23×26` (6 borda, belső átmérő 23 mm, külső átmérő 26 mm – ellenőrizendő: a pontos méretmegadási forma).

Csapágyak. A gördülőcsapágy rajzjelén a csapágygyűrűket **körök** jelölik. Egysoros golyóscsapágy elölnézetben: egy külső vastag kör, egy belső vastag kör, és a kettő között egy **kis kör** (a golyó). A metszeti rajzon a golyók körlapjai látszanak a futópályák között. A kúpgörgős csapágy rajzjelén a görgők ferde vonalakkal jelöltek. A csapágy méretjelölését (pl. `6204`, `6305`) a csapágygyártó katalógusa szerint kell értelmezni (ellenőrizendő a tényleges csapágykatalógus adatainak használata).

Rugók. A nyomó csavarrugó rajzán a rugó meneteit **egy-két menet** jelképezi, a többi menetet csak a szélső kontúrral és a menetemelkedésre utaló vonallal egészítik ki. A méretmegadás tartalmazza a huzalátmérőt, a belső vagy külső átmérőt, a terheletlen hosszt L_0, a menetszámot, és a rugókarakterisztika szempontjából fontos rugóállandót. Húzórugónál a végek kampóit, torziós rugónál a karokat rajzolják jelképesen. A laprugó oldalnézetben egy íves lemez, a spirálrugó elölnézetben spirálvonalakkal jelölhető.

4.4.7. Hegesztési és forrasztási varratok jelölése

A hegesztett kötések rajzain a varratok valódi alakját elvileg nem kell kirajzolni, hanem a szabványos **nyílszimbólummal** adjuk meg. A nyíl a varrat helyére mutat, és a jelölés tartalmazza a varrat típusát, méretét és hosszát.

Szabály. A hegesztési varrat jelölésénél egy nyíl mutat a varrat vonalára, a nyílvonal mellett egy – a varrat típusát jelző – **ábra** látható. Például a tompavarratok jele a varrat keresztmetszetére utal (I, V, Y, U alak); a sarokvarrat jele egy kis derékszögű háromszög. A nyílvonal végén a zászló a helyszíni varratot, a kör a körülvarrást jelenti. A sarokvarrat méreteként az **a** a varratvastagságot (a beírható háromszög magasságát), a **z** a szárhosszt jelöli ($z \approx 1{,}41\,a$); utána a varrat hosszát adják meg (ellenőrizendő: ISO 2553). A varrat helyzetét (pl. folyamatos, szaggatott, körülvarrt) külön jelölés mutatja.

Forrasztott kötések esetén hasonló nyílszimbólumot használnak, de a varratot a forraszanyag jelenléte miatt gyakran **vékony vonallal** és a nyíl mellett a forraszanyag jelölésével (pl. `Sn-Pb`) tüntetik fel (ellenőrizendő: a pontos jelölés a vonatkozó szabvány szerint).

Táblázat a leggyakoribb jelképes ábrázolások áttekintéséhez:

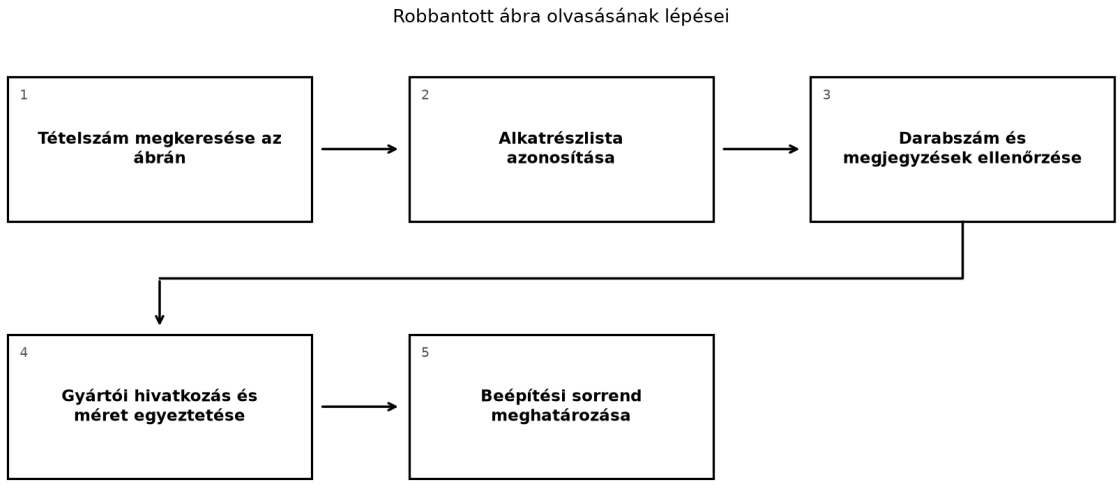
Alkatrész	Jelképes ábrázolás (szöveges leírás)	Jellemző méretmegadás	Megjegyzés
Külső menet	Vastag és vékony folytonos vonal; elölnézetben 3/4 kör	M10, M12×1,25, LH	Normál menetnél az emelkedés elmarad
Belső menet	Metszetben vastag/vékony vonal felcserélve az orsóhoz képest	M8, M10×1	Furathossz és menethossz külön
Homlok fogaskerék	Fejköre vastag, osztóköre pontvonal, lábköre vékony	m, z, d	Kapcsolódó modul azonos
Gördülő-csapágy	Körök; metszetben golyók; kúpgörgősnél ferde vonal	6204, 6305 stb.	Gyártói katalógus jelölése
Nyomó rugó	Egy-két menet; L_0, huzalátmérő, menetszám	d, D, n, c	Rugóállandó jellemző
Hegesztett varrat	Nyílszimbólum; tompa- és sarokvarrat jele	a, l, varrattípus	MSZ EN ISO 2553 szerint

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

4.4.8. Összeállítási rajz és robbantott ábra olvasása

A javítási kézikönyvek gyakran használnak **összeállítási rajzot** (a szerkezet összeszerelt állapotát metszetben vagy vetületben) és **robbantott ábrát** (robbantott, széthúzott nézet, ahol az alkatrészek a beépítési sorrendben elkülönülnek). E rajzok értelmezése a szerelő számára napi feladat.

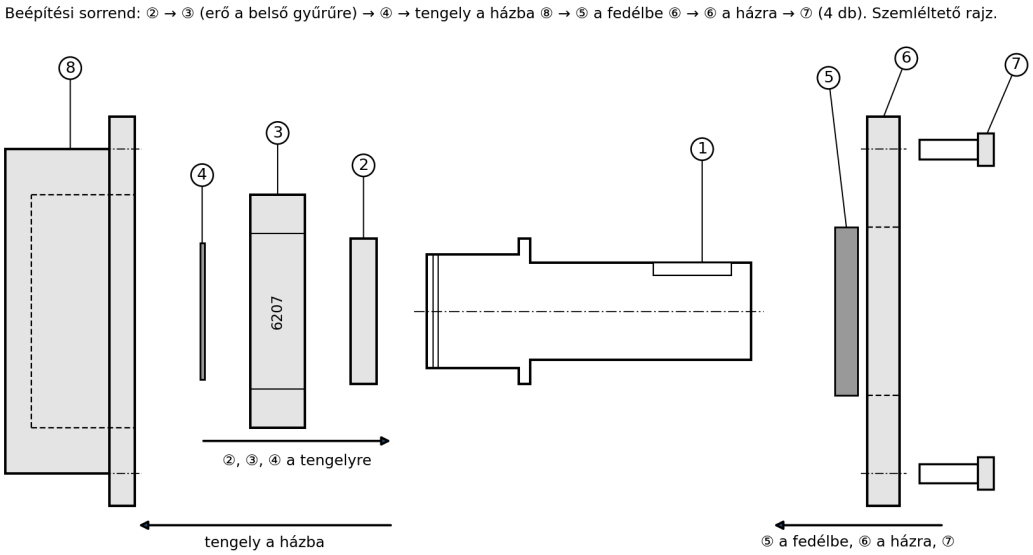
Ábra. Az alábbi folyamatábra a robbantott ábra olvasásának lépéseit szemlélteti.



4.9. ábra. Robbantott ábra olvasásának lépései - Tanulási segédlet a javítási kézikönyv robbantott ábrájának értelmezéséhez.

Az ábra lépései: először az ábrán található tételszámot (gyakran egy bekarikázott szám) keressük meg, majd az összeállítási rajzhoz tartozó alkatrészlistában azonosítjuk az alkatrészt. A lista tartalmazza a darabszámot és a megjegyzéseket (pl. „csak egyszer használatos”). Ezután a gyártói hivatkozást (cikkszámot) és a méreteket egyeztetjük a konkrét jármű adataival. Végül a robbantott ábra alapján meghatározzuk a szét- és összeszerelés sorrendjét.

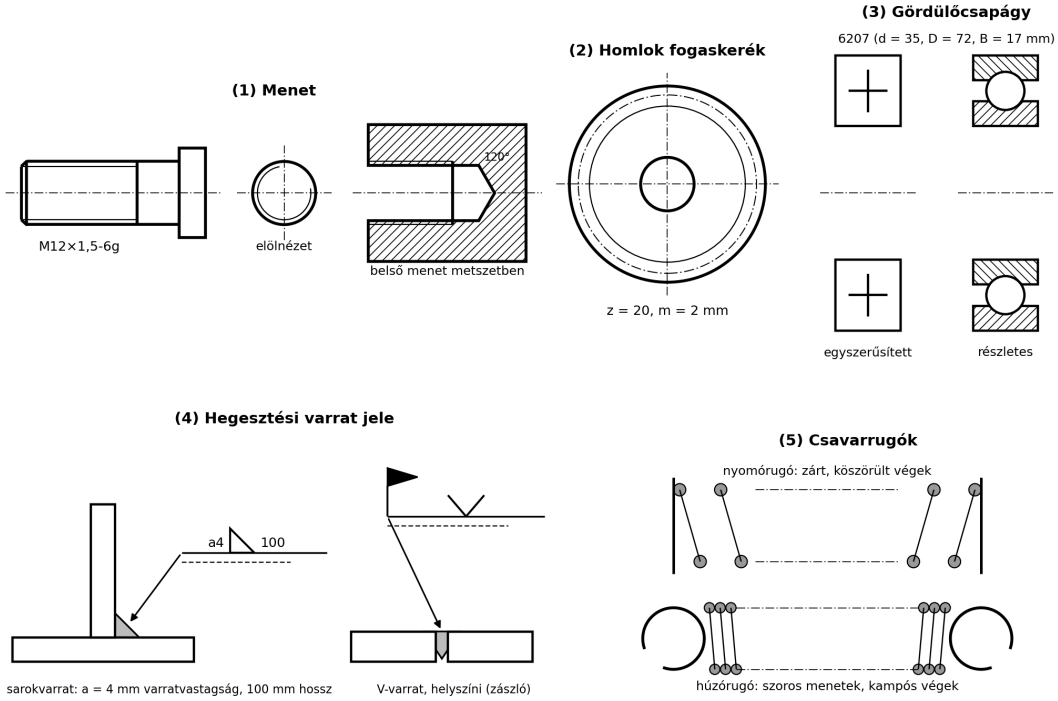
Az alábbi ábra egy csapágyazott tengely robbantott rajzát mutatja nyolc bekarikázott tételszámmal és a hozzá tartozó darabjegyzékkel. A beépítési sorrend: ② távtartó gyűrű, ③ a 6207 csapágy egy egységként (a sajtolóerő a belső gyűrűre hat), ④ rögzítőgyűrű, majd a tengely a ⑧ házba, ⑤ a tömítőgyűrű a ⑥ fedélbe, a fedél a házra, végül a ⑦ csavarok. A HTML-kiadásban az összeszerelés lépésenként lejátszható, és a darabjegyzék gombjaira mutatva a tétel kiemelődik.



Tétel	Megnevezés	Db	Anyag / szabvány
1	tengely	1	C45 (szemléltető)
2	távtartó gyűrű	1	acél
3	mélyhornyú golyóscsapágy 6207	1	katalógus szerint
4	rögzítőgyűrű (Seeger) 35	1	DIN 471 (ellenőrizendő)
5	tömítőgyűrű 30×52×7	1	NBR / FKM
6	fedél	1	öntöttvas
7	csavar M6×20	4	8.8
8	ház	1	öntöttvas

4.10. ábra. Csapágyazott tengely robbantott ábrája tételszámokkal és darabjegyzékkel

A jelképes ábrázolásokat egymás mellett mutatja a következő ábra: (1) M12×1,5 külső menet oldal- és elölnézete (vékony háromnegyed kör a magátmérőn) és menetes zsákfurat metszete; (2) homlok fogaskerék $z = 20$, $m = 2\,\text{mm}$ fej-, osztó- és lábkörrel (Ø44, Ø40, Ø35); (3) 6207 golyóscsapágy egyszerűsített és részletes metszete; (4) sarokvarrat jele („a4”, 100 mm) és helyszíni V-varrat jele zászlóval; (5) nyomó- és húzórugó egyszerűsített rajza. A HTML-kiadásban panelenként válthatunk a valódi alak és a jelképes ábrázolás között, és a vonalakra mutatva megjelenik a jelentésük.



Vastag folytonos: látható él, fejkör, menet külső átmérője (orsón); vékony: magátmérő, lábkör; vékony pontvonal: osztókör, tengely. Jelölések: ISO 6410, 2203, 8826, 2553, 2162 (ellenőrizendő).

4.11. ábra. Jelképes ábrázolások áttekintése (menet, fogaskerék, csapágy, varrat, rugó)

4.4.9. Kidolgozott példák

1. példa – Menetméret leolvasása. Egy csavar rajzán szerepel: `M12×1,5-6g`, mellette a menethossz külön méretként: 30 mm. Keresett: a menet jellemzői. Megoldás: `M12` metrikus menet, névleges átmérő 12 mm; `×1,5` menetemelkedés 1,5 mm, tehát finommenet; `6g` a külső menet tűrésosztálya; a `30` a rajzon külön megadott menethossz milliméterben. Ha a jelölésben `LH` is szerepelne, balmenet lenne.

2. példa – Fogaskerék méretezése. Adott: fogaskerék fogszáma $z = 20$, modul $m = 2\,\text{mm}$. Keresett: az osztókör átmérője d. Összefüggés: $d = m \cdot z$. Behelyettesítés: $d = 2\,\text{mm} \cdot 20 = 40\,\text{mm}$. Az eredményt ellenőrizzük: 40 mm reális osztókör-átmérő egy 20 fogú, 2 mm modulú fogaskerékhez. A fejkör jellemzően az osztókörtől kb. m-mel nagyobb sugárral van kint, tehát a fejkör átmérője körülbelül 44 mm (ellenőrizendő: a pontos fejmódosulat a szabványos fogprofil szerint).

4.4.10. Minőségellenőrzés

A rajz olvasásakor ellenőrizni kell:

- a menet típusát (metrikus, finom, balmenet) és méreteit;
- a fogaskerekek modulját és fogszámát; kapcsolódó elemeknél a modul azonosságát;
- a csapágy jelölését a gyártói katalógussal egyezően;
- a rugók terheletlen hosszát, átmérőit és menetszámát;
- a hegesztési varrat típusát, méretét és hosszát a rajz szerint.

Előírás. A rajzjelek értelmezésekor mindig a vonatkozó szabvány (pl. MSZ EN ISO 6410, MSZ EN ISO 2203, MSZ EN ISO 2553 – ellenőrizendő: aktuális szabványszámok) és a gyártói javítási kézikönyv adatai a mérvadók.

4.4.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelyben a szerelő féltengely csapágyat cserél. A javítási kézikönyv robbantott ábráján a csapágy tételszáma 25. Az alkatrészlista szerint a csapágy mérete `6207` (35 mm belső, 72 mm külső, 17 mm szélesség – ellenőrizendő a gyártói katalógus alapján). A szerelő a robbantott ábráról leolvassa a beépítési sorrendet (pl. távtartó gyűrű – csapágy – rögzítőgyűrű/biztosítólemez). A 6207 csapágy egy egységként kerül fel: tengelyre szereléskor a sajtolóerőt a belső gyűrűre felfekvő szerelőcsővel (vagy présen) adja át; ha házba szereli, a külső gyűrűre. A gördülőelemeken át a szerelőerőt soha nem visszük át, hogy a futópályák ne sérüljenek (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás, esetleg melegítéses szerelés). A rajzjelek ismerete nélkül a csapágy azonosítása és a szerelési sorrend is hibás lenne.

4.4.12. Tipikus hibák

1. **Balmenet és jobbmenet felcserélése.** A rajzon az `LH` jelölés hiányát figyelmen kívül hagyva a szerelő jobbmenetes alkatrészt rendel, majd nem érti, miért nem lehet becsavarni. Helyes megoldás: a menetjelölést mindig teljesen olvassuk le, és a menetirányt ellenőrizzük.
2. **A finommenet és normál menet összekeverése.** Az `M10×1,25` finommenet, de ha a szerelő normál `M10`-et (emelkedés 1,5 mm – ellenőrizendő) használ, a csavar nem illeszkedik. Helyes: a menetemelkedést mindig ellenőrizni.
3. **A fogaskerék osztókör és fejkör összetévesztése.** A rajzon az osztókört pontvonal jelöli, a fejkört vastag vonal. A modul meghatározásánál az osztókört kell használni, nem a fejkört.
4. **A hegesztési varrat méretének figyelmen kívül hagyása.** A sarokvarrat `a` mérete helyett a varrat hosszát nézik, vagy fordítva. A hibás méret a varrat teherbírását csökkenti.

4.4.13. Önellenőrzés

1. Mit jelent az `M8×1 LH` jelölés?
2. Hogyan ábrázolják a külső menetet elölnézetben?
3. Mennyi az osztókör átmérője, ha $m = 2\,\text{mm}$ és $z = 30$?
4. Mi a különbség a tompavarrat és a sarokvarrat rajzjelén?
5. Miért nem rajzolják ki a fogaskerekek minden fogprofilját a műszaki rajzon?

4.4.14. Feladatok

1. feladat (A). Írd le, mit jelent az `M12×1,25-6g` jelölés, ha a menethossz külön méretként 25 mm.

2. feladat (A). Rajzold le (szövegesen írd le) egy homlok fogaskerék jelképes ábrázolását: add meg, melyik kört melyik vonal jelöli.

3. feladat (B). Egy tengelyen `M10×1` finommenet van. A szerelő normál `M10`-es anyát próbál felcsavarni. Tegyük fel, hogy a normál `M10` menetemelkedése 1,5 mm (ellenőrizendő). Mi történik, és miért?

4. feladat (B). Egy fogaskerékpár hajtó kereke $z_1 = 25$, modul $m = 3\,\text{mm}$. A hajtott kerék fogszáma $z_2 = 75$. Számítsd ki mindkét kerék osztókör-átmérőjét, és indokold, miért lehet együttműködniük.

5. feladat (C). Egy összeállítási rajzon egy csapágy jelölése `6005`. A szerelőnek meg kell mondania, hogy ez a csapágy MEGFELEL-e egy olyan tengelyhez, amelynek csapágyülése 25 mm átmérőjű. (Tételezd fel, hogy a `6005` csapágy belső átmérője 25 mm – ellenőrizendő a katalógusban.) Mi a válasz?

6. feladat (D). Egy javítási kézikönyv robbantott ábráján két rugó szerepel: az egyik húzórugó, a másik nyomórugó. Mindkettő rajzán csak egy-két menet látható. Hogyan döntöd el, melyik melyik? (Az ábrán a végek alakja is látszik.)

4.4.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. `M8×1 LH`: metrikus finommenet, névleges átmérő 8 mm, menetemelkedés 1 mm, balmenet.
2. Külső menet elölnézetben: vastag külső kör, vékony belső kör, amely körülbelül háromnegyed kör.
3. $d = m \cdot z = 2 \cdot 30 = 60\,\text{mm}$.
4. A tompavarrat jellemzően egyenes vonallal jelölt, a sarokvarrat jele gyakran egy derékszögű háromszög a nyílvonalon. A pontos szimbólum a szabvány szerint.
5. A fogprofilok kirajzolása túl aprólékos és nem ad többletinformációt; a szerkezeti jellemzőket a körök jelzik.

Feladatok megoldása:

1. `M12×1,25-6g`: metrikus finommenet, névleges átmérő 12 mm, menetemelkedés 1,25 mm, 6g tűrésosztály (külső menet); a menethossz külön méret, itt 25 mm. Balmenet nincs jelölve, tehát jobbmenet.

2. Homlok fogaskerék jelképes ábrázolása: a fejkört **vastag folytonos vonal**, az osztókört **vékony pontvonal**, a lábkört **vékony folytonos vonal** jelöli. A fogprofilokat nem rajzolják ki.

3. A normál `M10` anya menetemelkedése 1,5 mm, a tengelyen 1 mm-es finommenet van. A menetemelkedések különbözők, ezért az anya nem csavarható fel, vagy ha erőltetik, a menetek tönkremennek. A szerelőnek `M10×1` anyát kell használnia.

4. A hajtó kerék: $d_1 = m \cdot z_1 = 3 \cdot 25 = 75\,\text{mm}$. A hajtott kerék: $d_2 = 3 \cdot 75 = 225\,\text{mm}$. Együttműködhetnek, mert a moduljuk azonos ($m = 3$).

5. Ha a `6005` csapágy belső átmérője valóban 25 mm, akkor megfelel a 25 mm-es tengelycsaphoz. (A szerelőnek ellenőriznie kell a katalógusban a tényleges belső átmérőt; itt tanulási példa.)

6. A rajzokon a rugók végei döntőek: a húzórugó végein **kampók** vannak, amelyek a húzóerő átadására szolgálnak; a nyomórugó végei **síkra csiszolt, zárt menetek**, amelyek a nyomóerőt adják át. Ha a rajzon a rugó végén nyitott kampó látszik, az húzórugó, ha sima, lapos vég, akkor nyomórugó.

4.4.16. Rövid összefoglaló

A jelképes ábrázolás a műszaki rajzok szabványos nyelve, amely a bonyolult gépelemeket egyszerűsített jelekkel mutatja. A csavarmeneteket vastag és vékony folytonos vonalak jelölik; a menetméret megadása tartalmazza a típust (`M`), az átmérőt, finommenetnél az emelkedést, és balmenetnél az `LH` jelet. A hatlapfejű csavart és anyát egyszerűsített hatszöggel, a menetes furatokat metszetben ábrázoljuk. A fogaskerekeknél a fejkört vastag, az osztókört pontvonal, a lábkört vékony vonal jelöli; az osztókör átmérője $d = m \cdot z$. A bordás tengelykötések, csapágyak és rugók is jelképesen jelennek meg. A hegesztési varratokat nyílszimbólummal és varrattípus-jellel adjuk meg. **Továbbvitt eredmény:** e jelek ismerete nélkülözhetetlen a hidraulikus és pneumatikus kapcsolási rajzok (Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása) olvasásához, valamint a kötőgépelemek (Kötőgépelemek: csavarok, szegecsek, csapszegek, reteszek és biztosítások) tényleges kiválasztásához. A rajzokat mindig a vonatkozó szabványok és a gyártói kézikönyv szerint értelmezzük.

4.4.17. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN ISO 6410 (menetek ábrázolása) – ellenőrizendő a pontos szabványszám és tartalom.
- MSZ EN ISO 2203 (fogaskerekek ábrázolása) – ellenőrizendő a pontos szabványszám.
- MSZ EN ISO 2553 (hegesztési varratok jelölése) – ellenőrizendő a pontos szabványszám.
- Csapágy- és rugógyártói katalógusok – a konkrét méretek (pl. `6005`, `6204`) ellenőrizendők.
- A megadott menetemelkedések (pl. M8 normál 1,25 mm, M10 normál 1,5 mm) tanulási példák, ellenőrizendők a menetszabvány táblázatából.

4.5. Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása

A hidraulikus vagy pneumatikus kapcsolási rajz első ránézésre bonyolult ábra, pedig pontosan az a feladata, hogy a munkalapon is gyorsan megmutassa: honnan jön a nyomás, melyik szelep merre engedi a közeget, és melyik munkahenger végez erőhatást. A későbbi fejezetekben – például a fékrendszernél, a szervokormánynál vagy a légfékeknél – mindig ilyen rajzból kell dolgoznod.

4.5.1. Szemléletes kép

Képzelj el egy műhelyhelyzetet: a fékpedál hosszú úton süllyed, a műszerfalon világít a fékrendszer visszajelzője. A szerelő kinyitja a gyártói javítási utasítást, és a kétkörös fék hidraulikus vázlatát nézi. A rajzon a tandem főfékhengerből két, eltérő vonallal jelölt kör indul; a bal első és a jobb hátsó fék egy körben van, a másik kör a másik két kereket táplálja. A rajzon azonnal látszik: ha az egyik kör nyomása megszűnik, a másik kör két keréken továbbra is fékez. A jelölések, a szelep- és hengerjelek ismerete nélkül a hibakeresés csak találgatás; velük viszont a tünetből célzott mérés lesz.

4.5.2. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **hidraulikus rendszer** zárt rendszerben áramló folyadékkal (hidraulikaolaj, fékfolyadék) továbbít energiát; a **pneumatikus rendszer** sűrített levegővel.

Definíció. A **nyomás** a felületre ható erő és a felület hányadosa:

$$p = \frac{F}{A},$$

ahol p a nyomás Pa vagy bar egységben, F az erő N-ban, A a felület m²-ben. A gyakorlatban $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa} = 10^5\,\text{Pa}$, a hidraulikában gyakran 5–20 MPa, pneumatikában jellemzően 0,6–1 MPa közötti üzemi nyomásról beszélünk (ellenőrizendő: a jármű vagy gép gyártói adata).

Összefüggés. Pascal-törvény (zárt nyugvó folyadékban a külső nyomás minden irányban veszteség nélkül terjed):

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \quad \text{azaz} \quad F_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1}.$$

A hidraulikus rendszer tehát erőáttételt valósít meg: kis dugattyúra kifejtett kis erőből nagy dugattyún nagy erő lesz. A térfogatáram – és ezzel a mozgás – fordítva arányos: ahol az erő nő, ott az elmozdulás kisebb.

Összefüggés. A dugattyú felülete kör keresztmetszet esetén:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Megjegyzés. A hidraulikaolaj gyakorlatilag összenyomhatatlan, ezért a fékpedál útja elsősorban a folyadék elmozdításától és a csövek rugalmasságától függ; a levegő összenyomható, ezért a légfékrendszerben tárolóra és nagyobb munkahengerekre van szükség.

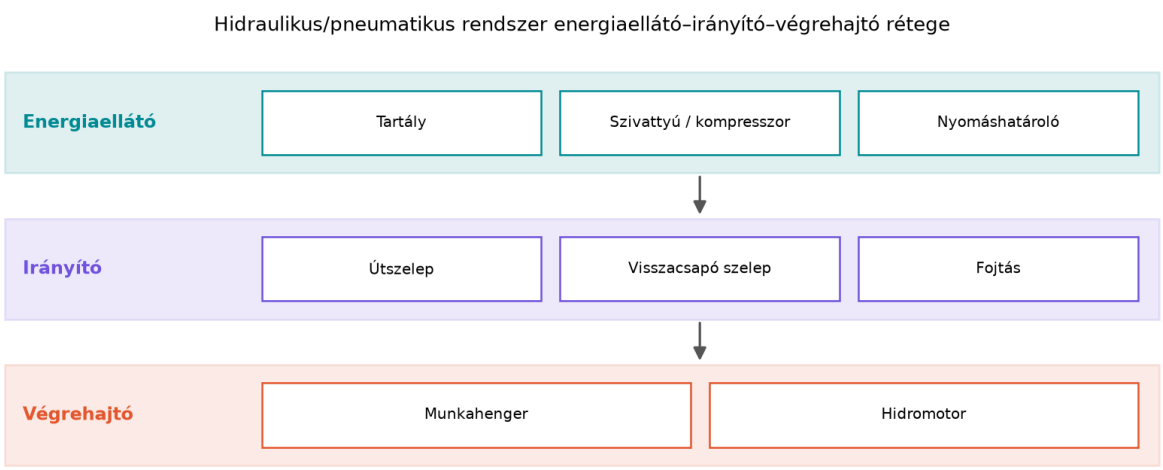
4.5.3. A rajzjelek rendszere

A hidraulikus és pneumatikus kapcsolási rajzok nem a tényleges alkatrész kinézetét mutatják, hanem a **funkciót**: mi táplálja, mi vezérli, mi hajtja végre az energiát. A jelképek az ISO 1219 szabványcsaládon alapulnak; a részleteket a gyártói rajz és az aktuális szabványváltozat dönti el **(ellenőrizendő: ISO 1219-1 és ISO 1219-2, valamint a gyártói rajzjelkulcs).**

A rendszer elemeit három csoportra bontjuk:

- **Energiaellátó elemek:** tartály, szivattyú (hidraulika) vagy kompresszor (pneumatika), villanymotor, szűrő, nyomáshatároló, akkumulátor, légtartály.
- **Irányító elemek:** útszelepek, visszacsapó szelepek, nyomásszabályzók, fojtások, áramlásszabályzók, nyomáskapcsolók.
- **Végrehajtó elemek:** munkahengerek (egyenesvonalú mozgás), hidromotorok (forgó mozgás).

Az alábbi ábra csak a rendszer szerkezeti rétegződését mutatja; a tényleges kapcsolási rajz ezen túl a vezetékek, a csatlakozók és a szelepállások pontos kapcsolatát is tartalmazza.



4.12. ábra. Hidraulikus/pneumatikus rendszer energiaellátó–irányító–végrehajtó rétege - Szemléltető vázlat; nem helyettesíti a gyártói kapcsolási rajzot.

A diagramon a nyíl iránya az energia útját mutatja: a tartályból és a szivattyúból kiinduló közeg az útszelepen keresztül jut a munkahengerhez.

4.5.4. Útszelepek jelölése

A hidraulikus rajz legfontosabb irányító eleme az **útszelep**. A jelölés tömör, de pontos rendszert követ.

Az útszelepet **mezők** (négyzetek) jelölik; egy mező egy kapcsolási állást mutat. A két szám a kapcsolatok és az állások számát adja meg:

- **2/2 útváltó:** 2 csatlakozó, 2 állás; egyszerű záró vagy nyitó szelep.
- **3/2 útváltó:** 3 csatlakozó, 2 állás; jellemzően egy munkahenger betáplálását és leürítését irányítja.
- **4/2 útváltó:** 4 csatlakozó, 2 állás; kettős működésű henger két oldalának felváltva történő táplálására.
- **4/3 útváltó:** 4 csatlakozó (szivattyú, tartály, két munkaág), 3 állás; a középső állás lehet zárt, nyitott vagy keresztezett.

Szabály. A rajzjelet úgy olvasd, hogy a **nyugalmi állás** (amelyet a rugó vagy a nyugalmi helyzet jele mutat) az egyik mező; a másik mező a működtetett állás. A mezőkben a nyilak a közeg áramlási útját, a zárt vonal (T alak) a lezárt csatlakozót jelzi.

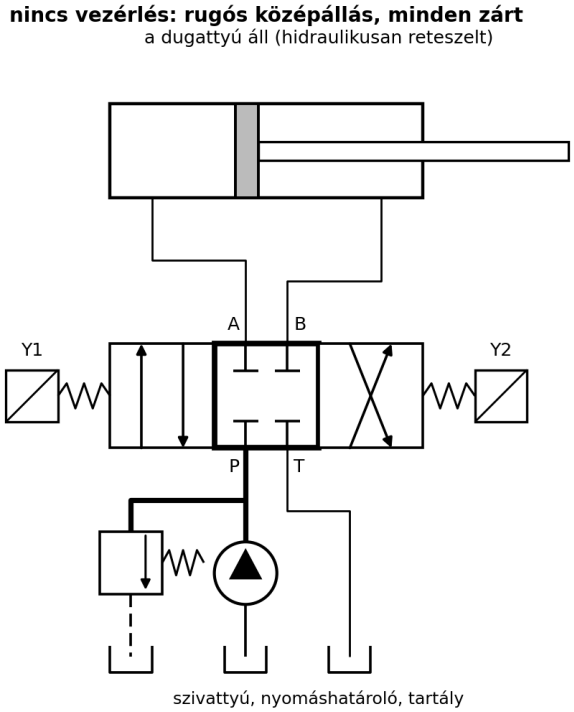
Példa. Egy 3/2 útváltó, rugóval visszatérített, elektromosan működtetett jelének szöveges leírása: bal mezőben a P (nyomó) ág a T (tartály) felé zárt, a munkaág A a tartály felé nyitott; jobb mezőben P az A felé nyitott, T zárt. A jel melletti rugószimbólum mutatja, hogy áramtalanított állapotban a bal mező érvényes.

A további gyakori rajzjelek:

Elem	Rajzjel lényege	Mit tesz
Szivattyú	kör, benne a kimenet felé mutató háromszög (hidraulikus: teli, pneumatikus: üres; ellenőrizendő: ISO 1219-1)	folyadékot szállít, nyomást épít
Kompresszor	kör, benne háromszög, a bemenő oldalnál szívójel	sűrített levegőt termel
Munkahenger	dugattyú és dugattyúrúd jele	erőt és elmozdulást hoz létre
Hidromotor	mint a szivattyú, de a háromszög csúcsa a bemenet felé mutat	forgó mozgást ad
Visszacsapó szelep	ülékre (V-alak) támaszkodó golyó (kör), rugóval vagy anélkül	csak egy irányba enged
Nyomáshatároló	egy mező, benne nyíl és rugó	a beállított nyomás felett leürít
Fojtás	keskeny szakaszon átvezető jel	áramlási ellenállást, nyomásesést hoz létre
Tartály	nyitott vagy zárt edény	rendszer folyadék- vagy levegőtartálya

A betűjelek a hidraulikus és pneumatikus rajzokon is gyakoriak: **P** a nyomóág, **T** vagy **R** a tartály/visszafolyó ág, **A** és **B** a munkaágak. A fékrendszer rajzain ezek helyett a járműgyártók az áramútrajzokon megszokott egyedi jelöléseket is használhatnak, ezért mindig a rajz jelkulcsát nézd meg.

Az alábbi ábra egy rugóval középre állított, két oldalon elektromágnessel (Y1, Y2) működtetett 4/3 útváltó jelét mutatja nyugalmi (középső) állásban, kettős működésű munkahengerrel: a bal mezőben P→A és B→T párhuzamos nyilak, a középső mezőben mind a négy csatlakozó zárt (T alakú jelek), a jobb mezőben P→B és A→T keresztezett nyilak. Alul a szivattyú (teli háromszög a kimenet felé), a nyomáshatároló és a tartály. A HTML-kiadásban a vezérlés (Y1 / nincs / Y2) választható: a működő mező a csatlakozók elé csúszik, és látszik a dugattyú mozgása.



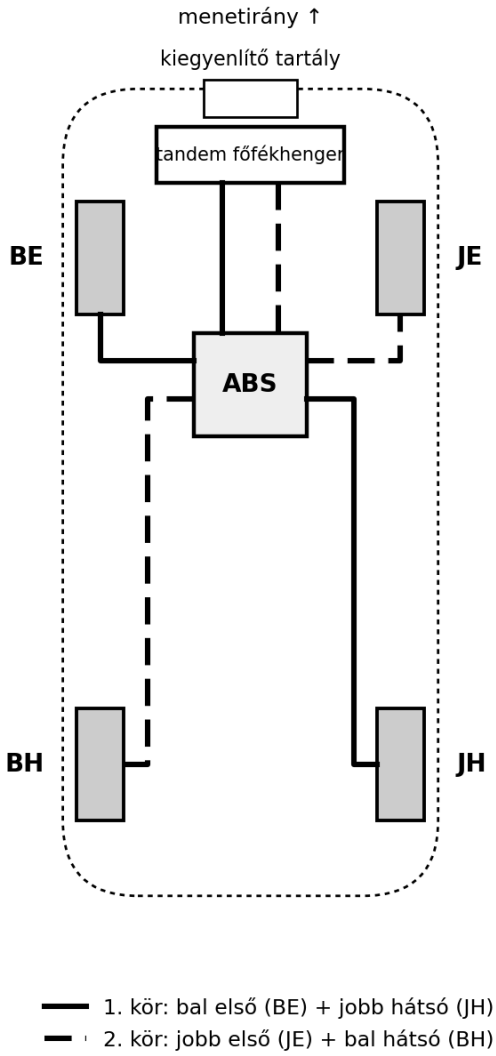
Vastag folytonos: nyomóág; szaggatott: visszafolyó ág. ISO 1219-1 szerinti jelkép, szemléltető (ellenőrizendő).

4.13. ábra. 4/3 útváltó zárt középállással és kettős működésű munkahenger

4.5.5. Rendszerrajzok olvasása

Kétkörös hidraulikus fék vázlata. A rajzon a tandem főfékhenger két dugattyúja két körbe táplál fékfolyadékot. Az egyik kör a bal első és a jobb hátsó, a másik a jobb első és a bal hátsó kerékfékhez vezet; ez a megosztás csökkenti annak a veszélyét, hogy egy kör hibája után teljesen fék nélkül maradjon a jármű (a gyártó más körfelosztást is használhat). A kerékfékek munkahengerként jelennek meg, az ABS-hidraulikaegység pedig az útszelepek és a visszacsapó szelepek csoportjaként.

Az átlós (X) felosztást felülnézetben mutatja az alábbi ábra: az 1. kör (folytonos vonal) a bal első és a jobb hátsó, a 2. kör (szaggatott vonal) a jobb első és a bal hátsó kerékfékhez vezet a tandem főfékhengerből az ABS-egységen át. Ha az 1. kör eltörik, a jobb első és a bal hátsó kerék fékez tovább. A HTML-kiadásban bármelyik kör „eltörhető”, és átlós vagy tengelyenkénti (II) felosztás választható.



4.14. ábra. Átlós (X) kétkörös fékrendszer

Szervokormány vázlata. A szivattyú a tartályból szív, a fogasléces kormányműben lévő irányító szelep a kormányzási iránynak megfelelően nyit; a rásegítő munkahenger a fogaslécbe épített dugattyú. A fojtás a kormányzás sebességét csillapítja; a nyomáshatároló védi a rendszert.

Légfék vázlata. A kompresszor a légtartályt tölti, a nyomásszabályzó-leválasztó a beállított nyomást tartja. A fékpedálszelep a vezérlőnyomást arányosan engedi a pótkocsi vezérlő köréhez vagy a kerékfékmunkahengerekhez. A négykörös védőszelep elválasztja egymástól a köröket, így sérült kör leválasztható és a többi kör működőképes marad.

4.5.6. Kidolgozott példák

1. példa (hidraulikus emelő). Adott: egy kézi hidraulikus emelőben a kis henger dugattyú-átmérője $d_1 = 12\,\mathrm{mm}$, a nagy hengeré $d_2 = 55\,\mathrm{mm}$. A kis dugattyúra $F_1 = 180\,\mathrm{N}$ erőt fejtünk ki. Keresett: a nagy dugattyún elérhető F_2 erő. Képletek: $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, $A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$, $p = \frac{F_1}{A_1}$, $F_2 = pA_2$.

Behelyettesítés:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot (0{,}012)^2}{4} = 1{,}131 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2,$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot (0{,}055)^2}{4} = 2{,}376 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2,$$

$$p = \frac{180}{1{,}131 \cdot 10^{-4}} = 1{,}59 \cdot 10^{6}\,\mathrm{Pa} = 15{,}9\,\mathrm{bar},$$

$$F_2 = 1{,}59 \cdot 10^{6} \cdot 2{,}376 \cdot 10^{-3} = 3{,}78\,\mathrm{kN}.$$

Ellenőrzés: a felületviszony $(55/12)^2 \approx 21$, tehát az erő nagyságrendje $180\,\mathrm{N} \cdot 21 \approx 3{,}8\,\mathrm{kN}$, így az eredmény reális.

2. példa (pneumatikus henger). Adott: egy légfék munkahengere $d = 100\,\mathrm{mm}$ dugattyúátmérőjű, a rendszernyomás $p = 6{,}0\,\mathrm{bar}$. Keresett: a dugattyúrúdon kifejtett elméleti erő. Képlet: $A = \frac{\pi d^2}{4}$, $F = pA$.

Behelyettesítés:

$$A = \frac{\pi \cdot (0{,}100)^2}{4} = 7{,}85 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2,$$

$$p = 6{,}0 \cdot 10^{5}\,\mathrm{Pa},$$

$$F = 6{,}0 \cdot 10^{5} \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-3} = 4{,}71\,\mathrm{kN}.$$

Ellenőrzés: a gyakorlatban a henger vesztesége miatt az effektív erő ennél kisebb; a példaérték a méretezés kiindulópontja.

4.5.7. Minőségellenőrzés

A rajzolvasás ellenőrzésére is vonatkozik a **rajz–jármű–mérés hármas**: rajzolj ki egy kört, azonosítsd a járművön az elemeket, és mérd meg a munkapontokat. Az ellenőrzőlista:

- A rajz címképét és a jelkulcsot átnéztem; a bizonytalan kapocsjeleket azonosítottam.
- A rendszer energiaellátó, irányító és végrehajtó elemeit megneveztem.
- Az útszelep nyugalmi és működtetett állását megkülönböztettem.
- A nyomáshatároló és a fojtás szerepét nem cseréltem fel.
- A gyártói javítási adatot és a kapcsolási rajzot összevetettem a mérési pontokkal.

Előírás. A hidraulikus és pneumatikus kapcsolási rajzok a gépészeti rajzszabványok hatálya alá tartoznak; a jelképek, a vezetékjelölések és a kapocsjelölések megfelelőségét a gyártói rajzjelkulcs és a vonatkozó szabvány határozza meg **(ellenőrizendő: ISO 1219-1/ISO 1219-2 és a gyártói dokumentáció aktuális változata).**

4.5.8. Valós életbeli alkalmazás

Tünet: egy haszonjármű légfékrendszerében a pótkocsi fék csak nagyon lassan old. A szerelő a javítási utasítás légfék-vázlatát nézi. A rajz szerint a vezérlővezeték (sárga csatlakozófej) a pótkocsi-fékszelepet vezérli, amely a pótkocsi saját légtartályából tölti a munkahengereket; oldáskor a fékszelep, illetve a gyorsoldó szelep ereszti szabadba a levegőt. A tünet arra utal, hogy a munkahengerekből a levegő nem tud megfelelő sebességgel távozni; a lehetséges ok a beragadt gyorsoldó (relé-) szelep vagy eltömődött kiömlőnyílás (ellenőrizendő: gyártói légfékrajz). A nyomást a rajz által megadott mérési pontokon – a vezérlővezetéken és a munkahenger csatlakozóján – mérik, és összehasonlítják az oldási idő alatti nyomáslefutást. A hibás szelep cseréje után az oldási idő visszaáll. Tanulság: a rajz választja ki, hol mérj, és a hibát a rendszer szintjén tünteti fel.

4.5.9. Tipikus hibák

- **A szivattyú és a hidromotor összekeverése.** A szivattyú a nyomóoldal felé, a motor a bemenet felé mutatott háromszöggel jelképez; elvi szinten ellenkező irány.
- **Az útszelep állásainak félreolvasása.** A nyugalmi mezőt kell az áramtalanított vagy nem nyomott állapothoz rendelni; sokan a második mezőt nézik először, és tévesen ott keresik a nyugalmi áramlást.
- **A fojtás és a nyomáshatároló szerepének felcserélése.** A fojtás áramlási ellenállást, tehát áramlás közben nyomásesést hoz létre; a nyomáshatároló a beállított nyomás felett leürít.
- **A bar–kPa átváltás elmaradása.** A $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa}$ összefüggést a számítások mértékegység-ellenőrzésekor minden lépésben írd ki.
- **A levegő és a folyadék rugalmasságának összekeverése.** Folyadékos féknél a pedál hosszú útja többnyire levegőre vagy szivárgásra utal, nem a folyadék összenyomódására.

4.5.10. Önellenőrzés

1. Melyik csoportba tartozik a 4/3 útváltó?
2. Igaz vagy hamis: a hidraulikus emelő kis dugattyújánál nagyobb a folyadék nyomása, mint a nagy dugattyúnál?
3. Mennyi az erő egy $d = 40\,\text{mm}$ dugattyún, ha a nyomás 2,0 MPa?
4. Rajzolj fel szövegben egy 3/2 útváltó nyugalmi állását, ha P zárt, A a T felé nyitott.
5. Miért nem a fojtás szabályozza alapvetően a rendszer maximális nyomását?

4.5.11. Feladatok

1. feladat (A). Nevezd meg a hidraulikus/pneumatikus kapcsolási rajz három fő csoportját, és mindegyikből mondj két példát.

2. feladat (A). Egy hidraulikus henger dugattyúátmérője 63 mm; a munkaági nyomás 120 bar. Számítsd ki az elméleti dugattyúerőt kN-ban.

3. feladat (B). Egy hidraulikus sajtó kis hengere $d_1 = 15\,\text{mm}$, nagy hengere $d_2 = 90\,\text{mm}$. A kis dugattyúra 250 N erőt fejtenek ki. Mekkora a nagy dugattyún elérhető erő, és mekkora a rendszer nyomása?

4. feladat (B). Rajzold le szövegesen egy 4/3 útváltó középső állását, ahol P, T, A, B mind zárt, és írd be a kapocsjeleket. Mit mondhatsz a munkahengerről ebben az állásban?

5. feladat (C). Kétkörös hidraulikus fékrendszerben a bal első kör csöve eltört, a fékfolyadék elfolyt. A rajz szerint a bal első a jobb hátsóval van közös körben. Melyik kerekeken marad üzemi fék? Válaszodat a rendszer rajzi felépítésével indokold.

6. feladat (D). Légfékrajz alapján a pótkocsi fék nyomásnövekedése lassú, de a vontató munkahengerei gyorsan töltődnek. Mit ellenőriznél először a rajz segítségével? Fogalmazd meg a hibakeresési láncot.

4.5.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A 4/3 útváltó irányító elem. 2. Hamis. Zárt, nyugvó folyadékban a nyomás mindenhol azonos ($p = F_1/A_1 = F_2/A_2$); a felületek aránya az erőt változtatja, nem a nyomást. 3. $A = \pi \cdot (0{,}020)^2 = 1{,}257 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$; $F = 2{,}0 \cdot 10^6\,\mathrm{Pa} \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2 = 2{,}51\,\mathrm{kN}$. 4. Bal mező: P-ből T felé zárt, A-ból T felé nyíl; rugó jelzi a nyugalmi helyzetet. 5. A fojtás dinamikus nyomásesést hoz létre, ami függ a térfogatáramtól; a maximális rendszernyomást a nyomáshatároló korlátozza.

1. feladat megoldása. Energiaellátó: szivattyú, kompresszor, tartály; irányító: útszelep, visszacsapó, fojtás; végrehajtó: munkahenger, hidromotor.

2. feladat megoldása. $d = 0{,}063\,\mathrm{m}$; $A = \frac{\pi \cdot 0{,}063^2}{4} = 3{,}117 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$; $p = 120\,\mathrm{bar} = 12{,}0\,\mathrm{MPa}$; $F = 12{,}0 \cdot 10^6 \cdot 3{,}117 \cdot 10^{-3} = 37{,}4\,\mathrm{kN}$.

3. feladat megoldása. $A_1 = \frac{\pi \cdot 0{,}015^2}{4} = 1{,}767 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$; $p = \frac{250}{1{,}767 \cdot 10^{-4}} = 1{,}41 \cdot 10^6\,\mathrm{Pa} = 14{,}1\,\mathrm{bar}$; $A_2 = \frac{\pi \cdot 0{,}090^2}{4} = 6{,}362 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$; $F_2 = 1{,}41 \cdot 10^6 \cdot 6{,}362 \cdot 10^{-3} = 9{,}0\,\mathrm{kN}$.

4. feladat megoldása. Középső mezőben P, T, A, B mind zárt vonallal van jelölve; a munkahenger nem tud befelé vagy kifelé áramlani, ezért a dugattyú hidraulikus reteszeltséget ad – ez a tipikus középső zárt állapot.

5. feladat megoldása. A törött cső a bal első – jobb hátsó kört üríti ki, ezért ezen a két keréken nincs üzemi fék. Működőképes marad a másik kör: a **jobb első és a bal hátsó** kerékfék. A jármű fékezhető, de a fékerő kisebb és átlós elosztású, ezért a pedálút megnő, és a jármű fékezéskor kissé félrehúzhat; a fékrendszer visszajelzője (folyadékszint) világít. A javításig a járművet nem szabad üzemeltetni.

6. feladat megoldása. Először a rajz pótkocsi vezérlő körét nézzük: fékpedálszelep, pótkocsi vezérlő szelep, vezérlővezeték, csatlakozófej, pótkocsi-fékszelep (relészelep). A tünet alapján a vontató oldala ép, ezért a pótkocsi oldali nyomásépítést vizsgálnám: a pótkocsi légtartályának töltöttségét, a szűrőt és a fékszelep működését. A lánc: tünet rögzítése → rajz szerinti mérési pontok kijelölése → a csatlakozófej (vezérlő) nyomásának mérése → a munkahenger-csatlakozó nyomásának összehasonlítása → hibás relészelep, eltömődött szűrő vagy vezeték azonosítása → csere → próba, oldási és töltési idő ellenőrzése → megelőzés: légtartály és szűrő ellenőrzése (gyártói légfékrajz szerint, ellenőrizendő).

4.5.13. Rövid összefoglaló

A hidraulikus és pneumatikus kapcsolási rajz az energia útját mutatja: energiaellátó, irányító és végrehajtó elemek jelképeivel. A nyomás $p = F/A$, a Pascal-törvény szerint zárt nyugvó folyadékban a nyomás minden irányban terjed, ezért kis felületről nagy felületre erőáttétel valósítható meg. Az útszelepek mezői a kapcsolási állásokat jelölik; a 2/2, 3/2, 4/3 jelölésben

a kapcsolatok és az állások száma szerepel. A visszacsapó szelep egyirányú áramlást enged, a nyomáshatároló a maximális nyomást korlátozza, a fojtás áramlási ellenállást hoz létre. A gyári fék-, kormány- és légfékrajzokat e jelképekből olvasod ki, és a szerkezeti munkálatoknál mindig a gyártói javítási utasítással és a mérési pontokkal együtt értelmezed. **Továbbvitt eredmény.** A hidraulikus rajzolvasást használjuk a A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék, a Légfékek és pótkocsifékek, a Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája és a Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás alfejezetekben.

4.5.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ISO 1219 szabványcsalád (hidraulikus és pneumatikus rajzjelek), gyártói javítási utasítások és kapcsolási rajzok, gépészeti rajz tankönyvek. A konkrét szabványszámok, kapocsjelölések, üzemi nyomásértékek és a fékrendszerek körfelosztása gyártó- és típusfüggő; a könyvben szereplő értékek tanulási példák. **Ellenőrizendő:** ISO 1219-1/ISO 1219-2 pontos megnevezése és hatályos kiadása, a hidraulikus/pneumatikus nyomások, a járműgyártói fékrajzi jelölésrendszer.

5 Mechanika

5.1. Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók

5.1.1. Motiváció

A műhelyben gyakran találkozunk olyan helyzetekkel, amikor a járműre ható erőket és azok egyensúlyát kell értékelnünk. Amikor egy személygépkocsit emelőbakra állítunk, a bak méretezéséhez tudnunk kell, mekkora terhelés jut egy-egy támaszra. Amikor egy befeszült csavart oldunk egy hosszú kulccsal, ösztönösen növeljük az erőkart, mert tapasztaljuk, hogy a csavarra gyakorolt forgató hatás az erő és a kar szorzatától függ. A statika az erők és a merev testek egyensúlyának tudománya; ez adja az alapot a későbbi szilárdságtani, menetdinamikai és szerkezettani számításokhoz.

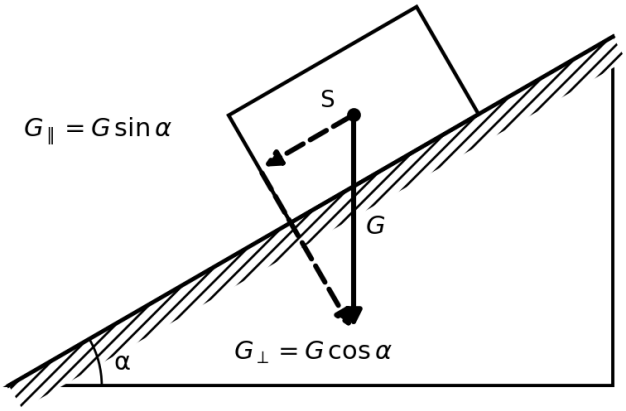
Továbbvitt eredmény. A nyomaték, az erőkar és az egyensúlyi egyenletek fogalmát itt tanuljuk meg; ezeket használjuk feszültségszámításoknál a Szilárdságtan I, mozgások és teljesítmények leírásánál pedig a Kinematika és kinetika alfejezetben. Aki itt elsajátítja a kéttámaszú tartó reakcióerőinek meghatározását, az a későbbi tengelyterhelés- és fékerőszámításoknál is biztos alapokon áll.

5.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy két oszlopra fektetett gerendát, közepén egy nehéz hajtóművel. A gerenda a hajtómű súlyereje alatt enyhén lehajolni igyekszik, az oszlopok pedig alátámasztó erőkkel válaszolnak. Ha a hajtómű súlya $G = 2{,}4\,\mathrm{kN}$ és a gerenda hossza $l = 4\,\mathrm{m}$, a két alátámasztás egyenként a súly felét, azaz $1{,}2\,\mathrm{kN}$ erőt „érez”, ha a hajtómű pontosan középen van. Ha a terhelést eltoljuk az egyik támasz felé, az eloszlás megváltozik: a közelebbi támasz többet, a távolabbi kevesebbet visel.

Ugyanez a helyzet egy autó két tengelyénél is: a jármű súlya megoszlik az első és a hátsó tengely között attól függően, hogy a tömegközéppont milyen távolságra van az egyes tengelyektől. A statika ezt a feladatot ugyanúgy kezeli, mint a gerendát.

A lejtőn álló autó súlyerejét is érdemes felbontani: az erő egyik komponense a lejtő síkjával párhuzamosan „lehúzza” az autót, a másik merőlegesen nyomja a lejtőt. Ezt a felbontást mutatja az alábbi vektorábra.



α = 30°: |G‖| = 0,5·G, |G⊥| ≈ 0,87·G (szemléltető)

5.1. ábra. A nehézségi erő felbontása lejtőn ($\alpha = 30°$)

A függőleges folytonos nyíl a teljes súlyerő, a két szaggatott nyíl pedig a lejtővel párhuzamos ($G_\parallel = G\sin\alpha$) és arra merőleges ($G_\perp = G\cos\alpha$) összetevő; $\alpha = 30^\circ$ esetén $G_\parallel = 0{,}5\,G$ és $G_\perp \approx 0{,}87\,G$. A két szaggatott vektor összege éppen a folytonos nyíllal jelzett erőt adja vissza.

5.1.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Erő. Az erő olyan fizikai mennyiség, amely a testek mozgásállapotát vagy alakját változtatja meg. Jele $\vec{F}$, SI-mértékegysége a newton: $1\,\mathrm{N} = 1\,\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m/s}^2$. Az erő vektormennyiség: nagysága, iránya és támadáspontja van.

Definíció. Statika. A merev testek nyugalomban lévő vagy egyenletes mozgást végző rendszereinek egyensúlyi feltételeit vizsgáló terület. Merev testen azt a testet értjük, amelynek alakváltozása a vizsgált hatások alatt elhanyagolható.

Összefüggés. Nyomaték. Egy erő valamely pontra vonatkozó forgató hatását az erő nagyságának és az erőkar hosszának szorzata adja:

$$M = F \cdot k,$$

ahol M a nyomaték (Nm), F az erő nagysága (N), k pedig az erőkar (m). Az erőkar az erő hatásvonalának a vonatkoztatási ponttól mért merőleges távolsága.

Definíció. Erőpár. Két azonos nagyságú, párhuzamos hatásvonalú, ellentétes irányú erő alkot erőpárt. Az erőpár eredője nulla, forgató hatása viszont van. Az erőpár nyomatéka:

$$M = F \cdot d,$$

ahol d a két párhuzamos hatásvonal merőleges távolsága. Az erőpár nyomatéka a merev test bármely pontjára nézve ugyanakkora; ezt a tulajdonságot a készüléktervezésben is kihasználják.

Szabály. Statika alaptételei.
1. Két erő egyensúlyban van, ha közös hatásvonalúak, azonos nagyságúak és ellentétes irányúak.
2. Három erő egyensúlyban van, ha hatásvonalaik egy közös pontban metszik egymást, és

vektorháromszögük zárt.
3. A hatás–ellenhatás elve: ha az egyik test erőt gyakorol a másikra, akkor a másik test is ugyanakkora nagyságú, ellentétes irányú erőt gyakorol az egyikre. Ezt a járműszerelésben például a rögzítő csavarok és a tömítés kapcsolatánál, vagy a kerék és a fékbetét érintkezésénél látjuk.

A kéttámaszú tartó reakcióerőit az egyensúlyi feltételekből számítjuk. Egy merev test akkor van nyugalomban, ha a rá ható erők eredője nulla, és bármely pontra számított nyomatékösszeg is nulla:

$$\sum F_x = 0, \qquad \sum F_y = 0, \qquad \sum M_A = 0.$$

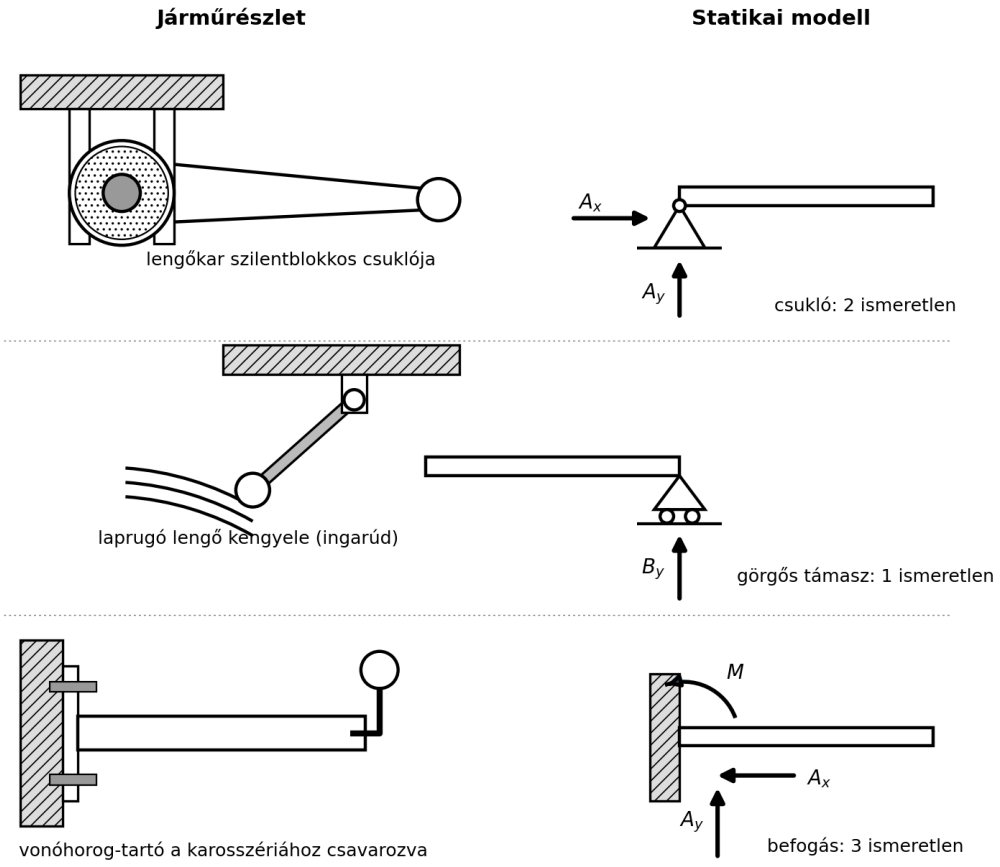
Itt A egy tetszőlegesen választott pont, célszerűen valamelyik támasz. Az egyenletrendszerből a támaszerők kiszámíthatók.

5.1.4. Kényszerek és tartók a járműszerkezetben

A testek mozgását akadályozó elemeket kényszereknek nevezzük. A kényszerek a testre reakcióerővel, illetve befogásnál reakciónyomatékkal hatnak. A leggyakoribb kényszertípusokat az alábbi táblázat foglalja össze.

Kényszer típus	Reakció jellemzője	Ismeretlen összetevők	Járműpélda
Görgős támasz	csak a támaszfelületre merőleges erő	1	könnyű, szabadon elmozduló felfüggesztési pont
Csuklós támasz	vízszintes és függőleges erő	2	ajtózsanér, pedál felfüggesztése
Befogás	vízszintes és függőleges erő, valamint nyomaték	3	konzolosan rögzített tükör, féknyereg rögzítése
Kötél / rúd	csak a kötél/rúd irányú húzó vagy nyomó erő	1	feszítőkötelek, stabilizátorrúd csatlakozása

Az alábbi ábra három járműrészletet és a statikai modelljét állítja párba: a lengőkar szilentblokkos csuklója csuklós támasz (A_x, A_y), a laprugó lengő kengyele görgős támaszként egyetlen, a kengyel irányú reakciót ad, a karosszériához csavarozott vonóhorog-tartó pedig befogás (A_x, A_y és M).



Sematikus vonalrajz. A reakciók száma: csukló 2, görgős támasz 1, befogás 3 (vastag nyilak).

5.2. ábra. Kényszerek járműszerkezeten és statikai modelljük

A táblázatban szereplő reakciók mindig akkorák, amekkorára az egyensúly fenntartásához szükség van; a statikai számítás ezeket határozza meg. A befogás annyiban más, hogy a test elfordulását is megakadályozza, ezért a befogásnál a nyomatéki egyenletben is van ismeretlen.

Három erő egyensúlya. Ha egy testre pontosan három erő hat, és a test nyugalomban van, akkor a három erő hatásvonalának egy pontban kell metszenie egymást. Ezt az elvet használjuk például háromszög alakú merevítők, csuklós szerkezeti elemek gyors ellenőrzésére. A gyakorlatban a szerkesztés mellett mindig érdemes számítással is ellenőrizni az eredményt.

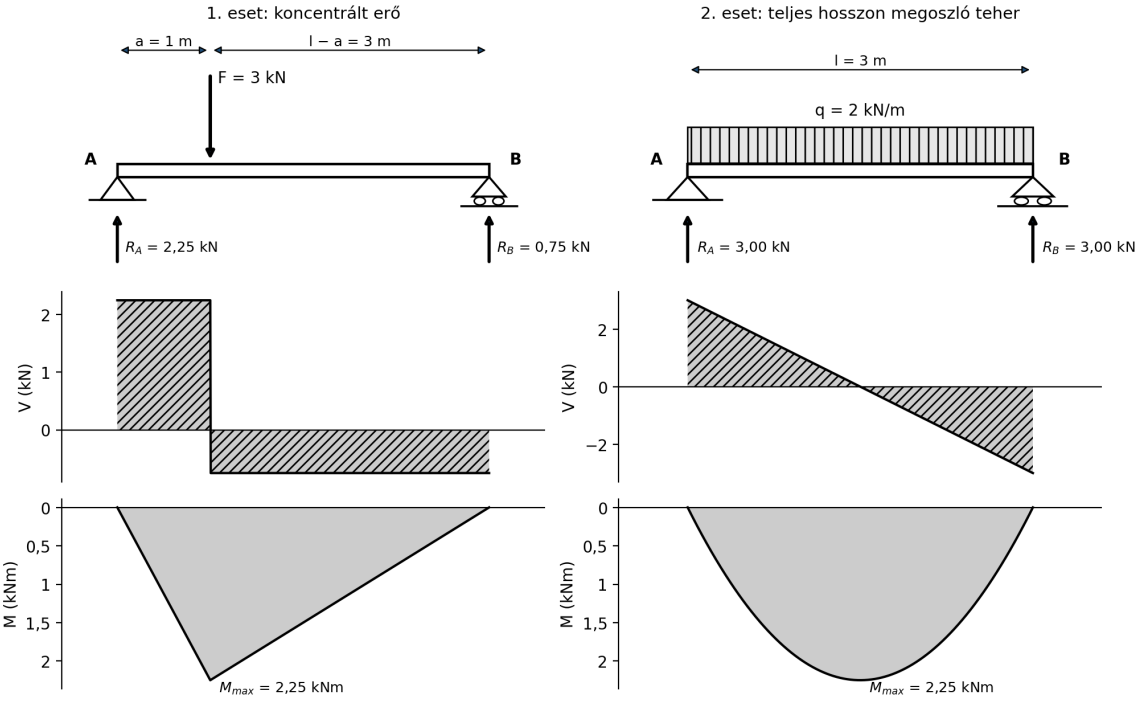
5.1.5. Kéttámaszú tartó koncentrált erővel

A legfontosabb gyakorlati elem, amelyet önállóan számolni kell, a kéttámaszú tartó. Vegyünk egy $l = 4\,\mathrm{m}$ hosszú, két végén alátámasztott gerendát, amelyre a bal oldali támasztól $a = 1\,\mathrm{m}$ távolságban $F = 3\,\mathrm{kN}$ függőleges erő hat. Határozzuk meg az A és B támaszerőket.

1. lépés: rajz és előjelkonvenció. A baloldali támasz legyen A, a jobboldali B. A függőleges felfelé mutató erőket tekintjük pozitívnak. A nyomatéki egyensúlyt az A pontra írjuk fel, az óramutató járásával ellentétes irányt véve pozitívnak.

A tartó szabadtest-ábráját, a nyíróerő- és a nyomatéki ábrát a fejezet két kidolgozott esetére (koncentrált erő: $F = 3\,\mathrm{kN}$, $a = 1\,\mathrm{m}$, $l = 4\,\mathrm{m}$; teljes hosszon megoszló teher: $q = 2\,\mathrm{kN/m}$,

$l = 3\,\mathrm{m}$) az alábbi ábra mutatja. A HTML-kiadás kalkulátorában a terhelés fajtája, nagysága és helye, valamint a tartóhossz változtatható; a reakcióerők és a legnagyobb nyomaték élőben számolódnak, $R_A + R_B = F$ ellenőrzéssel.



5.3. ábra. Kéttámaszú tartó: reakcióerők, nyíróerő- és nyomatéki ábra

2. lépés: függőleges erőegyensúly:

$$R_A + R_B - F = 0 \quad \Rightarrow \quad R_A + R_B = F.$$

3. lépés: nyomatéki egyensúly az A pontra:

$$\sum M_A = 0: \quad R_B \cdot l - F \cdot a = 0.$$

Ebből:

$$R_B = \frac{F \cdot a}{l} = \frac{3\,\mathrm{kN} \cdot 1\,\mathrm{m}}{4\,\mathrm{m}} = 0{,}75\,\mathrm{kN}.$$

4. lépés: a másik támaszerő:

$$R_A = F - R_B = 3\,\mathrm{kN} - 0{,}75\,\mathrm{kN} = 2{,}25\,\mathrm{kN}.$$

Ellenőrzés. A reakcióerők összege $2{,}25 + 0{,}75 = 3{,}0\,\mathrm{kN}$, ami megegyezik a terheléssel. A nyomatéki egyensúlyt a B pontra is ellenőrizhetjük:

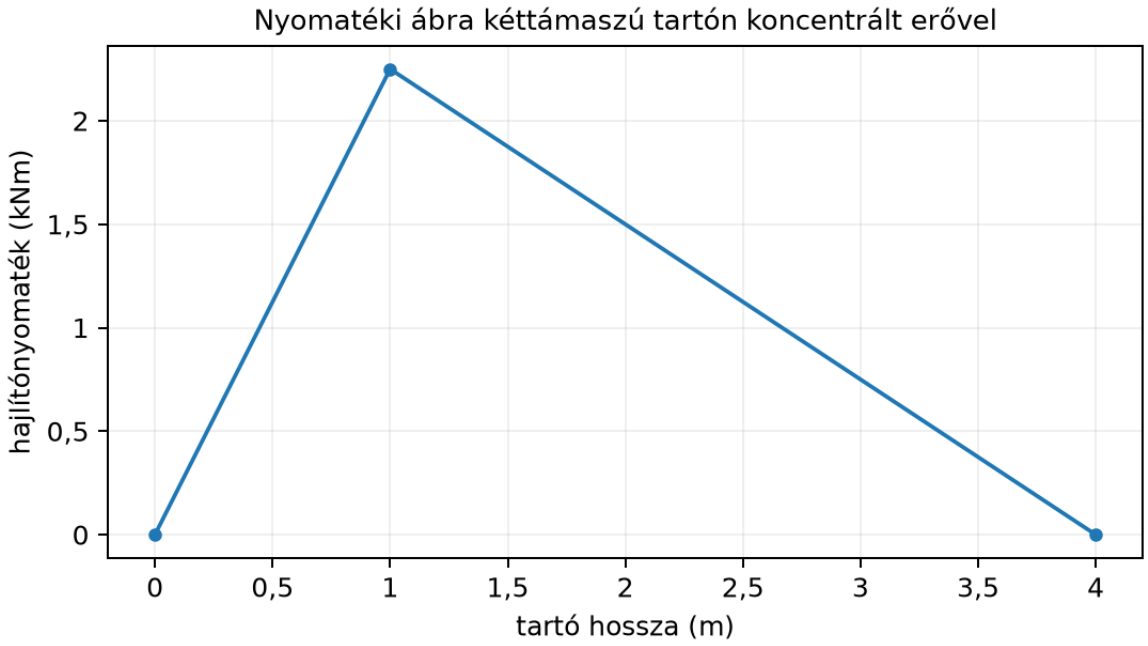
$$\sum M_B = R_A \cdot l - F \cdot (l - a) = 2{,}25 \cdot 4 - 3 \cdot 3 = 9 - 9 = 0.$$

Az eredmény helyes.

Számítás. A maximális hajlítónyomaték. A tartó hajlítónyomatéka a támaszoknál nulla, a terhelő erő alatt a legnagyobb. Ebben a példában az erő támadáspontjában a nyomaték:

$$M_{\max} = R_A \cdot a = 2{,}25\,\mathrm{kN} \cdot 1\,\mathrm{m} = 2{,}25\,\mathrm{kNm}.$$

Ezt a nyomatéki ábra szemlélteti. Az ábrán a vízszintes tengely a gerenda hosszát, a függőleges tengely a hajlítónyomatékot mutatja. A nyomatéki értékek a támaszoknál nullák, a terhelő erőnél csúcsuk van.



5.4. ábra. Nyomatéki ábra kéttámaszú tartón koncentrált erővel - Szemléltető adatsor a kidolgozott példa alapján. Az értékek számított, tanulási célú adatok.

5.1.6. Megoszló terhelésű tartó

A járműszerkezetekben ritkán hat egyetlen koncentrált erő; gyakoribb a megoszló terhelés, például egy tetőcsomagtartó súlya, egy raktérben lévő egyenletesen elosztott teher, vagy egy hídgerenda önsúlya. A megoszló terhelés intenzitása a hosszegységre jutó erő: q, mértékegysége N/m vagy kN/m.

Szabály. Megoszló terhelés eredője. Egy l hosszon egyenletes nagyságú q intenzitással megoszló terhelés eredő erője:

$$Q = q \cdot l,$$

és az eredő a megoszló terhelés hosszának középpontjában, a derékszögű terhelési ábra súlyvonalában támad.

Kidolgozott példa. Legyen $l = 3\,\mathrm{m}$ hosszú tartó, rajta $q = 2\,\mathrm{kN/m}$ egyenletesen megoszló terhelés. Az eredő erő:

$$Q = 2\,\mathrm{kN/m} \cdot 3\,\mathrm{m} = 6\,\mathrm{kN}.$$

Az eredő a tartó közepén, azaz 1,5 m-nél hat. A támaszerők a szimmetria miatt egyenlők:

$$R_A = R_B = \frac{Q}{2} = 3\,\mathrm{kN}.$$

A maximális hajlítónyomaték szintén középen van:

$$M_{\max} = R_A \cdot \frac{l}{2} - q \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4}.$$

A közepén ható nyomatékot a bal oldali szakaszra írjuk fel: a R_A reakcióerő karja $l/2 = 1{,}5\,\mathrm{m}$, a bal félre eső megoszló terhelés eredője $q \cdot l/2 = 3\,\mathrm{kN}$, amely a félszakasz közepén, a középponttól $l/4 = 0{,}75\,\mathrm{m}$-re hat:

$$M_{\max} = 3\,\mathrm{kN} \cdot 1{,}5\,\mathrm{m} - 3\,\mathrm{kN} \cdot 0{,}75\,\mathrm{m} = 4{,}5\,\mathrm{kNm} - 2{,}25\,\mathrm{kNm} = 2{,}25\,\mathrm{kNm}.$$

Ugyanezt adja a megoszló terhelésű kéttámaszú tartó zárt képlete:

$$M_{\max} = \frac{q\,l^2}{8} = \frac{2 \cdot 3^2}{8} = \frac{18}{8} = 2{,}25\,\mathrm{kNm}.$$

Figyeld meg, hogy a teljes Q eredőt és a 1,5 m-es kart összeszorozni (ez 4,5 kNm) hibás lenne: a támasz melletti félre csak a terhelés fele jut, és annak eredője nem a támasznál, hanem $l/4$ távolságra a középponttól hat.

Tanulság. A megoszló terhelés eredőjével dolgozva is a megfelelő távolsággal kell számolni: a reakcióerő szorozva a középig mért távolsággal mínusz a részteher nyomatéka.

5.1.7. Súrlódás statikája

A járműszerelésben és a jármű viselkedésében a súrlódás meghatározó. Ha egy autó lejtőn áll, a nyugalom feltétele a tapadási súrlódás. A tapadási súrlódási erő maximális értéke:

$$F_{\mathrm{tap,max}} = \mu_0 \cdot N,$$

ahol μ_0 a tapadási súrlódási együttható, N pedig a felületre merőleges nyomóerő. A ténylegesen fellépő tapadási erő mindig az egyensúly által megkívánt értékű, de nem haladhatja meg a fenti maximumot.

Számítás. Lejtőn álló autó tapadási határa. Egy $m = 1200\,\mathrm{kg}$ tömegű gépkocsi $\alpha = 15^\circ$ hajlásszögű lejtőn áll. A lejtővel párhuzamos erőösszetevő:

$$G_{\parallel} = mg\sin\alpha = 1200 \cdot 9{,}81 \cdot \sin 15^\circ \approx 1200 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}259 \approx 3047\,\mathrm{N}.$$

A lejtőre merőleges komponens:

$$G_{\perp} = mg\cos\alpha = 1200 \cdot 9{,}81 \cdot \cos 15^\circ \approx 1200 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}966 \approx 11370\,\mathrm{N}.$$

Ha a gumiabroncs és az aszfalt közötti tapadási együttható $\mu_0 = 0{,}8$ (ellenőrizendő: gyártói/táblázati adat), akkor a maximális tapadási erő:

$$F_{\text{tap,max}} = 0{,}8 \cdot 11370 \approx 9096\,\text{N}.$$

Mivel $F_{\text{tap,max}} > G_{\parallel}$, az autó nem csúszik meg. A határszög, ahol megcsúszna:

$$\tan \alpha_{\max} = \mu_0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_{\max} = \arctan 0{,}8 \approx 38{,}7^\circ.$$

Figyelem. A fenti számítás idealizált, és feltételezi, hogy a tapadási tényező a teljes érintkezési felületen azonos. Valós járműnél a lejtőn történő rögzítést a gyártó előírása szerinti rögzítőfékkel és keréktámaszokkal is biztosítani kell; a jármű alá csak megfelelő alátámasztás után szabad bemászni.

5.1.8. Tengelyterhelés mint kéttámaszú tartó

Két tengelyes járműnél a súlyerő a tömegközéppontban hat, a két tengely pedig A és B támaszként viselkedik. Legyen a tengelytáv $l = l_1 + l_2$, ahol l_1 az első tengelytől a tömegközéppontig, l_2 a tömegközépponttól a hátsó tengelyig mért vízszintes távolság. Az első tengelyterhelés:

$$F_{\text{első}} = \frac{m g\, l_2}{l_1 + l_2}, \qquad F_{\text{hátsó}} = \frac{m g\, l_1}{l_1 + l_2}.$$

Példa. Legyen $m = 1200\,\text{kg}$, $l_1 = 1{,}0\,\text{m}$, $l_2 = 1{,}6\,\text{m}$. A tengelytáv $l = 2{,}6\,\text{m}$. A súlyerő $G = 1200 \cdot 9{,}81 = 11772\,\text{N}$. Az első tengelyre jutó terhelés:

$$F_{\text{első}} = \frac{11772 \cdot 1{,}6}{2{,}6} \approx 7243\,\text{N},$$

a hátsó tengelyre jutó:

$$F_{\text{hátsó}} = \frac{11772 \cdot 1{,}0}{2{,}6} \approx 4527\,\text{N}.$$

Ellenőrzés. $7243 + 4527 = 11770\,\text{N}$, a kerekítésből adódó kis eltérés elfogadható. Ez a szétosztás megmutatja, miért változik a tengelyterhelés a csomagtartó megpakolásakor: a tömegközéppont hátrébb kerül, l_2 nő, így az első tengelyterhelés csökken, a hátsó nő.

5.1.9. Minőségellenőrzés

A statikai számítás ellenőrzése mindig több lépésben történjen.

1. **Egységek ellenőrzése.** A nyomaték csak Nm vagy kNm lehet; ha az eredmény mértékegysége nem illik, az erőkar vagy az erő számértékében hiba van.
2. **Egyensúlyi ellenőrzés más pontra.** Számítsuk ki a nyomatéki egyenletet egy másik támaszra is; az eredménynek nullának kell lennie.
3. **A reakcióerők összege.** A függőleges reakciók összege egyenlő a függőleges terhelések összegével.
4. **Nyomatéki ábra tulajdonságai.** Kéttámaszú tartón a nyomatéki ábra a támaszoknál nulla, a terhelő erőnél szakadásmentes csúcsa van; megoszló terhelésnél másodfokú parabola.

5. **Előjelkonvenció.** A felrajzolt vektorokat és a választott pozitív irányt minden egyenletben következetesen használjuk.

5.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy szervizben az ügyfél azt tapasztalja, hogy járműve hátulja terhelten „ül”, és a fényszóró magasra világít. A szerelő az első lépésben nem a fényszórót állítja be, hanem megméri a tényleges tengelyterheléseket. A mérlegszerű mérőpados mérés vagy a gyártói adatbázis alapján kiderül, hogy a csomagtartóban szállított nehéz tárgyak miatt a hátsó tengelyterhelés a megengedett érték közelébe esik. A szerelő a statikai összefüggésekből kiszámítja, hogy a tömegközéppont hátrébb került, és ez csökkenti az első tengelyre jutó erőt, ami a kormányzás és a fékezés egyensúlyát is rontja. A javítási lépés itt nem alkatrészcsere, hanem a rakomány átrendezése, a megengedett tengelyterhelés betartása és szükség esetén a fényszórómagasság gyári értékre állítása. Az eset tanulsága, hogy a statikai egyensúly ismerete nélkül a tüneti javítás félrevezethet: a fényszórót rossz magasságra állítanánk, miközben a valódi ok a túlterhelés.

5.1.11. Tipikus hibák

1. **Az erőkar és a hatásvonal távolsága összekeveredik.** A nyomaték számításakor sokan a támadáspont és a vonatkoztatási pont távolságát használják, holott az erőkar az erő hatásvonalának merőleges távolsága. Az erő hatásvonalát mindig meg kell hosszabbítani, és onnan merőlegest húzni.
2. **A megoszló terhelés eredőjének helytelen elhelyezése.** Az egyenletes megoszló teher eredője a terhelt szakasz közepén hat, nem a tartó közepén, ha a megoszló teher nem a teljes tartón oszlik el. Ez a tévedés nagy hibát okoz a támaszerőkben.
3. **Előjelhiba a nyomatéki egyensúlyban.** Ha az óramutató járásával ellentétes irányt választjuk pozitívnak, akkor minden erő nyomatékát aszerint kell előjelezni, hogy merre forgat. A vegyes előjelek gyakran vezetnek látszólag helyes, de hamis eredményhez. A megoldást mindig ellenőrizni kell a reakcióerők összegével.
4. **Az erőpár nyomatékának elhanyagolása.** Befogásnál vagy csavaroknál az erőpár forgató hatása akkor is jelen van, ha az eredő erő nulla. A befogott tartó reakciónyomatékát figyelmen kívül hagyni súlyos méretezési hibához vezet.

5.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az erőpár nyomatéka független a vonatkoztatási ponttól? Indokolj röviden.
2. Egy $F = 50\,\mathrm{N}$ erő hat egy csavarkulcsra. A kulcs hossza az erő támadáspontjáig $0{,}4\,\mathrm{m}$, és az erő merőleges a kulcsra. Mekkora a csavarra gyakorolt nyomaték?
3. Kéttámaszú tartóra $F = 2\,\mathrm{kN}$ koncentrált erő hat a bal támasztól $a = 0{,}5\,\mathrm{m}$-re; a tartó hossza $l = 2\,\mathrm{m}$. Mennyi a jobb oldali támaszerő?
4. Mi a hiba az alábbi egyenletben? $\sum M_A = R_A \cdot l + F \cdot a = 0$, ahol A a bal támasz, F a tartó bal végétől a távolságban hat lefelé.
5. Egy $q = 1{,}5\,\mathrm{kN/m}$ intenzitású megoszló terhelés egy $2\,\mathrm{m}$ hosszú tartón egyenletesen oszlik el. Mekkora az eredő erő, és hol hat?

5.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg egy $F = 120\,\mathrm{N}$ nagyságú erő nyomatékát, ha az erő hatásvonala merőlegesen $k = 0{,}25\,\mathrm{m}$ távolságra van a vonatkoztatási ponttól.

2. feladat (A). Egy $G = 300\,\mathrm{N}$ súlyú táblát egy $1{,}2\,\mathrm{m}$ hosszú rúd végére szerelt tartóval, vízszintes helyzetben tartunk. A rúd a falhoz csuklósan kapcsolódik, a csuklótól $0{,}3\,\mathrm{m}$ távolságban felfüggesztve. Mekkora erőt kell a felfüggesztő kötélnek kifejtenie, ha a kötél függőleges és elhanyagolható a rúd súlya?

3. feladat (B). Kéttámaszú tartó hossza $l = 5\,\mathrm{m}$. Az A támasztól $a_1 = 2\,\mathrm{m}$-re $F_1 = 2\,\mathrm{kN}$, $a_2 = 4\,\mathrm{m}$-re pedig $F_2 = 1\,\mathrm{kN}$ erő hat lefelé. Határozza meg az A és B támaszerőket, majd számítsa ki a nyomatékokat a terhelő erőknél.

4. feladat (B). Egy $4\,\mathrm{m}$ hosszú gerenda első $2\,\mathrm{m}$-es szakaszán $q = 3\,\mathrm{kN/m}$ intenzitású egyenletesen megoszló terhelés hat, a maradék $2\,\mathrm{m}$ terheletlen. Számolja ki a támaszerőket és a maximális hajlítónyomatékot.

5. feladat (C). Két tengelyes jármű tengelytávja $2{,}6\,\mathrm{m}$, saját tömege $1300\,\mathrm{kg}$. A jármű tömegközéppontja az első tengelytől $1{,}3\,\mathrm{m}$-re van. A csomagtartóba $200\,\mathrm{kg}$ tömegű terhet rakunk a hátsó tengelytől vízszintesen $0{,}4\,\mathrm{m}$-rel előrébb. Hogyan változik az első és hátsó tengelyterhelés? A terhet pontszerűnek, a járművet merev testnek tekintjük. (Ez a feladat a későbbi szilárdságtani és fékdiagnosztikai számítások előkészítése.)

6. feladat (D). A műhelyben egy szerelő egy hosszú gerendát vizsgál, és azt állítja, hogy a két támaszerő $R_A = 1{,}8\,\mathrm{kN}$ és $R_B = 1{,}2\,\mathrm{kN}$, amikor a gerenda közepén egy $F = 3\,\mathrm{kN}$ erő hat. A gerenda hossza $4\,\mathrm{m}$. Helyes-e a szerelő eredménye? Ha nem, hol hibázhatott? Mutassa meg a helyes számítást, és indokolja az ellenőrzést.

5.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Az erőpár két párhuzamos, ellentétes irányú, azonos nagyságú erőből áll; bármely pontra számítva a két erő nyomatéka között csak a d távolsággal arányos tag marad, így az erőpár nyomatéka a ponttól független állandó forgató hatás.
2. $M = F \cdot k = 50 \cdot 0{,}4 = 20\,\mathrm{Nm}$.
3. A nyomatéki egyensúly az A pontra: $R_B \cdot l - F \cdot a = 0$, így $R_B = (2 \cdot 0{,}5)/2 = 0{,}5\,\mathrm{kN}$.
4. Két hiba van: (1) R_A az A ponton megy át, ezért nyomatéka az A pontra nulla, helyette $R_B \cdot l$ kell; (2) a felfelé mutató R_B és a lefelé mutató F nyomatéka ellentétes előjelű. Helyesen: $\sum M_A = R_B \cdot l - F \cdot a = 0$.
5. Az eredő $Q = q \cdot l = 1{,}5 \cdot 2 = 3\,\mathrm{kN}$, és a terhelt hossz közepén, azaz $1\,\mathrm{m}$-nél hat.

1. feladat. $M = 120 \cdot 0{,}25 = 30\,\mathrm{Nm}$.

2. feladat. A csuklóra írjuk a nyomatéki egyensúlyt. A tábla súlya a rúd végén hat, tehát nyomatéka $G \cdot L = 300 \cdot 1{,}2 = 360\,\mathrm{Nm}$ (lefelé forgat). A kötél felfelé tartó K ereje a csuklótól $d = 0{,}3\,\mathrm{m}$ távolságra hat, nyomatéka $K \cdot 0{,}3$. Egyensúlyban:

$$K \cdot 0{,}3 = 360 \quad \Rightarrow \quad K = \frac{360}{0{,}3} = 1200\,\mathrm{N}.$$

Tehát a kötélnek 1,2 kN erőt kell kifejtenie. Ez jóval nagyobb, mint a tábla súlya, mert a kötél közel van a csuklóhoz.

3. feladat. Először az A pontra írjuk a nyomatéki egyensúlyt:

$$R_B \cdot l - F_1 \cdot a_1 - F_2 \cdot a_2 = 0,$$

$$R_B = \frac{F_1 a_1 + F_2 a_2}{l} = \frac{2 \cdot 2 + 1 \cdot 4}{5} = \frac{8}{5} = 1{,}6\,\text{kN}.$$

A függőleges erőegyensúlyból:

$$R_A = F_1 + F_2 - R_B = 2 + 1 - 1{,}6 = 1{,}4\,\text{kN}.$$

Nyomaték az F_1 erőnél: $M_1 = R_A \cdot a_1 = 1{,}4 \cdot 2 = 2{,}8\,\text{kNm}$.
Nyomaték az F_2 erőnél: $M_2 = R_A \cdot a_2 - F_1 \cdot (a_2 - a_1) = 1{,}4 \cdot 4 - 2 \cdot 2 = 5{,}6 - 4 = 1{,}6\,\text{kNm}$. A maximális nyomaték itt 2,8 kNm.

4. feladat. A megoszló terhelés eredője $Q = q \cdot 2\,\text{m} = 3 \cdot 2 = 6\,\text{kN}$, és az eredő az első szakasz közepén, az A támasztól 1 m-re hat. A nyomatéki egyensúly az A pontra:

$$R_B \cdot 4 - Q \cdot 1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_B = \frac{6}{4} = 1{,}5\,\text{kN}.$$

A függőleges erőegyensúlyból:

$$R_A = Q - R_B = 6 - 1{,}5 = 4{,}5\,\text{kN}.$$

A maximális nyomaték ott van, ahol a nyíróerő nulla. A terhelés az első 2 m-en van, a nyomatéki ábra a terhelt szakasz mentén parabola. A nyíróerő az első szakaszon $V(x) = R_A - qx = 4{,}5 - 3x$. A nyíróerő nulla: $x = 1{,}5\,\text{m}$. Ez a pont a terhelt szakaszon belül van, tehát itt van a maximális nyomaték. A nyomaték:

$$M_{\max} = R_A \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 4{,}5 \cdot 1{,}5 - 3 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}75 = 6{,}75 - 3{,}375 = 3{,}375\,\text{kNm}.$$

5. feladat. Először a jármű üres állapotában, a tömegközéppont középen van, így $F_{\text{első}} = F_{\text{hátsó}} = 1300 \cdot 9{,}81/2 = 6376{,}5\,\text{N}$.

A rakomány $m_r = 200\,\text{kg}$, súlya $G_r = 1962\,\text{N}$. A rakomány a hátsó tengelytől 0,4 m-rel előrébb van, tehát a két tengely között, a hátsó tengely előtt helyezkedik el. A rakomány az első tengelytől $2{,}6 - 0{,}4 = 2{,}2\,\text{m}$-re van. A jármű és rakomány együttes tömegközéppontjának helyét az első tengelytől számoljuk:

$$x_{\text{tkp}} = \frac{1300 \cdot 1{,}3 + 200 \cdot 2{,}2}{1500} = \frac{1690 + 440}{1500} = \frac{2130}{1500} = 1{,}42\,\text{m}.$$

A tengelytáv $l = 2{,}6\,\text{m}$, tehát az első tengelytől számított távolság $x = 1{,}42\,\text{m}$, a hátsó tengelytől $2{,}6 - 1{,}42 = 1{,}18\,\text{m}$. Az új tengelyterhelések:

$$F_{\text{első}} = \frac{G_{\text{összes}} \cdot l_{\text{hátsó}}}{l} = \frac{1500 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}18}{2{,}6} \approx \frac{14715 \cdot 1{,}18}{2{,}6} \approx 6678\,\text{N},$$

$$F_{\text{hátsó}} = \frac{G_{\text{összes}} \cdot l_{\text{első}}}{l} = \frac{14715 \cdot 1{,}42}{2{,}6} \approx 8037\,\text{N}.$$

Az első tengelyterhelés 6376,5 N-ról 6678 N-ra nőtt (kb. 302 N-nal), a hátsó pedig 6376,5 N-ról 8037 N-ra nőtt. A rakomány a két tengely között, a hátsó tengely előtt 0,4 m-rel van, ezért súlyának 0,4/2,6 része az első, 2,2/2,6 része a hátsó tengelyre jut; így a hátsó tengelyterhelés nő jobban, de az első is nő. (A feladat a statikai elv alkalmazását gyakoroltatja; a tényleges tengelyterheléshez a gyártói adatokat is figyelembe kell venni.)

6. feladat. A szerelő eredménye nem lehet helyes, mert a középen ható 3 kN erő esetén a két támaszerőnek egyenlőnek, 1,5 kN-nak kell lennie. Ha a szerelő $R_A = 1{,}8\,\text{kN}$ és $R_B = 1{,}2\,\text{kN}$ értékeket kapott, akkor valószínűleg a terhelő erő támadáspontját nem középre, hanem az A támaszhoz közelebb vette fel, vagy elrontotta a nyomatéki egyenlet erőkarját. A helyes számítás: $R_A = R_B = F/2 = 1{,}5\,\text{kN}$. Ellenőrzés: $R_A + R_B = 3\,\text{kN}$, és a nyomatéki egyensúly is teljesül.

5.1.15. Rövid összefoglaló

A statika a merev testek egyensúlyának tana: a test akkor van nyugalomban, ha az erők eredője és bármely pontra számított nyomatékösszeg is nulla. Az erő vektormennyiség, nyomatéka $M = F \cdot k$, ahol k a hatásvonal merőleges távolsága a vonatkoztatási ponttól. Az erőpár nyomatéka a ponttól függetlenül $M = F \cdot d$. A kéttámaszú tartó reakcióerőit a $\sum F_y = 0$ és $\sum M_A = 0$ egyenletekből határozzuk meg; koncentrált erőnél a nyomatéki ábra a terhelő erőnél csúcsos, egyenletesen megoszló terhelésnél parabola, maximális értéke teljes hosszon $ql^2/8$. A kényszerek (támasz, csukló, befogás, kötél/rúd) a mozgást akadályozzák, és reakcióerőkkel hatnak. A tapadási súrlódás maximális értéke $\mu_0 N$; lejtőn az egyensúly feltétele, hogy a lejtőirányú komponens ne haladja meg ezt az értéket. **Továbbvitt eredmény:** a nyomaték és az egyensúlyi egyenletek a Szilárdságtan I és a Kinematika és kinetika alfejezetek számításainak alapját képezik.

5.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

A statikai alapok (erő, nyomaték, egyensúly, kéttámaszú tartó, súrlódás) a klasszikus mechanika része, amelyet tankönyvek és mérnöki kézikönyvek stabil tudásként tárgyalnak; ebben az alfejezetben nincs ellenőrizetlen jogszabályi vagy gyártói előírás. A járművekre vonatkozó példákban szereplő tömegek, méretek és súrlódási együtthatók tanulási példák, nem mért adatok. A tapadási súrlódási együttható értékét a gumiabroncs gyártójának adatai alapján kell ellenőrizni. A tengelyterhelések számításánál a jármű tényleges tömegközéppont-helyzete gyártói dokumentációból vagy mérésből határozandó meg. Biztonsági szempontból kiemelendő, hogy jármű alá emelőn tartva bemenni tilos, csak a gyártói pontokon, megfelelő bakokkal alátámasztott jármű alatt szabad dolgozni.

5.2. Szilárdságtan I: feszültség, Hooke-törvény, húzás, nyomás és nyírás

5.2.1. Motiváció

Egy műhelyben azzal a feladattal bíznak meg, hogy ellenőrizd egy használt első lengőkar gömbcsuklójának rögzítőcsapszegét. A csapszeg átmérője 14 mm, a becsült legnagyobb terhelés 25 kN. A műszaki vizsgán holtjátékot találtak, és a szerelő attól tart, hogy a csapszeg elnyíródhat. Vajon megfelel-e az alkatrész? Ehhez ki kell számítani a csapszegben ébredő csúsztatófeszültséget, és össze kell vetni az anyagra megengedett értékkel. Ugyanezt a gondolatmenetet kell használnod

egy hengerfejcsavar meghúzásakor, egy vonószem rögzítőcsavarjának ellenőrzésekor, vagy egy kerékcsavar méretezésekor. A szilárdságtani alapfogalmak nélkül a gyakorlati javítás során sem tudod megítélni, hogy egy alkatrész biztonsággal üzemeltethető-e.

5.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el három egyszerű próbatestet. Az első egy húzott rúd: a húzóerő merőleges a keresztmetszetre, ezért a felületen egyenletesen megoszló normálfeszültség (σ) keletkezik. A második egy rövid, nyomott oszlop: itt ugyanilyen, csak ellentétes irányú normálfeszültség ébred. A harmadik egy csapszeg, amelyet két lap közötti erő elnyírni igyekszik; ebben csúsztatófeszültség (τ) jön létre, amely párhuzamos a nyírt felülettel. Ezt a három alapigénybevételt most a legegyszerűbb formájában vizsgáljuk. A hajlítást és a csavarást a Szilárdságtan II alfejezetben tárgyaljuk.

5.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Az igénybevétel a szerkezeti elem belső erőrendszerének jellege: húzás, nyomás, nyírás, hajlítás, csavarás vagy ezek kombinációja. Ez az alfejezet a húzást, nyomást és nyírást tárgyalja.

Definíció. A feszültség a belső erő és a felület hányadosa. Normálfeszültség (σ) esetén az erő merőleges a keresztmetszetre:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

ahol σ a normálfeszültség (Pa, a gyakorlatban MPa), F a normálerő (N), A a keresztmetszet területe (m²). Csúsztatófeszültség (τ) esetén az erő párhuzamos a felülettel:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ahol τ a csúsztatófeszültség (Pa), F a nyíróerő (N), A a nyírt keresztmetszet területe (m²).

Összefüggés. A feszültség mértékegysége a pascal: $1\,\mathrm{Pa} = 1\,\mathrm{N/m^2}$. A műszaki gyakorlatban a megapascal használatos: $1\,\mathrm{MPa} = 1\,\mathrm{N/mm^2}$. Ha a képletbe az erőt newtonban, a felületet mm²-ben helyettesítjük be, az eredmény közvetlenül MPa-ban adódik.

Definíció. A relatív megnyúlás (ε) a hosszváltozás és az eredeti hossz hányadosa:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

ahol Δl a hosszváltozás (m), l_0 az eredeti hossz (m). Az ε dimenzió nélküli, gyakran %-ban vagy ezrelékben adjuk meg.

Összefüggés. A Hooke-törvény a rugalmas tartományban a feszültség és a relatív alakváltozás közötti lineáris kapcsolat:

$$\sigma = E\varepsilon$$

ahol E a rugalmassági modulus (Pa, a gyakorlatban GPa). Acélra jellemző érték $E \approx 210\,\text{GPa}$ (példa; ellenőrizendő az anyagszabvány szerint). A Hooke-törvény csak a rugalmassági határ alatt érvényes.

Definíció. A megengedett feszültség (σ_{meg}, illetve τ_{meg}) az a feszültség, amelyet az alkatrész a tervezett élettartam alatt biztonsággal elvisel. Meghatározása a szilárdsági jellemzőből (pl. folyáshatár R_{e}) és a biztonsági tényezőből (n) történik:

$$\sigma_{\text{meg}} = \frac{R_{\text{e}}}{n} \quad \text{vagy} \quad \sigma_{\text{meg}} = \frac{R_{\text{m}}}{n}$$

ahol R_{e} a folyáshatár, R_{m} a szakítószilárdság (MPa), n a biztonsági tényező (dimenzió nélkül). Jellemző biztonsági tényező gépjármű-alkatrészeknél statikus terhelésre $n = 1{,}5 \ldots 3$ (példa; a konkrét értéket a gyártói előírás vagy szabvány adja).

Megjegyzés. A terhelési eseteket Bach szerint osztályozzuk (a kifáradást leíró Wöhler-görbétől megkülönböztetve): statikus (I) terhelésnél a feszültség időben állandó; lüktető (II) terhelésnél a feszültség nulla és egy maximum között változik; lengő (III) terhelésnél a feszültség előjelet vált. A kifáradási méretezésnél a terhelési eset befolyásolja a megengedett feszültséget; ezt a Szilárdságtan II alfejezetben részletezzük.

5.2.4. Húzás és nyomás méretezése

Szabály. Húzott vagy nyomott (rövid, kihajlásra nem veszélyes) rúd méretezésekor a szükséges keresztmetszet:

$$A_{\text{szüks}} = \frac{F}{\sigma_{\text{meg}}}$$

A szükséges átmérő kör keresztmetszetnél:

$$d_{\text{szüks}} = \sqrt{\frac{4F}{\pi \sigma_{\text{meg}}}}$$

Összefüggés. A húzott rúd megnyúlása a Hooke-törvényből:

$$\Delta l = \frac{F l_0}{E A} = \frac{\sigma l_0}{E} = \varepsilon l_0$$

Nyomott rúdnál a rövidülés ugyanezzel a képlettel számítható, előjelhelyesen.

Definíció. A felületi nyomás (palástnyomás) két érintkező felület között keletkező nyomás:

$$p = \frac{F}{A_{\text{vetület}}}$$

ahol $A_{\text{vetület}}$ a terhelésre merőleges vetületi felület. Csapszeg és furat esetén a vetületi felület $A = d \cdot l$, ahol d a csapszeg átmérője, l az érintkező hossz. A felületi nyomásra a megengedett érték anyagpártól függ (pl. acél–acél: 10–80 MPa, példa; ellenőrizendő).

Definíció. A hőfeszültség akkor keletkezik, ha egy alkatrész hőtágulását gátolják. Gátolt hőtágulás esetén a normálfeszültség:

$$\sigma_t = E\alpha\Delta T$$

ahol α a lineáris hőtágulási együttható (1/K), ΔT a hőmérséklet-változás (K). Acélra $\alpha \approx 12 \cdot 10^{-6}\,1/\mathrm{K}$ (példa; ellenőrizendő).

Összefüggés. A kazánformula vékonyfalú, belső nyomással terhelt hengeres edényre vagy csőre érvényes. A kerületi (tangenciális) feszültség:

$$\sigma_t = \frac{pd}{2s}$$

ahol p a belső túlnyomás (Pa), d a henger belső átmérője (m), s a falvastagság (m). A képlet akkor használható, ha $s \ll d$ (pl. $s < d/20$).

5.2.5. Nyírás méretezése

Szabály. Nyírt kötőelem (csapszeg, szegecs, retesz) ellenőrzése:

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{nyírt}}} \leq \tau_{\text{meg}}$$

A nyírt keresztmetszet területe a nyírt síkok számától függ. Kör keresztmetszetű csapszeg egy nyírt sík esetén $A = \frac{d^2\pi}{4}$; két nyírt sík esetén (kétágú villás csatlakozás, „kettős nyírás”) $A = 2 \cdot \frac{d^2\pi}{4}$.

Megjegyzés. A nyírószilárdságot gyakran a húzószilárdságból becsülik: $\tau_{\text{meg}} \approx 0{,}6 \ldots 0{,}8 \cdot \sigma_{\text{meg}}$ szívós acélra (példa; ellenőrizendő). Pontos értéket anyagszabvány vagy gyártói adat ad.

Továbbvitt eredmény. A feszültség és a megengedett feszültség fogalmát, valamint a Hooke-törvényt közvetlenül használjuk a hajlítás és csavarás méretezésénél a Szilárdságtan II alfejezetben, az anyagok szilárdsági jellemzőinek értelmezésénél az Anyagtani alapfogalmak alfejezetben, és a csavarok, szegecsek méretezésénél a Kötőgépelemek alfejezetben. A most megtanult nyírási és felületinyomás-képletek nélkül ezek a későbbi fejezetek nem érthetők.

5.2.6. Kidolgozott példák

5.2.6.1. 1. példa: Húzott csavar ellenőrzése

Adott: Egy M10-es csavar menetes részének feszültség-keresztmetszete $A_{\text{s}} = 58\,\text{mm}^2$ (példa; ellenőrizendő: MSZ EN ISO 898-1 és a menetszabvány), a csavart terhelő húzóerő $F = 20\,\text{kN}$. A csavar anyaga 8.8-as osztályú acél, folyáshatára $R_{\text{e}} = 640\,\text{MPa}$ (példa; ellenőrizendő a szabvány szerint), biztonsági tényező $n = 1{,}5$.

Keresett: a csavarban ébredő húzófeszültség, a megengedett feszültség, és a biztonság.

Képlet és behelyettesítés:

A menetes csavarnál nem a névleges átmérővel, hanem a menetszabványból vett feszültség-keresztmetszettel számolunk (az M10 magátmérője kb. 8,2 mm, a névleges átmérő 10 mm):

$$A_{\text{s}} = 58\,\text{mm}^2$$

A húzófeszültség:

$$\sigma = \frac{F}{A_\mathrm{s}} = \frac{20\,000\,\mathrm{N}}{58\,\mathrm{mm}^2} \approx 345\,\mathrm{MPa}$$

A megengedett feszültség:

$$\sigma_\mathrm{meg} = \frac{R_\mathrm{e}}{n} = \frac{640\,\mathrm{MPa}}{1{,}5} = 427\,\mathrm{MPa}$$

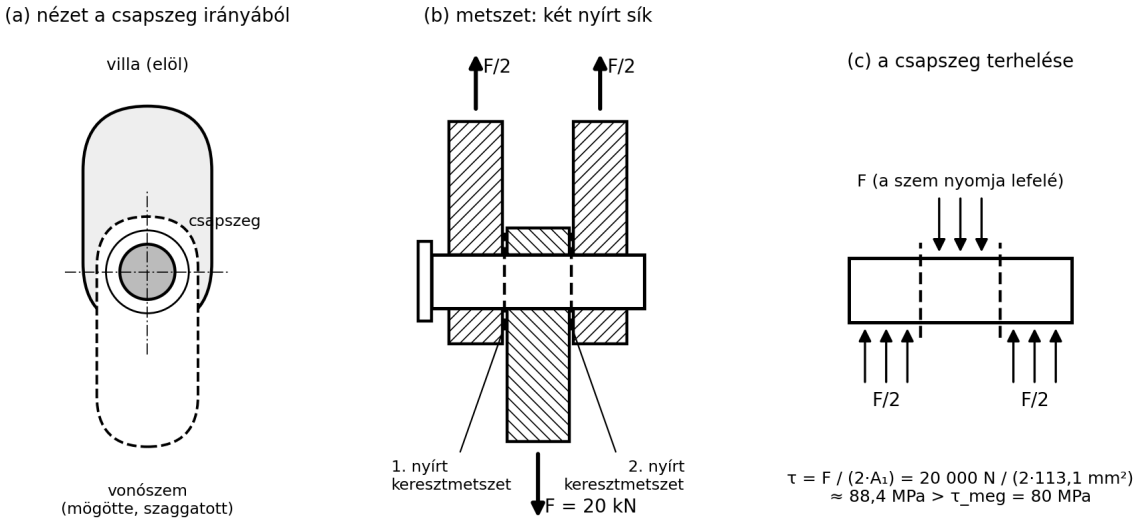
Eredmény: $\sigma \approx 345\,\mathrm{MPa} < \sigma_\mathrm{meg} = 427\,\mathrm{MPa}$, tehát a csavar a példában megfelel (tényleges biztonság: $640/345 \approx 1{,}86$). Ez a statikus húzóerőre való ellenőrzés; csavarkötésnél a szerelési előfeszítést a gyártó a folyáshatár jelentős hányadára (tipikusan 70–90%) írja elő, ezt a meghúzási nyomaték határozza meg, nem az $n = 1{,}5$-ös statikus méretezés. Az értékek tanulási példák, a tényleges meghúzási nyomatékot a gyártói adat adja (ellenőrizendő: gyártói előírás).

Megjegyzés: A számításban $\mathrm{MPa} = \mathrm{N/mm}^2$ átváltást használtuk: $35\,\mathrm{kN} = 35\,000\,\mathrm{N}$, $1\,\mathrm{mm}^2 = 10^{-6}\,\mathrm{m}^2$, így a feszültség közvetlenül MPa-ban adódik.

5.2.6.2. 2. példa: Kettős nyírású csapszeg ellenőrzése

Adott: Egy vonószem csapszegét terhelő erő $F = 20\,\mathrm{kN}$. A csapszeg átmérője $d = 12\,\mathrm{mm}$, anyaga szívós acél, megengedett csúsztatófeszültség $\tau_\mathrm{meg} = 80\,\mathrm{MPa}$ (példa). A csatlakozás kétágú villa, tehát a csapszeg két nyírt síkon dolgozik.

Az alábbi ábra (b) metszetén látszik, miért két keresztmetszet viseli az erőt: a villa két ága egyenként $F/2$ erővel húz felfelé, a középen lévő szem F erővel lefelé, így a csapszeg a villaágak és a szem határán, két síkban nyíródik. A (c) rész a csapszeg terhelését mutatja. A HTML-kiadásban F, d és τ_meg csúszkával változtatható, és a kalkulátor az egy nyírt síkkal számolt (hibás) értéket is kiírja.



Villa és szem eltérő irányú sraffozással; a csapszeg nem metszendő elem. Szemléltető rajz, méretek mm-ben.

5.5. ábra. Kettős nyírású csapszeg a villás vonószemben

Keresett: a csúsztatófeszültség és a megfelelőség.

Megoldás:

Egy nyírt keresztmetszet területe:

$$A_1 = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{(12\,\mathrm{mm})^2 \cdot \pi}{4} = 113\,\mathrm{mm}^2$$

Két nyírt sík esetén az összes nyírt felület:

$$A = 2A_1 = 226\,\mathrm{mm}^2$$

A csúsztatófeszültség:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{20\,000\,\mathrm{N}}{226\,\mathrm{mm}^2} = 88{,}5\,\mathrm{MPa}$$

Eredmény: $\tau = 88{,}5\,\mathrm{MPa} > \tau_{\mathrm{meg}} = 80\,\mathrm{MPa}$, tehát a csapszeg nem felel meg, nagyobb átmérőt vagy jobb anyagot kell választani.

Ellenőrzés más úton: A szükséges összes nyírt felület $A_{\mathrm{szüks}} = F/\tau_{\mathrm{meg}} = 20\,000/80 = 250\,\mathrm{mm}^2$, amihez $A_1 = 125\,\mathrm{mm}^2$, és $d_{\mathrm{szüks}} = \sqrt{4A_1/\pi} = \sqrt{4 \cdot 125/\pi} \approx 12{,}6\,\mathrm{mm}$. Tehát legalább 13 mm átmérőjű csapszeg kell (példa).

Figyelem. A túlfeszített vagy alulméretezett kötőelem hirtelen törést okozhat, ami balesethez vezethet. A méretezésnél soha ne használjunk kitalált anyagjellemzőket; mindig a gyártói adat vagy a vonatkozó szabvány szerinti értékekkel dolgozzunk.

5.2.7. Minőségellenőrzés

A méretezési ellenőrzés lépései:

1. Azonosítsuk az igénybevétel fajtáját (húzás, nyomás, nyírás).
2. Határozzuk meg a terhelő erőt a legnagyobb üzemi terhelésből (dinamikus tényezővel, ha szükséges).
3. Mérjük meg vagy azonosítsuk a kritikus keresztmetszet méreteit (átmérő, falvastagság, hossz).
4. Számítsuk ki a fellépő feszültséget.
5. Hasonlítsuk össze a megengedett feszültséggel, amelyet anyagszabvány vagy gyártói adat alapján veszünk.
6. Ellenőrizzük a felületi nyomást is, ha érintkező felületek vannak.
7. Dokumentáljuk a számítást és a döntést.

5.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Egy szerelő a műhelyben azt tapasztalja, hogy egy tehergépkocsi vonószemének rögzítőcsavarja játékossá vált. A csavar átmérője 16 mm, a furat 16,5 mm, a hossz 60 mm. Az ügyfél azt kéri, hogy ellenőrizzük, biztonságos-e a vontatáshoz. A szerelő megkeresi a gyártói adatot: a megengedett vonóerő 25 kN. A csavar anyaga 10.9-es acél, $\sigma_{\text{meg}} = 660\,\text{MPa}$ (példa), τ_{meg} ennek 60%-a: 396 MPa.

A csavar egy nyírt síkon dolgozik, mert egyetlen lapon megy át. A nyírt keresztmetszet: $A = \frac{16^2\pi}{4} = 201\,\text{mm}^2$. A csúsztatófeszültség: $\tau = 25\,000/201 = 124\,\text{MPa}$, ami jóval a megengedett alatt van. A felületi nyomás a csavar és a furat között: $p = F/(d \cdot l) = 25\,000/(16 \cdot 60) = 26\,\text{MPa}$, ami szintén elfogadható acél–acél párosításra. A szerelő mégis cserét javasol, mert a játék miatt a csavar hajlító igénybevételt is kaphat, és a kifáradás veszélye fennáll. A tanulság: a tiszta nyírási képlet csak akkor érvényes, ha az illesztés szoros; ha holtjáték van, a csavar hajlított gerendaként viselkedik, amit a Szilárdságtan II szerint kell ellenőrizni.

A motivációs kérdés megválaszolása. A gömbcsukló 14 mm-es csapszegében egy nyírt síkkal számolva $\tau = 25\,000\,\text{N}/153{,}9\,\text{mm}^2 \approx 162\,\text{MPa}$ ébred; ezt kell az anyag megengedett τ_{meg} értékével összevetni (gyártói vagy anyagszabványi adat, ellenőrizendő). Holtjátékos gömbcsukló azonban a műszaki vizsgán hiba: cserélendő (ellenőrizendő: gyártói előírás), a számítás csak a jelenség megértését szolgálja, nem azt, hogy a kopott alkatrész szilárdsági számítással „megfeleltethető”.

5.2.9. Tipikus hibák

1. **Egynyírás és kettős nyírás összekeverése.** Ha a csapszeget két oldalon nyírják, csak az egyik keresztmetszettel számolva kétszeres feszültséget kapunk, és tévesen elutasítunk egy jó alkatrészt. Vagy fordítva: kettős nyírást feltételezve egynyírású kapcsolatnál a felét számoljuk, és veszélyes alulméretezés lesz.
2. **A felületi nyomás elhanyagolása.** A csapszeg lehet elég erős nyírásra, de a furat anyaga (pl. alumínium) kikophat, mert a felületi nyomás meghaladja a megengedettet. Ilyenkor a furatot persellyel vagy nagyobb átmérővel kell erősíteni.
3. **A Hooke-törvény alkalmazása a rugalmassági határon túl.** Ha a feszültség meghaladja a folyáshatárt, a $\sigma = E\varepsilon$ összefüggés már nem érvényes. A gyakorlatban ezt úgy veszik észre, hogy a megnyúlás nagyobb, mint amit a Hooke-törvény jósol.
4. **Nem számol a hőfeszültséggel.** Például egy kipufogócső rögzítőcsavarja forrón megnyúlhat, ha a hőtágulást gátolják, és a csavar elszakadhat. A hőfeszültséget a gátolt hőtágulás esetén mindig ellenőrizni kell.

5.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A normálfeszültség mindig merőleges a vizsgált felületre.
2. Egy 10 mm átmérőjű, kör keresztmetszetű rúd húzófeszültsége 200 MPa. Mekkora a húzóerő?
3. Mi a hiba ebben a leírásban: „A csapszeget két nyírt síkon terheli 40 kN; a csapszeg átmérője 20 mm, így a csúsztatófeszültség 40 000 / ($\pi \cdot 20^2/4$) = 127,3 MPa.”
4. Egy acélrúd hossza 500 mm, rugalmassági modulusa 210 GPa, feszültsége 100 MPa. Mekkora a megnyúlás?
5. Miért kell a felületi nyomást külön ellenőrizni?
6. Igaz vagy hamis? A hőfeszültség csak akkor lép fel, ha a hőtágulás teljesen szabad.

5.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Húzott rúd feszültsége: $F = 12\,\text{kN}$, $d = 15\,\text{mm}$. Számítsa ki a normálfeszültséget MPa-ban.

2. feladat (A). Egy 20 mm átmérőjű csapszeget egynyírás terheli $F = 30\,\text{kN}$. Mekkora a csúsztatófeszültség?

3. feladat (B). Egy acélcsavar hossza 200 mm, átmérője 12 mm, húzóerő 40 kN. Rugalmassági modulus 210 GPa. Számítsa ki a megnyúlást.

4. feladat (B). Kétlapos (kettős nyírású) csapszegkötés terhelése 80 kN. Megengedett csúsztatófeszültség 100 MPa. Határozza meg a szükséges átmérőt.

5. feladat (C). Egy vékonyfalú acélcső belső átmérője 80 mm, falvastagsága 3 mm, belső túlnyomás 2 MPa. Számítsa ki a kerületi feszültséget a kazánformulával, és hasonlítsa össze a megengedett 160 MPa feszültséggel. (Ellenőrizze a vékonyfalúság feltételét.)

6. feladat (D). Egy szerelő egy 10 mm átmérőjű, 60 mm hosszú csapszeget vizsgál egy alumínium furatban. A terhelő erő 15 kN. A csapszeg anyaga acél, $\tau_{\text{meg}} = 90\,\text{MPa}$; az alumínium furatra megengedett felületi nyomás $p_{\text{meg}} = 25\,\text{MPa}$. Ellenőrizze a csapszeget nyírásra és felületi nyomásra. Mi a következtetés?

5.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Igaz. A normálfeszültség definíció szerint merőleges a felületre.
2. $A = \pi d^2/4 = \pi \cdot 10^2/4 = 78{,}54\,\text{mm}^2$; $F = \sigma A = 200\,\text{MPa} \cdot 78{,}54\,\text{mm}^2 = 15\,708\,\text{N} \approx 15{,}7\,\text{kN}$.
3. A hiba: a csapszeget két nyírt sík terheli, ezért a nyírt felület kétszerese: $A = 2 \cdot \pi d^2/4$. Helyes: $A = 2 \cdot 314{,}16 = 628{,}3\,\text{mm}^2$; $\tau = 40\,000/628{,}3 = 63{,}7\,\text{MPa}$.
4. $\varepsilon = \sigma/E = 100/210\,000 = 0{,}000476$; $\Delta l = \varepsilon l_0 = 0{,}000476 \cdot 500 = 0{,}238\,\text{mm}$.
5. Mert a csapszeg lehet elég erős nyírásra, de a furat anyaga a nagy nyomás miatt kikophat vagy deformálódhat; ezért a felületi nyomást is ellenőrizni kell a megengedett értékre.
6. Hamis. Ha a hőtágulás teljesen szabad, nem keletkezik hőfeszültség; hőfeszültség csak gátolt hőtágulás esetén lép fel.

Feladatok megoldásai:

1. feladat megoldása.
Adott: $F = 12\,\text{kN} = 12\,000\,\text{N}$, $d = 15\,\text{mm}$. Keresett: σ.
$A = \pi d^2/4 = \pi \cdot 15^2/4 = 176{,}7\,\text{mm}^2$.
$\sigma = F/A = 12\,000/176{,}7 = 67{,}9\,\text{MPa}$.
Ellenőrzés: acélra ez jóval a folyáshatár alatt van.

2. feladat megoldása.
Adott: $F = 30\,\text{kN} = 30\,000\,\text{N}$, $d = 20\,\text{mm}$. Keresett: τ.
$A = \pi d^2/4 = \pi \cdot 20^2/4 = 314{,}2\,\text{mm}^2$.
$\tau = F/A = 30\,000/314{,}2 = 95{,}5\,\text{MPa}$.

3. feladat megoldása.
Adott: $l_0 = 200\,\text{mm}$, $d = 12\,\text{mm}$, $F = 40\,\text{kN} = 40\,000\,\text{N}$, $E = 210\,\text{GPa} = 210\,000\,\text{MPa}$. Keresett: Δl.
$A = \pi d^2/4 = \pi \cdot 12^2/4 = 113{,}1\,\text{mm}^2$.

$\Delta l = \frac{Fl_0}{EA} = \frac{40\,000 \cdot 200}{210\,000 \cdot 113{,}1} = 0{,}337\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: a megnyúlás pozitív, nagyságrendileg a várt tized mm.

4. feladat megoldása.
Adott: $F = 80\,\text{kN} = 80\,000\,\text{N}$, $\tau_{\text{meg}} = 100\,\text{MPa}$, kettős nyírás. Keresett: d.
Összes szükséges nyírt felület: $A_{\text{szüks}} = F/\tau_{\text{meg}} = 80\,000/100 = 800\,\text{mm}^2$.
Két nyírt sík, így egy síkra $A_1 = 400\,\text{mm}^2$.
$A_1 = \pi d^2/4 \Rightarrow d = \sqrt{4A_1/\pi} = \sqrt{4 \cdot 400/\pi} = \sqrt{509{,}3} = 22{,}6\,\text{mm}$.
Tehát legalább 23 mm átmérőjű csapszeg szükséges.

5. feladat megoldása.
Adott: $d = 80\,\text{mm}$, $s = 3\,\text{mm}$, $p = 2\,\text{MPa}$, $\sigma_{\text{meg}} = 160\,\text{MPa}$.
Vékonyfalúság: $s/d = 3/80 = 0{,}0375 < 0{,}05$, tehát érvényes.
$\sigma_t = \frac{pd}{2s} = \frac{2 \cdot 80}{2 \cdot 3} = 26{,}7\,\text{MPa}$.
Eredmény: $26{,}7 < 160$, tehát megfelel. (Az értékek tanulási példák.)

6. feladat megoldása.
Adott: $d = 10\,\text{mm}$, $l = 60\,\text{mm}$, $F = 15\,\text{kN} = 15\,000\,\text{N}$, $\tau_{\text{meg}} = 90\,\text{MPa}$, $p_{\text{meg}} = 25\,\text{MPa}$.
Nyírás: egy nyírt sík, $A = \pi d^2/4 = 78{,}54\,\text{mm}^2$; $\tau = 15\,000/78{,}54 = 191\,\text{MPa}$.
Ez nagyobb, mint 90 MPa, tehát a csapszeg nem felel meg nyírásra.
Felületi nyomás: $p = F/(d \cdot l) = 15\,000/(10 \cdot 60) = 25\,\text{MPa}$.
Ez éppen egyenlő a megengedett értékkel: a feltétel ($p \le p_{\text{meg}}$) határon teljesül, tartalék nincs.
Következtetés: a csapszeget a nyírás miatt nagyobb átmérőre kell cserélni, vagy erősebb anyagot választani; a nagyobb átmérő a felületi nyomást is csökkenti, és kopás, valamint dinamikus terhelés miatt nagyobb tartalék javasolt.

5.2.13. Rövid összefoglaló

A szilárdságtan alapjait a húzás, nyomás és nyírás egyszerű eseteire vezettük le. A normálfeszültség $\sigma = F/A$, a csúsztatófeszültség $\tau = F/A$, ahol A a mindenkori igénybevett keresztmetszet. A Hooke-törvény $\sigma = E\varepsilon$ a rugalmassági tartományban érvényes, acélra jellemző rugalmassági modulus $E \approx 210\,\text{GPa}$ (példa). A megengedett feszültséget a folyáshatárból vagy szakítószilárdságból biztonsági tényezővel osztva kapjuk: $\sigma_{\text{meg}} = R_{\text{e}}/n$. A méretezés során mindig ellenőrizzük a feszültséget és a felületi nyomást is; utóbbi $p = F/A_{\text{vetület}}$. Nyírt kötőelemeknél a nyírt síkok számát helyesen kell figyelembe venni (egynyírás, kettős nyírás). A bemutatott képleteket használjuk a hajlítás és csavarás méretezéséhez a Szilárdságtan II alfejezetben, az anyagjellemzők kiválasztásához az Anyagtani alapfogalmak alfejezetben, valamint a csavarok és kötések ellenőrzéséhez a Kötőgépelemek alfejezetben.

5.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: anyagszabványok (pl. MSZ EN ISO 898-1 csavarszilárdság – ellenőrizendő a pontos szabványszám), gyártói javítási utasítások, szilárdságtani szakkönyvek.

Ellenőrizendő állítások: a rugalmassági modulus és hőtágulási együttható pontos értékei anyagminőségenként; a megengedett feszültségek és biztonsági tényezők konkrét értékei; a Wöhler-féle terhelési esetek pontos definíciója és alkalmazása; a felületi nyomás megengedett értékei anyagpáronként. Minden számszerű példa tanulási célú, a tényleges tervezéshez a vonatkozó szabványt és gyártói adatot kell használni.

5.3. Szilárdságtan II: hajlítás, csavarás, összetett igénybevétel és kifáradás

5.3.1. Miért kell a hajlítással, csavarással és kifáradással számolni?

Autószerelőként a műhelyben ritkán tervezel új tengelyt, de naponta találkozol a következményekkel: eltört féltengely, kifáradt rugólap, meglazult kerékcsavar, elcsavarodott csavarszár, megroppant stabilizátorrúd. Ha megérted, hogyan keletkezik a hajlítófeszültség és a csavarófeszültség, és miért tör el egy alkatrész a statikus szilárdságnál kisebb terhelés alatt is, akkor a hibafeltárásnál, az alkatrészkiválasztásnál és a meghúzási nyomatékok betartásánál is tudatosabban dolgozol.

5.3.2. Szemléletes kép: egy hajtott féltengely két igénybevétele

Képzelj el egy hátsókerék-hajtású autó féltengelyét. A differenciálműből érkező nyomaték a tengely hossztengelye körül csavarodással terheli. Ugyanakkor a jármű tömegéből származó kerékterhelés a tengely külső, csapágyazott végén hajlítónyomatékot is létrehoz. A féltengely így egyszerre csavarodik és hajlik. Emellett a terhelés kanyarodáskor, gyorsításkor, fékezéskor és úthibákon állandóan ismétlődik. Ha az anyagban éles átmenet, beszúrás, korróziós gödör vagy csavarmenet van, akkor ott feszültséggyűjtő hely alakul ki, és pici repedés indulhat, amely lassan terjed, amíg a maradék keresztmetszet hirtelen elszakad.

Továbbvitt eredmény. A hajlítás, a csavarás és a kifáradás alábbi összefüggéseit a Tengelyek és csapágyazások alfejezetben használjuk fel: ott választjuk meg a tengelyátmérőt, az anyagot, a geometriai átmeneteket és a csapágyazást úgy, hogy az alkatrész a váltakozó üzemi terhelést is elviselje.

5.3.3. Definíciók és összefüggések

5.3.3.1. Hajlítás

Definíció. Hajlításról akkor beszélünk, ha a rúd vagy tengely hossztengelyére merőleges erő, illetve erőpár a tengely görbületét megváltoztatja. A hajlítónyomaték hatására a keresztmetszetben húzó- és nyomófeszültség ébred.

A tiszta hajlítás alapegyenlete:

$$\sigma_{\mathrm{h}} = \frac{M_{\mathrm{h}}}{K_{\mathrm{h}}}$$

ahol:

- σ_{h} a legnagyobb hajlítófeszültség ($\mathrm{N/mm^2} = \mathrm{MPa}$),
- M_{h} a hajlítónyomaték (Nmm),
- K_{h} a hajlító keresztmetszeti tényező ($\mathrm{mm^3}$).

A keresztmetszeti tényező a geometria hatását fejezi ki. Tömör kör keresztmetszet esetén:

$$K_{\mathrm{h}} = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0{,}1\, d^3.$$

A hajlítás mértékét az alakváltozás oldaláról a lehajlás szemlélteti. Egy kéttámaszú, középen F erővel terhelt tengely közelítő lehajlása:

$$f \approx \frac{FL^3}{48EI},$$

ahol L a támaszköz, E a rugalmassági modulus, I a másodrendű nyomaték. Kör keresztmetszetre:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}.$$

A lehajlás tehát sokkal erősebben nő a hossz növelésével, mint a terhelés növelésével: ha a hossz duplázódik, a lehajlás azonos erőnél nyolcszorosára nőhet.

5.3.3.2. Csavarás

Definíció. Csavarásról akkor beszélünk, ha a tengelyre a hossztengely körül forgató nyomatékpár hat. A keresztmetszetben nyírófeszültség ébred, amely a tengelyfelületen a legnagyobb.

A csavarófeszültség alapegyenlete:

$$\tau_{\mathrm{cs}} = \frac{M_{\mathrm{cs}}}{K_{\mathrm{p}}}$$

ahol:

- τ_{cs} a legnagyobb csavarófeszültség (MPa),
- M_{cs} a csavarónyomaték (Nmm),
- K_{p} a poláris keresztmetszeti tényező (mm^3).

Tömör kör keresztmetszetre:

$$K_{\mathrm{p}} = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0{,}2\, d^3.$$

A poláris másodrendű nyomaték:

$$I_{\mathrm{p}} = \frac{\pi d^4}{32}.$$

A tengely elcsavarodási szöge:

$$\varphi = \frac{M_{\mathrm{cs}} L}{G I_{\mathrm{p}}},$$

ahol G a nyírási rugalmassági modulus és L a tengely hossza.

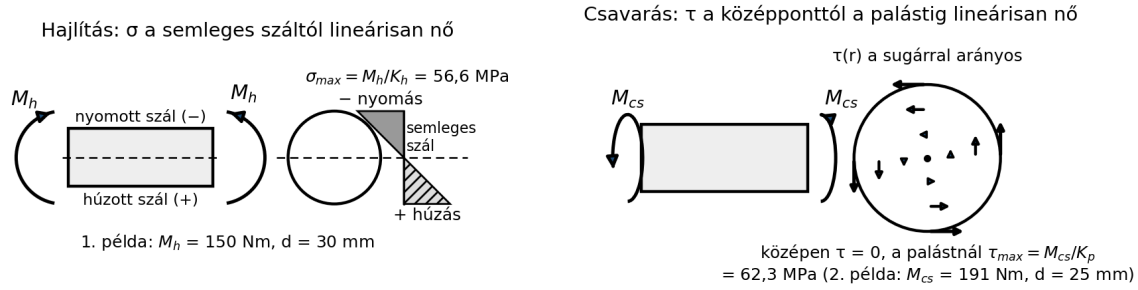
A hajtásláncban a csavarónyomatékot gyakran a teljesítményből és a fordulatszámból számítjuk:

$$P = M_{\mathrm{cs}}\omega, \qquad \omega = \frac{2\pi n}{60},$$

ahol P a teljesítmény (W), ω a szögsebesség (rad/s), n a fordulatszám (1/min). Ebből a nyomaték:

$$M_{\mathrm{cs}} = \frac{P}{\omega}.$$

A feszültség eloszlását az alábbi ábra mutatja: hajlításnál a feszültség a semleges száltól lineárisan nő (egyik oldalon nyomó, a másikon húzó), csavarásnál a középponttól a palástig; mindkettő a felületen a legnagyobb. Az ábra értékei az 1. és a 2. kidolgozott példából valók. A HTML-kiadásban M_h, M_{cs} és d csúszkával állítható, és σ_h, τ_{cs}, σ_{red} élőben számolódik (alapérték: a 3. példa).



$K_h = \pi d^3/32$, $K_p = \pi d^3/16 = 2K_h$. Mindkét feszültség a felületen a legnagyobb – ezért indul a fáradásos repedés is a felületről.

5.6. ábra. Feszültségeloszlás hajlított és csavart kör keresztmetszetben

5.3.3.3. Összetett igénybevétel

A hajtott tengelyek, csapszegek és hajtórudak jellemzően egyszerre hajlítva és csavarva vannak. A két különböző típusú feszültséget nem szabad egyszerűen összeadni. Statikus terhelésnél az összehasonlító (redukált) feszültséget a Huber–Mises–Hencky-elmélet szerint számítjuk; ismétlődő terhelésnél ezen felül kifáradásra is ellenőrizni kell (feszültséggyűjtés, Wöhler-görbe), amit a Tengelyek és csapágyazások alfejezet részletez:

$$\sigma_{\mathrm{red}} = \sqrt{\sigma_{\mathrm{h}}^2 + 3\tau_{\mathrm{cs}}^2}.$$

A tervezési feltétel ezzel:

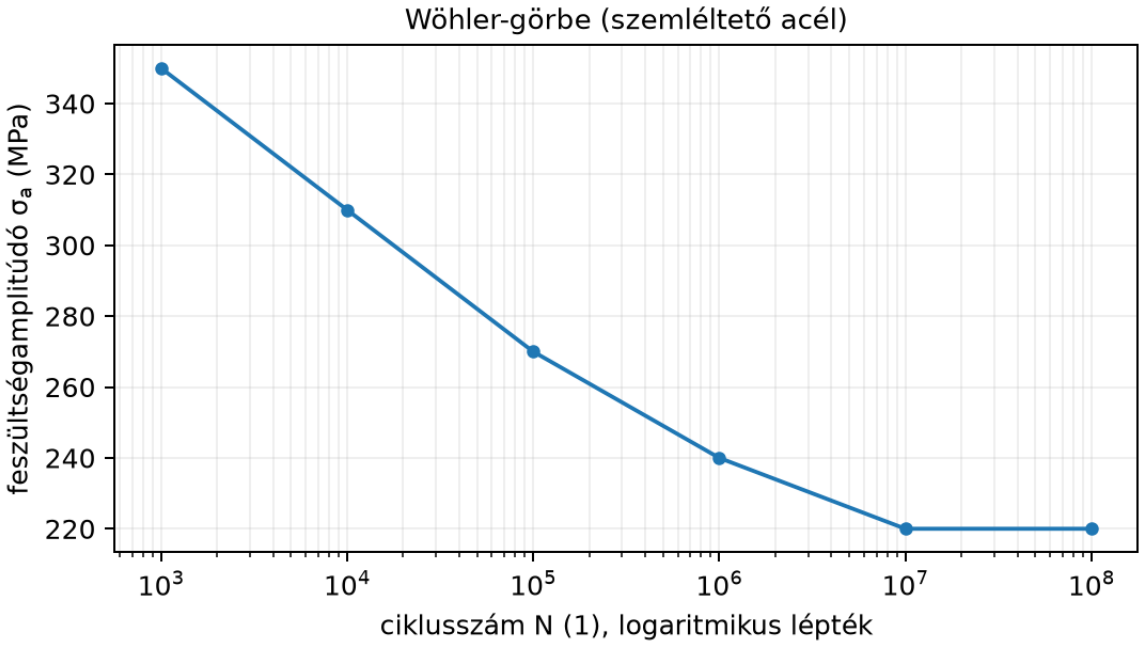
$$\sigma_{\mathrm{red}} \leq \sigma_{\mathrm{meg}},$$

ahol σ_{meg} a választott anyagra és biztonsági tényezőre megengedett feszültség.

5.3.3.4. Kifáradás

Definíció. Kifáradásnak nevezzük, amikor az anyag ismétlődő, a statikus szilárdságnál kisebb feszültség hatására bekövetkező repedésképződés és törés miatt megy tönkre.

A kifáradási viselkedést a Wöhler-görbével (S–N görbével) jellemezzük. A görbe vízszintes tengelyén a ciklusszámot N, függőleges tengelyén a feszültségamplitúdót σ_a ábrázoljuk, gyakran logaritmikus léptékben. Acéloknál a görbe nagy ciklusszámnál vízszintesbe hajlik; ezt a szintet fáradási határnak nevezzük.

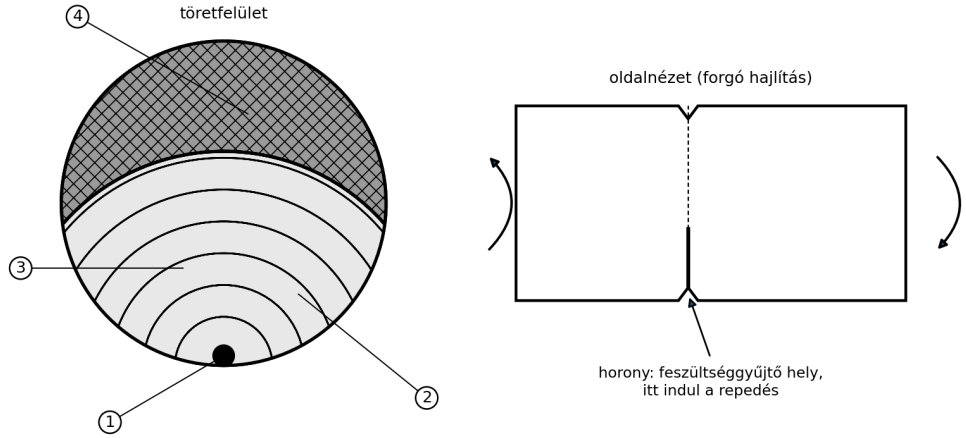


5.7. ábra. Wöhler-görbe (szemléltető acél) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor; a ciklusszám-tengely logaritmikus (10^3 … 10^8 ciklus egyenközű osztással).

A szemléltető adatsor szerint 270 MPa feszültségamplitúdóhoz nagyjából 100 000 ciklusú élettartam tartozik, míg 220 MPa alatt a töréshez szükséges ciklusszám nagyon nagy lesz, vagy gyakorlatilag nem következik be. Ez az érték nem anyagminősítésre szolgál; a valós anyagjellemzőt anyagbizonyítvány vagy gyártói adat alapján kell meghatározni (ellenőrizendő).

A kifáradási törés szinte mindig feszültséggyűjtő helyről indul: éles sarok, beszúrás, csavarmenet gyöke, reteszhorony, sajtolási él, korróziós gödör, hegesztési varrat. A feszültséggyűjtő helyeken a névleges feszültség többszöröse is felléphet. Járműipari példák: féltengely a bordánál, rugólap középső furatánál, kerékcsavar a menetgyöknél, lengőkar a hegesztésnél.

A fáradásos törés a töretfelületről felismerhető. Az alábbi sematikus rajzon ① a repedés kiindulási pontja a felületen (itt egy horony élénél), ② a nyugvóvonalak (kagylóvonalak) a repedés szakaszos előrehaladásának nyomai, ③ a sima, dörzsölt fáradt zóna, ④ a durva, szemcsés erőszakos (maradék) töret, amely az utolsó terheléskor tört el. A HTML-kiadásban a zónákra mutatva a diagnosztikai következtetés is megjelenik.



① kiindulási pont ② nyugvóvonalak (kagylóvonalak) ③ sima, dörzsölt fáradt zóna ④ durva, szemcsés erőszakos (maradék)töret
Sematikus rajz; valós töretfotóval kiegészíthető.

5.8. ábra. Fáradásos töret: kiindulási pont, nyugvóvonalak, fáradt zóna és erőszakos töret

5.3.4. Kidolgozott példák

5.3.4.1. 1. példa: hajlított tengely

Számítás. Adott: egy tömör kör keresztmetszetű tengely átmérője $d = 30\,\mathrm{mm}$, támaszköze $L = 0{,}2\,\mathrm{m}$, közepén $F = 3\,\mathrm{kN}$ erő hat. **Keresett:** a legnagyobb hajlítófeszültség.

Képlet:

$$M_{\mathrm{h,max}} = \frac{FL}{4}, \qquad K_{\mathrm{h}} = \frac{\pi d^3}{32}, \qquad \sigma_{\mathrm{h}} = \frac{M_{\mathrm{h}}}{K_{\mathrm{h}}}.$$

Behelyettesítés:

$$M_{\mathrm{h,max}} = \frac{3000\,\mathrm{N}\cdot 0{,}2\,\mathrm{m}}{4} = 150\,\mathrm{Nm} = 150\,000\,\mathrm{Nmm}.$$

$$K_{\mathrm{h}} = \frac{\pi\cdot(30\,\mathrm{mm})^3}{32} = 2650{,}6\,\mathrm{mm}^3.$$

$$\sigma_{\mathrm{h}} = \frac{150\,000\,\mathrm{Nmm}}{2650{,}6\,\mathrm{mm}^3} = 56{,}6\,\mathrm{N/mm}^2 = 56{,}6\,\mathrm{MPa}.$$

Ellenőrzés: Egy hagyományos szerkezeti acél már néhány tíz MPa hajlítófeszültséget elvisel, tehát az érték nagyságrendje elfogadható; a pontos megítéléshez anyagjellemző és gyártói adat kell.

5.3.4.2. 2. példa: csavart hajtótengely

Számítás. Adott: $P = 60\,\mathrm{kW}$, $n = 3000\,1/\mathrm{min}$, $d = 25\,\mathrm{mm}$. **Keresett:** a csavarófeszültség.

Képlet és behelyettesítés:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314{,}16\,\mathrm{rad/s}.$$

$$M_{\mathrm{cs}} = \frac{60\,000\,\mathrm{W}}{314{,}16\,\mathrm{rad/s}} = 191{,}0\,\mathrm{Nm} = 191\,000\,\mathrm{Nmm}.$$

$$K_{\mathrm{p}} = \frac{\pi \cdot (25\,\mathrm{mm})^3}{16} = 3067{,}9\,\mathrm{mm}^3.$$

$$\tau_{\mathrm{cs}} = \frac{191\,000\,\mathrm{Nmm}}{3067{,}9\,\mathrm{mm}^3} = 62{,}3\,\mathrm{MPa}.$$

Ellenőrzés: A mértékegységek összeérnek: $\mathrm{W/(rad/s)} = \mathrm{Nm}$, továbbá $\mathrm{Nmm/mm^3} = \mathrm{N/mm^2} = \mathrm{MPa}$. A kapott érték tipikus méretű acéltengelyre reális.

5.3.4.3. 3. példa: hajlítás + csavarás

Számítás. Adott: egy tengelycsonkban $M_{\mathrm{h}} = 120\,\mathrm{Nm}$, $M_{\mathrm{cs}} = 80\,\mathrm{Nm}$, $d = 30\,\mathrm{mm}$. **Keresett:** a redukált feszültség.

Először a keresztmetszeti tényezők:

$$K_{\mathrm{h}} = \frac{\pi \cdot 30^3}{32} = 2650{,}6\,\mathrm{mm}^3, \qquad K_{\mathrm{p}} = \frac{\pi \cdot 30^3}{16} = 5301{,}4\,\mathrm{mm}^3.$$

A feszültségkomponensek:

$$\sigma_{\mathrm{h}} = \frac{120\,000}{2650{,}6} = 45{,}3\,\mathrm{MPa}, \qquad \tau_{\mathrm{cs}} = \frac{80\,000}{5301{,}4} = 15{,}1\,\mathrm{MPa}.$$

$$\sigma_{\mathrm{red}} = \sqrt{45{,}3^2 + 3 \cdot 15{,}1^2} = \sqrt{2052 + 684} = \sqrt{2736} = 52{,}3\,\mathrm{MPa}.$$

Ellenőrzés: A redukált feszültség nagyobb, mint bármelyik összetevő, de kisebb, mint azok egyszerű összege. Ez megfelel az elvárásnak, mert a nyírófeszültség hatását a $\sqrt{3}$-os szorzóval vesszük figyelembe.

Keresztmetszet	Hajlítás K_h	Csavarás K_p	Megjegyzés

5.3.5. Keresztmetszeti tényezők áttekintése

Keresztmetszet	Hajlítás K_h	Csavarás K_p	Megjegyzés
tömör kör, átmérő d	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0{,}1d^3$	$\frac{\pi d^3}{16} \approx 0{,}2d^3$	gyakori tengelykivitel
körgyűrű, külső D, belső d	$\frac{\pi(D^4-d^4)}{32D}$	$\frac{\pi(D^4-d^4)}{16D}$	csőtengely, kardántengely
téglalap, $b \times h$	$\frac{bh^2}{6}$	nem egyszerű	rugólap, laposacél

A táblázat képletei a geometriából levezethetők; a konkrét alkatrészre vonatkozó mérethatárokat mindig a gyártói rajz vagy javítási utasítás adja.

5.3.6. Minőségellenőrzés

A méretezési összefüggések mellett a műhelyben az alkatrész állapotát is ellenőrizni kell. A jellemző ellenőrzési lépések:

1. Szemrevételezés: keress éles átmenetet, beszúrást, korróziós gödröt, repedést vagy deformációt.
2. Méretellenőrzés: ellenőrizd a csapágycsapok, bordák és menetek átmérőjét tolómérővel, mikrométerrel.
3. Ütésellenőrzés: mérőórával ellenőrizd a tengelyütést a gyártói határértékhez képest.
4. Repedésvizsgálat: gyanús felületen használj festékdiffúziós vagy mágneses repedésvizsgálatot.
5. Csavarkötéseknél a gyártó által előírt meghúzási nyomatékot és meghúzási sorrendet tartsd be.

Előírás. A jármű biztonsági alkatrészét – például féltengelyt, kerékcsavart, rugót, lengőkart – csak a gyártói javítási utasítás szerint szabad javítani vagy cserélni. A bemutatott szilárdsági számítások a tönkremenetel megértését szolgálják, és nem helyettesítik a gyártói alkatrészjóváhagyást (ellenőrizendő: a mindenkori gyártói javítási adat és alkatrészspecifikáció).

Figyelem. Repedt, erősen korrodált vagy deformált biztonsági alkatrészt ne hegeszgess, ne egyengess és ne toldozz. A látszólagos javítás a feszültséggyűjtő helyet és a kifáradási repedést általában tovább rontja.

5.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: „Jobb első kerék felől nagy reccsenés hallatszott, utána az autó nem hajt.”

A járművet biztonságosan megemeljük, bakokkal alátámasztjuk. A szemrevételezés során a jobb oldali hajtó féltengely eltört a külső csuklóhoz közeli beszúrás közelében. A törési felület két jól elkülöníthető zónát mutat:

- a kerület kis részén sima, kagylós, sötét, enyhén rozsdás félhold látható, ez a lassú kifáradási repedésterjedés nyoma;
- a maradék keresztmetszet durva, friss szakadási felület, ez a hirtelen, maradék statikus törés.

Az ok nagy valószínűséggel az, hogy a beszúrás vagy egy kisebb korróziós gödör feszültséggyűjtő helyként működött, és a kanyarodáskor, gyorsításkor, úthibákon ismétlődő hajlító-csavaró igénybevétel elindította a repedést. A javítás a féltengely cseréje, a csukló, a tömítések és a váltóolaj ellenőrzése. A próbaút után meg kell győződni arról, hogy nincs rendellenes zaj és vibráció.

A tanulság: a repedés soha nem a teljes keresztmetszetben indul egyszerre, ezért a vizsgálatnál a felület „előélete” legalább olyan fontos, mint a pillanatnyi méret.

5.3.8. Tipikus hibák

1. **A hajlító és a poláris keresztmetszeti tényező felcserélése.**
   Tömör körre $K_\mathrm{h} \approx 0{,}1d^3$, míg $K_\mathrm{p} \approx 0{,}2d^3$. Csavarásnál mindig a poláris tényezőt használd.
2. **A teljesítmény és a fordulatszám helytelen behelyettesítése.**
   Ha P-t kW-ban, n-t 1/min-ben írod be közvetlenül a $P = M\omega$ képletbe, az eredmény hibás lesz. Előbb váltsd át a teljesítményt wattra, a fordulatszámot radián per másodpercre.
3. **Összetett igénybevételnél a feszültségek egyszerű összeadása.**
   A $\sigma_\mathrm{red} = \sigma_\mathrm{h} + \tau_\mathrm{cs}$ képlet hamis. A helyes összehasonlító feszültség $\sigma_\mathrm{red} = \sqrt{\sigma_\mathrm{h}^2 + 3\tau_\mathrm{cs}^2}$.
4. **A kifáradás figyelmen kívül hagyása.**
   Nem elég azt kérdezni, hogy „elbírja-e egyszer”; azt is kérdezni kell, hogy „elbírja-e több százezer vagy több millió ismétlésben, éles bevágás mellett”. A váltakozó igénybevétel és a feszültséggyűjtő hely együtt sokkal veszélyesebb, mint ugyanaz a statikus terhelés.

5.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Tömör kör keresztmetszetre a poláris keresztmetszeti tényező kétszerese a hajlító keresztmetszeti tényezőnek.
2. Számítsd ki egy $d = 20\,\mathrm{mm}$ átmérőjű tömör kör keresztmetszet hajlító keresztmetszeti tényezőjét.
3. Egy tengelyre $M_\mathrm{cs} = 50\,\mathrm{Nm}$ csavarónyomaték hat, átmérője $d = 20\,\mathrm{mm}$. Mennyi a legnagyobb csavarófeszültség?
4. Hogyan számítod át a fordulatszámot szögsebességgé?
5. Mit nevezünk a Wöhler-görbe vízszintes szakaszának?
6. Miért veszélyes az éles beszúrás a tengelyen?

5.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Számítsd ki egy $d = 24\,\mathrm{mm}$ átmérőjű tömör tengely K_h és K_p értékét.

2. feladat (A). Egy kéttámaszú tengely támaszköze $L = 180\,\mathrm{mm}$, közepén $F = 2{,}4\,\mathrm{kN}$ erő hat, átmérője $d = 28\,\mathrm{mm}$. Mennyi a legnagyobb hajlítófeszültség?

3. feladat (B). Egy hajtótengely $P = 45\,\mathrm{kW}$ teljesítményt visz át $n = 2500\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon, átmérője $d = 30\,\mathrm{mm}$. Számítsd ki a csavarónyomatékot és a csavarófeszültséget.

4. feladat (B). Egy tengelyre $M_\mathrm{h} = 150\,\mathrm{Nm}$ és $M_\mathrm{cs} = 100\,\mathrm{Nm}$ hat, átmérője $d = 32\,\mathrm{mm}$. Határozd meg a redukált feszültséget.

5. feladat (C). A fenti Wöhler-görbe alapján becsüld meg, mekkora ciklusszámot visel el az anyag $\sigma_a = 270\,\mathrm{MPa}$ feszültségamplitúdónál, és mi a fáradási határ közelítő értéke.

6. feladat (D). Egy eltört rugólap törési felületét vizsgálod. A felület egy része sima, kagylós (strandvonalas) rajzolatú, más része durva, szemcsés és friss. Melyik zóna keletkezett előbb, mi okozta a elindulást, és mi volt a törés második szakasza?

5.3.11. Megoldások

5.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Tömör körre $K_\mathrm{p} = \pi d^3/16 = 2\pi d^3/32 = 2K_\mathrm{h}$.
2. $K_\mathrm{h} = \pi \cdot 20^3/32 = 785{,}4\,\mathrm{mm}^3$.
3. $K_\mathrm{p} = \pi \cdot 20^3/16 = 1570{,}8\,\mathrm{mm}^3$; $\tau_\mathrm{cs} = 50\,000/1570{,}8 = 31{,}8\,\mathrm{MPa}$.
4. $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, ahol n 1/min-ben van.
5. Fáradási határnak.
6. Mert a beszúrás feszültséggyűjtő helyet hoz létre, ahonnan kifáradási repedés indulhat.

5.3.11.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A).
$d = 24\,\mathrm{mm}$, $d^3 = 13\,824\,\mathrm{mm}^3$.
$K_\mathrm{h} = \pi \cdot 13\,824/32 = 1357{,}2\,\mathrm{mm}^3$.
$K_\mathrm{p} = \pi \cdot 13\,824/16 = 2714{,}3\,\mathrm{mm}^3$.

2. feladat (A).
$F = 2400\,\mathrm{N}$, $L = 0{,}18\,\mathrm{m}$.
$M_\mathrm{h,max} = FL/4 = 2400 \cdot 0{,}18/4 = 108\,\mathrm{Nm} = 108\,000\,\mathrm{Nmm}$.
$K_\mathrm{h} = \pi \cdot 28^3/32 = 2155{,}1\,\mathrm{mm}^3$.
$\sigma_\mathrm{h} = 108\,000/2155{,}1 = 50{,}1\,\mathrm{MPa}$.

3. feladat (B).
$\omega = 2\pi \cdot 2500/60 = 261{,}8\,\mathrm{rad/s}$.
$P = 45\,000\,\mathrm{W}$, így $M_\mathrm{cs} = 45\,000/261{,}8 = 171{,}9\,\mathrm{Nm} = 171\,900\,\mathrm{Nmm}$.
$K_\mathrm{p} = \pi \cdot 30^3/16 = 5301{,}4\,\mathrm{mm}^3$.
$\tau_\mathrm{cs} = 171\,900/5301{,}4 = 32{,}4\,\mathrm{MPa}$.

4. feladat (B).
$d = 32\,\mathrm{mm}$, $d^3 = 32\,768\,\mathrm{mm}^3$.
$K_\mathrm{h} = \pi \cdot 32\,768/32 = 3217{,}0\,\mathrm{mm}^3$.
$K_\mathrm{p} = \pi \cdot 32\,768/16 = 6434{,}0\,\mathrm{mm}^3$.
$\sigma_\mathrm{h} = 150\,000/3217{,}0 = 46{,}6\,\mathrm{MPa}$.
$\tau_\mathrm{cs} = 100\,000/6434{,}0 = 15{,}5\,\mathrm{MPa}$.
$\sigma_\mathrm{red} = \sqrt{46{,}6^2 + 3 \cdot 15{,}5^2} = 53{,}8\,\mathrm{MPa}$.

5. feladat (C).
A szemléltető görbe szerint $\sigma_a = 270\,\mathrm{MPa}$ értékhez jellemzően $N \approx 100\,000$ ciklus tartozik. A fáradási határ közelítőleg 220 MPa, mert ez alatt a görbe vízszintesbe hajlik. Az érték csak tanulási példa, valós anyagjellemzőt anyagbizonyítványból kell venni.

6. feladat (D).
A sima, kagylós zóna keletkezett előbb: ez a kifáradási repedés lassú terjedésének nyoma. A repedés feszültséggyűjtő helyről – például felületi karcból, korróziós gödörből vagy a rugólap furatának éléről – indult. Amikor a maradék keresztmetszet már nem bírta a terhelést, a második szakaszban hirtelen statikus szakadás következett be, ezért durva és friss a felület.

5.3.12. Rövid összefoglaló

Hajlításnál a feszültséget a hajlítónyomaték és a hajlító keresztmetszeti tényező hányadosa adja: $\sigma_{\mathrm{h}} = M_{\mathrm{h}}/K_{\mathrm{h}}$. Tömör körre $K_{\mathrm{h}} \approx 0{,}1d^3$. Csavarásnál $\tau_{\mathrm{cs}} = M_{\mathrm{cs}}/K_{\mathrm{p}}$, tömör körre $K_{\mathrm{p}} \approx 0{,}2d^3$. A hajtott tengelyen a nyomaték a teljesítményből és a fordulatszámból számítható: $P = M_{\mathrm{cs}}\omega$, $\omega = 2\pi n/60$. Ha hajlítás és csavarás együtt hat, az összehasonlító redukált feszültség $\sigma_{\mathrm{red}} = \sqrt{\sigma_{\mathrm{h}}^2 + 3\tau_{\mathrm{cs}}^2}$, amely nem az összetevők egyszerű összege. A kifáradás ismétlődő igénybevételnél a statikus szilárdságnál kisebb feszültségen is törést okoz; a Wöhler-görbe a feszültségamplitúdó és a ciklusszám kapcsolatát mutatja. Acélnál a görbe fáradási határrá vízszintesedik. A törés feszültséggyűjtő helyekről indul: éles beszúrás, korróziós gödör, menetgyök. **Továbbvitt eredmény:** ezeket az összefüggéseket a Tengelyek és csapágyazások alfejezetben a tengelyátmérő, az anyagválasztás, a geometriai átmenetek és a csapágyazás megítélésére használjuk. Repedt biztonsági alkatrészt hegeszteni vagy egyengetni tilos; a javítás a gyártói utasítás szerint történjen.

5.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

- A hajlítás, csavarás, redukált feszültség és kifáradás alapösszefüggései a mechanika és szilárdságtan stabil, tankönyvi összefüggései.
- A példaszámítások anyagjellemzőktől független geometriai és terhelési értékeket használnak; a feltüntetett Wöhler-görbe és a fáradási határ szemléltető, kitalált tanulási adatsor.
- A tényleges fáradási határ, folyáshatár és megengedett feszültség anyagbizonyítvány vagy gyártói adat alapján ellenőrizendő.
- A járműbiztonsági alkatrészek javítására, cseréjére és meghúzási nyomatékaira mindig a gyártói javítási utasítás a mérvadó (ellenőrizendő: az adott járműhöz tartozó gyártói javítási adat).

5.4. Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia

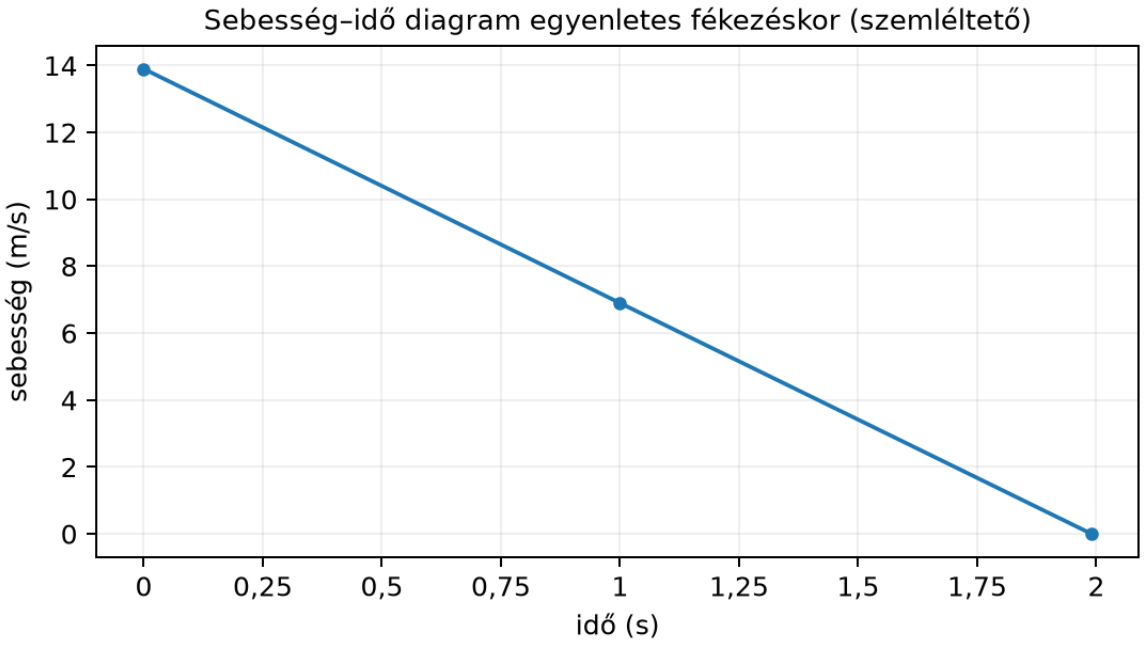
5.4.1. Motiváció

Az autószerelő műhelyben a kinematika és a kinetika nem táblai elmélet: amikor próbaúton lefékezel egy autót, kerekekkel emelőn forgatod a hajtást, vagy egy lendkerekes motor egyenetlen járását vizsgálod, mozgást, erőt, munkát és teljesítményt mérsz, számolsz. Ha a fékút a kelleténél hosszabb, a gyorsulás elmarad a várttól, vagy a motor nyomatékát kell visszaszámolnod a mért fordulatszámból, a kinematika és a kinetika egyenletei nélkül csak találgatnál.

Ebben az alfejezetben a mozgás leírásától eljutunk a mozgást okozó erőkig, majd a munka, a teljesítmény és az energia fogalmáig. A cél nem a fizika magolása, hanem az, hogy a tanuló a műhelyben **számszerűen** tudjon fékutat, féklassulást, gyorsítást, hajtóerőt, motorteljesítményt és nyomatékot becsülni, illetve ellenőrizni.

5.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy próbaút-mérést: az autó 50 km/h sebességről fékez, és a mérőműszer rögzíti a sebességet az idő függvényében. A kapott diagram egy lejtő egyenes, amelyet az alábbi ábra mutat:



5.9. ábra. Sebesség–idő diagram egyenletes fékezéskor (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor; a görbe alatti terület a fékút.

A diagram két dolgot tesz láthatóvá. Az egyenes meredeksége a gyorsulás (itt lassulás), a görbe alatti terület pedig a megtett út. Ha a görbe nem egyenes, a mozgás nem egyenletesen változó; akkor a mérést szakaszonként kell értékelni, vagy numerikus módszert használni. A műhelyi mérőműszerek (például a diagnosztikai teszter és a fékhatásmérő) gyakran éppen ilyen adatokat adnak vissza.

5.4.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **kinematika** a mozgások leírásával foglalkozik, függetlenül az őket okozó erőktől. A **kinetika** (a dinamika része) a mozgás és az erők kapcsolatát vizsgálja.

Definíció. Az **egyenes vonalú egyenletes mozgás** sebessége állandó, ezért az út:

$$s = v\,t.$$

Definíció. Az **egyenes vonalú egyenletesen változó mozgás** gyorsulása állandó. Az alapösszefüggések:

$$v = v_0 + a\,t, \qquad s = v_0\,t + \frac{1}{2}\,a\,t^2, \qquad v^2 = v_0^2 + 2\,a\,s.$$

Itt v_0 a kezdősebesség, a a gyorsulás (lassulásnál negatív), t az idő, s a megtett út.

Definíció. A **szögsebesség** a forgó test szögelfordulásának időbeli változása. Ha a fordulatszám n (1/min), akkor:

$$\omega = \frac{2\,\pi\,n}{60}.$$

A **kerületi sebesség** az r sugarú pontban:

$$v = \omega r = \frac{2\pi r n}{60}.$$

A kerék kerületi sebessége közelítőleg a jármű haladási sebessége, ha nincs jelentős kipörgés vagy csúszás.

Definíció. Newton II. törvénye szerint a testre ható erők eredője egyenlő a test tömegének és gyorsulásának szorzatával:

$$F = m\,a.$$

Az erőt newtonban (N), a tömeget kilogrammban (kg), a gyorsulást m/s²-ben mérjük.

Definíció. A **D'Alembert-elv** a dinamikai feladatot statikai egyensúlyi feladattá alakítja: a testre ható aktív erőkhöz hozzáadjuk a **tehetetlenségi erőt**, amelynek nagysága $m\,a$, iránya a gyorsulással ellentétes. A test ezekkel a fiktív erőkkel együtt egyensúlyiban van. Gyakorlati jelentősége, hogy a gyorsuló jármű alkatrészeire ható terhelést így tudjuk a statikai egyensúly módszereivel számolni.

Definíció. A **mechanikai munka** az erő és az erő irányába eső elmozdulás szorzata:

$$W = Fs\,\cos\alpha,$$

ahol α az erő és az elmozdulás közötti szög. Ha az erő az elmozdulással azonos irányú, $W = Fs$. A munka mértékegysége a joule (J), amit gyakran kilojoule-ban vagy wattóra-egységben is kifejezünk a járműves gyakorlatban.

Definíció. A **teljesítmény** az időegység alatt végzett munka:

$$P = \frac{W}{t}.$$

Ha az erő és a sebesség azonos irányú, a teljesítmény:

$$P = Fv.$$

Forgó mozgásnál az M nyomatékkal átvitt teljesítmény:

$$P = M\omega.$$

A teljesítmény SI-mértékegysége a watt (W); a járművillamosságban és a motortechnikában gyakran kilowattot (kW) használunk.

Definíció. A **hatásfok** a hasznos teljesítmény és a bevezetett teljesítmény hányadosa:

$$\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{bevezetett}}}.$$

A hatásfok mindig 0 és 1 közötti szám, gyakran százalékban adjuk meg. A jármű hajtásláncában a veszteségeket a tengelykapcsoló, a sebességváltó, a kardánhajtás, a tengelyhajtás és a csapágyak súrlódása okozza (a gumiabroncs gördülési ellenállását a menetellenállások között vesszük

figyelembe, lásd Menetellenállások és teljesítményszükséglet); ezért a keréken leadott teljesítmény kisebb a motor főtengelyen leadott teljesítménynél.

Definíció. A **mozgási energia**:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m\, v^2.$$

A **helyzeti energia** az emelkedéskor tárolt energia:

$$E_{\text{pot}} = m\, g\, h,$$

ahol h a magasság, $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás. A **munka–energia tétel** szerint a testre ható eredő erő munkája megváltoztatja a test mozgási energiáját: $W = \Delta E_{\text{kin}}$.

Definíció. A merev test forgási tehetetlenségét a **tehetetlenségi nyomaték** J jellemzi. Szemléletesen: minél nagyobb a tömeg és minél távolabb van a forgástengelytől, annál nagyobb a tehetetlenségi nyomaték. A forgó test mozgási energiája:

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2.$$

A járműmotorban a **lendkerék** nagy tehetetlenségi nyomatékú tárcsa, amely a lökésszerű égési folyamatok között tárolja a forgási energiát, simítja a forgattyústengely szögsebesség-ingadozását.

5.4.4. Felépítés és működés

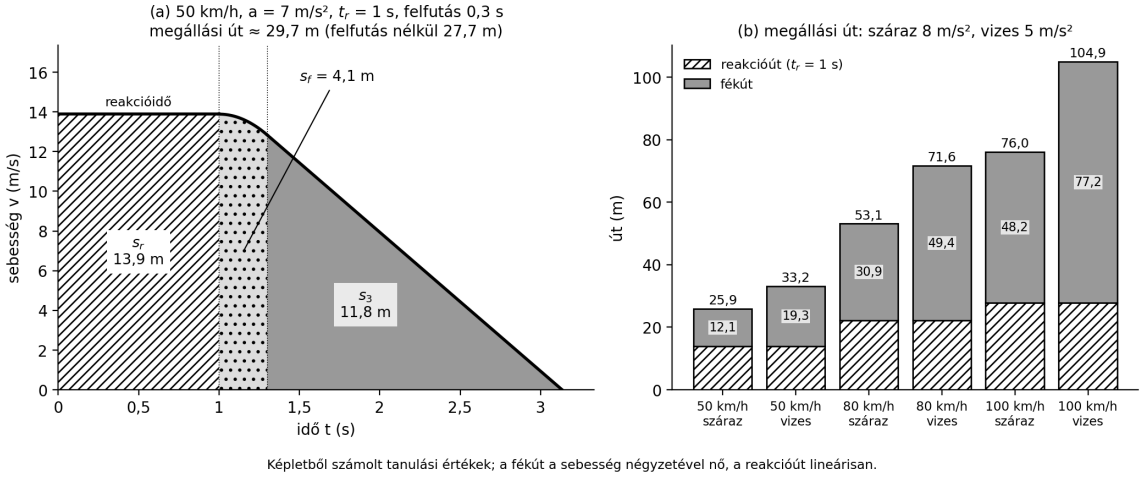
5.4.4.1. Egyenes vonalú mozgás és kinematikai diagramok

A műhelyben a jármű mozgását gyakran sebesség–idő diagramon rögzítjük. A diagram meredeksége a gyorsulás, a görbe alatti terület az út. A fékezési folyamatot három szakaszra bonthatjuk:

1. **Reakcióidő**: a vezető észleli a veszélyt, amíg a fékpedált megnyomja; a jármű közel állandó sebességgel halad. Az út $s_1 = v_0\, t_{\text{reakció}}$.
2. **Felfutási idő**: a féknyomás felépül; a lassulás nulláról a teljes értékre nő.
3. **Teljes fékezés**: a lassulás közel állandó; az út $s_3 = \frac{v_0^2}{2\,|a|}$.

A teljes fékút ezek összege. A gyakorlatban a fékút mérésekor a teljes folyamatot mérik, és abból átlagos lassulást számolnak.

A három szakaszt az alábbi ábra (a) része v–t diagramon mutatja: az egyes szakaszok alatti terület a reakcióút (s_r), a felfutás alatti út (s_f) és a fékút (s_3). A (b) rész 50, 80 és 100 km/h-ról, száraz ($8\,\text{m/s}^2$) és vizes ($5\,\text{m/s}^2$) úton, $t_r = 1\,\text{s}$ reakcióidővel hasonlítja össze a megállási utat: a reakcióút a sebességgel arányosan, a fékút a sebesség négyzetével nő. A HTML-kiadás kalkulátorában a kezdősebesség, a reakcióidő, a lassulás és a felfutási idő állítható (alapérték: az 1. kidolgozott példa, 27,7 m).



Képletből számolt tanulási értékek; a fékút a sebesség négyzetével nő, a reakcióút lineárisan.

5.10. ábra. Megállási út: reakcióút, felfutás és fékút

5.4.4.2. Körmozgás

A jármű kereke, a motor főtengelye, a generátor és a ventilátor forgó mozgást végez. A szögsebesség és a kerületi sebesség kapcsolata alapvető: ha a motor fordulatszáma $n = 3000\,1/\text{min}$, akkor a szögsebessége $\omega = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314\,\text{rad/s}$. Ha a főtengelyre szerelt tárcsa sugara $r = 0{,}1\,\text{m}$, akkor a tárcsa kerületén a pont sebessége $v = 314 \cdot 0{,}1 = 31{,}4\,\text{m/s}$.

5.4.4.3. Hajítások

A függőleges és ferde hajítás a járműtechnikában ritkábban önálló feladat, de a kerék által felvert kő, a lengéscsillapító mozgása, vagy egy kilőtt csap mozgása ezzel írható le. A függőleges hajításnál a mozgás egyenletesen változó, ahol a gyorsulás a nehézségi gyorsulás. A ferde hajítást vízszintes és függőleges összetevőkre bontjuk: a vízszintes mozgás egyenletes, a függőleges egyenletesen változó. Ezt az elvet használjuk majd a menetdinamika emelkedős útjainál is.

5.4.4.4. D'Alembert-elv a gyakorlatban

Amikor egy autó gyorsul, a karosszériára, a motorra és a rakományra tehetetlenségi erők hatnak. A D'Alembert-elvvel ezeket statikai terhelésként vehetjük figyelembe. Például ha egy $m = 1200\,\text{kg}$ tömegű autó $a = 3\,\text{m/s}^2$ gyorsulással indul, a tehetetlenségi erő $F_\text{t} = m\,a = 3600\,\text{N}$, hátrafelé mutatva. A motor hátulja ilyenkor erősebben nyomja a hátsó motortartó bakokat, mert a tehetetlenségi erő a tömegközéppontban hat, és a felfüggesztési pontok terhelést kapnak.

5.4.4.5. Munka, teljesítmény, energia

A járműmotor égési folyamata a dugattyún keresztül munkát végez. Ez a munka a főtengelyen forgómunkává alakul: $W = M\,\Delta\varphi$, ahol $\Delta\varphi$ a szögelfordulás radiánban. Egy teljes fordulat $\Delta\varphi = 2\pi$, így az egy fordulat alatt végzett munka $W_\text{ford} = 2\pi\,M$. Ha a motor n fordulatot tesz meg percenként, a teljesítmény:

$$P = M\,\omega = M\,\frac{2\pi n}{60}.$$

Ez az összefüggés köti össze a gyártói nyomaték- és teljesítményadatokat. Ugyanezzel számítható ki a keréken leadott vonóerő teljesítménye is, ha ismerjük a hajtáslánc áttételét és hatásfokát.

A mozgó jármű mozgási energiája a fékezéskor a fékekben hővé alakul. Ezért a nagy sebességről történő fékezéskor a fékbetétek és a féktárcsák hőterhelése a sebesség négyzetével nő: kétszeres sebesség négyszeres hőt jelent. Ezt az elvet használjuk a fékút és a fékenergia számításakor.

5.4.5. Kidolgozott példák

1. példa (fékút számítása). Egy személygépkocsi $v_0 = 50\,\mathrm{km/h} = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$ sebességről fékez. A mért átlagos lassulás $a = -7\,\mathrm{m/s^2}$. Határozzuk meg a megállási időt és a fékutat!

A megállásig eltelt idő:

$$t = \frac{v_0}{|a|} = \frac{13{,}9}{7} = 1{,}99\,\mathrm{s}.$$

A fékút az egyenletesen lassuló mozgás képletéből:

$$s = \frac{v_0^2}{2\,|a|} = \frac{13{,}9^2}{2 \cdot 7} = \frac{193}{14} \approx 13{,}8\,\mathrm{m}.$$

Ha a vezető reakcióideje $t_\mathrm{r} = 1\,\mathrm{s}$, akkor ezen idő alatt az autó $s_\mathrm{r} = v_0\,t_\mathrm{r} = 13{,}9\,\mathrm{m}$ utat tesz meg, így a teljes megállási út közelítőleg $13{,}9 + 13{,}8 \approx 27{,}7\,\mathrm{m}$. Ez a reakcióidő nélküli tiszta fékút több mint kétszerese.

2. példa (gyorsítás és teljesítmény). Egy $m = 1200\,\mathrm{kg}$ tömegű autó álló helyzetből $t = 9\,\mathrm{s}$ alatt gyorsul $v = 100\,\mathrm{km/h} = 27{,}8\,\mathrm{m/s}$ sebességre. Tegyük fel, hogy a gyorsulás közel állandó. Számítsuk ki az átlagos gyorsulást, az ehhez szükséges átlagos hajtóerőt, a mozgási energia növekedését és az átlagos hajtóteljesítményt (légellenállás és gördülési ellenállás nélkül)!

Az átlagos gyorsulás:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{27{,}8}{9} \approx 3{,}09\,\mathrm{m/s^2}.$$

A szükséges hajtóerő:

$$F = m\,a = 1200 \cdot 3{,}09 \approx 3700\,\mathrm{N}.$$

A mozgási energia növekedése:

$$\Delta E_\mathrm{kin} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1200 \cdot 27{,}8^2 \approx 464\,000\,\mathrm{J} = 464\,\mathrm{kJ}.$$

Az átlagos teljesítmény:

$$P_\mathrm{átlag} = \frac{\Delta E_\mathrm{kin}}{t} = \frac{464\,000}{9} \approx 51{,}6\,\mathrm{kW}.$$

A valóságban a motornak ennél nagyobb teljesítményt kell leadnia, mert a légellenállást, a gördülési ellenállást és a hajtáslánc veszteségeit is le kell győznie. Állandó gyorsulásnál a pillanatnyi teljesítmény $P = Fv$ a sebességgel arányosan nő: a gyorsítás elején közel nulla,

a 9. másodperc végén már $3707\,\mathrm{N}\cdot 27{,}8\,\mathrm{m/s}\approx 103\,\mathrm{kW}$ kellene, az átlag kétszerese. Ezért a valós járműnél a gyorsulás a sebesség növekedésével csökken, mert a motor nem adhat le a csúcsteljesítményénél többet.

3. példa (motor nyomaték és teljesítmény kapcsolata). Egy benzinmotor $n = 4000\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon $P = 75\,\mathrm{kW} = 75\,000\,\mathrm{W}$ teljesítményt ad le. Mekkora a főtengely nyomatéka?

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi\cdot 4000}{60} \approx 418{,}9\,\mathrm{rad/s}.$$

A nyomaték:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{75\,000}{418{,}9} \approx 179\,\mathrm{Nm}.$$

Ha ugyanez a motor $2000\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon 160 Nm nyomatékot ad le, akkor a teljesítménye:

$$\omega = \frac{2\pi\cdot 2000}{60} \approx 209{,}4\,\mathrm{rad/s},$$

$$P = M\omega = 160\cdot 209{,}4 \approx 33\,500\,\mathrm{W} = 33{,}5\,\mathrm{kW}.$$

Ez jól mutatja, hogy a nyomaték önmagában nem elég a jármű menetteljesítményének megítéléséhez; a teljesítmény a fordulatszámmal együtt számít.

5.4.6. Minőségellenőrzés

A mozgással és erővel kapcsolatos számítások ellenőrzése a műhelyben két irányból történik: méréssel és számolással.

- A **lassulást és a fékutat** próbaúton, zárt területen, hitelesített mérőműszerrel mérik. A mért lassulásból a fékhatásosztály számítható; a hatósági fékvizsgálat követelményeit a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezet tárgyalja. A közúti próbamérés tanulói környezetben tilos, csak oktató felügyeletével és biztonságos, elkerített területen végezhető.
- A **teljesítményt és a nyomatékot** görgős teljesítménymérő padon mérik. A motor $P = M\omega$ összefüggéséből a nyomaték a mért teljesítményből visszaszámítható, ha a fordulatszám ismert. A gyártói adatokat a motorjellemzők alfejezetben (Motorjellemzők) használjuk fel.
- A **számítások mértékegység-ellenőrzése** egyszerű, de hatékony: a sebességet mindig m/s-ban, a fordulatszámot 1/min-ben, a teljesítményt W-ban vagy kW-ban, a nyomatékot Nm-ben kell behelyettesíteni. Ha a mértékegység nem stimmel, a képletbe behelyettesített érték hibás.
- A **munka–energia tétel** ellenőrzésére a gyorsítási mérésből számított mozgási energia növekedést össze kell vetni a hajtáslánc becsült veszteségeivel. Ha a mért gyorsuláshoz szükséges energia lényegesen nagyobb a motor leadott energiájánál, akkor a rendszerben csúszás, szorulás vagy más veszteség van.

5.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Eset: hosszú fékút.

Az ügyfél panasza: az autó fékútja megnőtt, a fékpedál mélyen fog. A műhelyben a szerelő először megvizsgálja a fékrendszert, majd zárt pályán mérőműszerrel fékezési tesztet végez. A jármű $v_0 = 80\,\mathrm{km/h} = 22{,}2\,\mathrm{m/s}$ sebességről fékez, és a mért fékút $s = 42\,\mathrm{m}$. A szerelő kiszámolja az átlagos lassulást:

$$a = \frac{v_0^2}{2\,s} = \frac{22{,}2^2}{2 \cdot 42} \approx \frac{493}{84} \approx 5{,}87\,\mathrm{m/s^2}.$$

A modern személygépkocsik jó állapotú fékrendszerrel száraz, jól tapadó úton ennél nagyobb, jellemzően 7–9 $\mathrm{m/s^2}$ lassulást érnek el (ellenőrizendő: a konkrét jármű gyártói adata és a hatályos előírás). A mért érték tehát elmarad a várttól.

A szerelő ezután a fékhatásmérő padon megméri a kerekek fékerő-eloszlását, és kiderül, hogy a jobb hátsó fékhenger szivárog, ezért az adott kerék fékerője kicsi. A szivárgó fékhengert a gyártói előírás szerint cserélik, a rendszert légtelenítik. Az újabb próbaúton a fékút $s = 32\,\mathrm{m}$ lesz, amiből a lassulás $a = \frac{22{,}2^2}{2 \cdot 32} \approx 7{,}7\,\mathrm{m/s^2}$. A javítás a számított lassulás alapján ellenőrzötten sikeres.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák, nem helyettesítik a hatósági fékvizsga követelményeit.

5.4.8. Tipikus hibák

1. **Km/h és m/s keverése.** A sebességet a kinematikai képletekbe gyakran km/h-ban helyettesítik be, pedig az SI-egység a m/s. Helyes gyakorlat: $50\,\mathrm{km/h} = \frac{50}{3{,}6} \approx 13{,}9\,\mathrm{m/s}$.
2. **Az átlagsebesség hibás használata.** Egyenletesen változó mozgásnál az átlagsebesség $\frac{v_0+v}{2}$, de sokan a kezdősebességgel vagy a végsebességgel számolnak. A fékút képletének levezetésekor ezt a hibát elkerülhetjük, ha a $s = \frac{v_0^2}{2\,|a|}$ összefüggést használjuk.
3. **A tehetetlenségi erő elfelejtése.** Gyorsuló járműnél a motortartó bakokra és a felfüggesztési pontokra ható terhelést sokan csak a súlyerőből számolják. A D'Alembert-elv szerint a tehetetlenségi erőt is hozzá kell adni, mert a gyorsulás hátrafelé mutató terhelést okoz.
4. **A nyomaték és a teljesítmény összekeverése.** A nyomaték önmagában nem adja meg a jármű gyorsulását, mert a teljesítmény a fordulatszámmal együtt határozza meg. Például 400 Nm nagy nyomaték 1000 1/min fordulaton $P = 400 \cdot 104{,}7 \approx 42\,\mathrm{kW}$, míg ugyanez a nyomaték 4000 1/min-en már $\approx 168\,\mathrm{kW}$.

5.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a sebesség–idő diagram alatti terület a gyorsulás? (Indokolj!)
2. Egy autó 72 km/h sebességről 3 s alatt áll meg egyenletesen. Mekkora a lassulása és a fékútja?
3. Mit mond ki a D'Alembert-elv, és mi a tehetetlenségi erő iránya?
4. Egy motor 150 Nm nyomatékot ad le 3000 1/min fordulatszámon. Mekkora a leadott teljesítmény kilowattban?
5. Hogyan változik egy jármű mozgási energiája, ha a sebessége megduplázódik?
6. Mi a különbség a sebesség és a szögsebesség között a járműtechnikában?

5.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Egy motorkerékpár $v_0 = 90\,\mathrm{km/h}$ sebességről egyenletesen fékez, lassulása $a = -6\,\mathrm{m/s^2}$. Számítsa ki a megállási időt és a fékutat!

2. feladat (A). Fogalmazza meg a munka–energia tételt, és adja meg a mozgási energia képletét!

3. feladat (B). Egy $m = 1400\,\mathrm{kg}$ tömegű autó 0-ról 100 km/h-ra 8 s alatt gyorsul. Számítsa ki az átlagos gyorsulást, az átlagos hajtóerőt, a mozgási energia növekedését és az átlagos hajtóteljesítményt (légellenállás nélkül)!

4. feladat (B). Egy motor $n = 2500\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon $M = 210\,\mathrm{Nm}$ nyomatékot ad le. Számítsa ki a leadott teljesítményt! Ugyanez a motor 4500 1/min-en 180 Nm nyomatékot ad. Melyik fordulatszámon nagyobb a leadott teljesítmény?

5. feladat (C). Száraz úton a lassulás $a_1 = 8\,\mathrm{m/s^2}$, vizes úton $a_2 = 5\,\mathrm{m/s^2}$. Számítsa ki a fékutat mindkét esetben $v_0 = 100\,\mathrm{km/h}$ kezdősebességről, és értelmezze az eredményt a követési távolságra nézve!

6. feladat (D). Egy jármű $m = 1500\,\mathrm{kg}$ tömegű. A motor $P_{\mathrm{motor}} = 90\,\mathrm{kW}$ teljesítményt ad le $n = 3500\,1/\mathrm{min}$-en. A hajtáslánc hatásfoka $\eta = 0{,}85$. A jármű 80 km/h-ról 120 km/h-ra 12 s alatt gyorsul. Számítsa ki az átlagos gyorsulást, a szükséges kerületi erőt, a mozgási energia növekedését, és becsülje meg a keréken leadott átlagos teljesítményt! Gyanús-e, hogy a hajtáslánc nem adja át a motor teljesítményét, ha közben a menetellenállást ebben a tartományban átlagosan 600 N-nak mérjük? (Tipp: hasonlítsa össze a szükséges és a rendelkezésre álló kerületi teljesítményt.)

5.4.11. Megoldások

5.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A sebesség–idő diagram alatti terület az út, a meredekség a gyorsulás.
2. $v_0 = 72\,\mathrm{km/h} = 20\,\mathrm{m/s}$. A lassulás $a = \frac{v_0}{t} = \frac{20}{3} \approx 6{,}67\,\mathrm{m/s^2}$; a fékút $s = \frac{v_0^2}{2\,|a|} = \frac{20^2}{2 \cdot 6{,}67} \approx 30\,\mathrm{m}$.
3. A D'Alembert-elv szerint a gyorsuló testre ható aktív erőkhöz a tehetetlenségi erőt hozzávéve a test egyensúlyban van; a tehetetlenségi erő a gyorsulással ellentétes irányú, nagysága $m\,a$.
4. $\omega = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314{,}2\,\mathrm{rad/s}$; $P = M\omega = 150 \cdot 314{,}2 \approx 47\,100\,\mathrm{W} = 47{,}1\,\mathrm{kW}$.
5. A mozgási energia a sebesség négyzetével arányos, ezért dupla sebesség négyszeres mozgási energiát jelent.
6. A sebesség a haladó mozgás jellemzője, m/s-ban; a szögsebesség a forgó mozgás jellemzője, rad/s-ban. A kerék kerületi sebességét a szögsebesség és a sugár szorzataként kapjuk: $v = \omega r$.

5.4.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat.
Adott: $v_0 = 90\,\mathrm{km/h} = 25\,\mathrm{m/s}$, $a = -6\,\mathrm{m/s^2}$.
Keresett: t, s.
A megállási idő: $t = \frac{v_0}{|a|} = \frac{25}{6} \approx 4{,}17\,\mathrm{s}$.
A fékút: $s = \frac{v_0^2}{2\,|a|} = \frac{25^2}{2 \cdot 6} = \frac{625}{12} \approx 52{,}1\,\mathrm{m}$.
Ellenőrzés: a fékút nagyságrendje 50 m körüli, ami 90 km/h-ról reális.

2. feladat.
A munka–energia tétel: a testre ható eredő erő munkája megegyezik a test mozgási energiájának megváltozásával: $W = \Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 - \frac{1}{2}\,m\,v_0^2$. A mozgási energia: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,v^2$.

3. feladat.
Adott: $m = 1400\,\text{kg}$, $v = 100\,\text{km/h} = 27{,}8\,\text{m/s}$, $t = 8\,\text{s}$.
Átlagos gyorsulás: $a = \frac{v}{t} = \frac{27{,}8}{8} \approx 3{,}47\,\text{m/s}^2$.
Hajtóerő: $F = m\,a = 1400 \cdot 3{,}47 \approx 4860\,\text{N}$.
Mozgási energia: $\Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1400 \cdot 27{,}8^2 \approx 540\,000\,\text{J} = 540\,\text{kJ}$.
Átlagos teljesítmény: $P = \frac{\Delta E_{\text{kin}}}{t} = \frac{540\,000}{8} = 67\,500\,\text{W} = 67{,}5\,\text{kW}$.
Ellenőrzés: a hajtóerő és a teljesítmény reális egy középkategóriás autónál.

4. feladat.
Első fordulatszám: $\omega_1 = \frac{2\pi \cdot 2500}{60} \approx 261{,}8\,\text{rad/s}$; $P_1 = M\omega_1 = 210 \cdot 261{,}8 \approx 55\,000\,\text{W} = 55\,\text{kW}$.
Második fordulatszám: $\omega_2 = \frac{2\pi \cdot 4500}{60} \approx 471{,}2\,\text{rad/s}$; $P_2 = 180 \cdot 471{,}2 \approx 84\,800\,\text{W} \approx 84{,}8\,\text{kW}$.
Tehát 4500 1/min-en nagyobb a leadott teljesítmény, bár a nyomaték kisebb.

5. feladat.
$v_0 = 100\,\text{km/h} = 27{,}8\,\text{m/s}$.
Száraz: $s_1 = \frac{27{,}8^2}{2 \cdot 8} \approx \frac{772}{16} \approx 48{,}3\,\text{m}$.
Vizes: $s_2 = \frac{27{,}8^2}{2 \cdot 5} \approx \frac{772}{10} \approx 77{,}2\,\text{m}$.
A vizes úton a fékút mintegy 29 méterrel hosszabb. A követési távolságot ezért esőben, vizes úton jelentősen növelni kell, mert a fékút a tapadás csökkenésével a lassulás csökkenése miatt nő.

6. feladat.
Átlagos gyorsulás: $\Delta v = 120 - 80 = 40\,\text{km/h} = 11{,}1\,\text{m/s}$; $a = \frac{11{,}1}{12} \approx 0{,}93\,\text{m/s}^2$.
Szükséges kerületi erő (a gyorsításhoz és a menetellenálláshoz): $F_{\text{kerék}} = m\,a + F_{\text{ellen}} = 1500 \cdot 0{,}93 + 600 \approx 1395 + 600 = 1995\,\text{N}$.
A mozgási energia növekedése 80-ról 120 km/h-ra:
$v_1 = 80\,\text{km/h} = 22{,}2\,\text{m/s}$, $v_2 = 120\,\text{km/h} = 33{,}3\,\text{m/s}$;
$\Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 1500 \cdot (33{,}3^2 - 22{,}2^2) = 750 \cdot (1109 - 493) \approx 462\,000\,\text{J} = 462\,\text{kJ}$.
Átlagos kerületi teljesítmény: $P_{\text{kerék, szüks}} = \frac{\Delta E_{\text{kin}}}{t} = \frac{462\,000}{12} \approx 38\,500\,\text{W} = 38{,}5\,\text{kW}$ plusz a menetellenállás teljesítménye: $P_{\text{ellen}} = F_{\text{ellen}} \cdot v_{\text{átlag}} = 600 \cdot \frac{22{,}2 + 33{,}3}{2} \approx 600 \cdot 27{,}75 = 16\,650\,\text{W} \approx 16{,}7\,\text{kW}$. A teljes szükséges kerületi teljesítmény $38{,}5 + 16{,}7 \approx 55{,}2\,\text{kW}$.
A motor által leadott teljesítmény a hajtáslánc hatásfokával: $P_{\text{kerék, kapott}} = \eta \cdot P_{\text{motor}} = 0{,}85 \cdot 90 = 76{,}5\,\text{kW}$.
Mivel a kapott kerületi teljesítmény (76,5 kW) nagyobb a szükségesnél (55,2 kW), a mért gyorsuláshoz elég a hajtáslánc által átadott teljesítmény, tehát a mérés alapján a hajtáslánc nem gyanús; a gyorsítás valószínűleg nem teljes terheléssel vagy nem a csúcsteljesítmény fordulatszámán történt (a 90 kW csak a csúcsteljesítmény fordulatszámán érvényes érték, nem átlag). Ha teljes gázzal, megfelelő fokozatban is csak ennyi a gyorsulás, akkor kell a tengelykapcsoló csúszását és a motor teljesítményét vizsgálni, ehhez meg kell mérni a tényleges kerületi erőt, a motor nyomatékát és a hajtáslánc csúszását. Ez a feladat a Tengelykapcsolók és a Menetellenállások és teljesítményszükséglet fejezetekben részletezett ellenőrzéseket igényli.

5.4.12. Rövid összefoglaló

A kinematika a mozgást írja le, a kinetika az erőkkel kapcsolja össze. Az egyenes vonalú egyenletes mozgás útja $s = v\,t$; az egyenletesen változó mozgás összefüggései: $v = v_0 + a\,t$, $s = v_0\,t + \frac{1}{2}\,a\,t^2$, $v^2 = v_0^2 + 2\,a\,s$. A körmozgásnál a szögsebesség $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, a kerületi sebesség $v = \omega\,r$. Newton II. törvénye $F = m\,a$; a D'Alembert-elv a tehetetlenségi erővel statikai feladattá alakítja a gyorsuló

rendszert. A munka $W = Fs\cos\alpha$, a teljesítmény haladó mozgásnál $P = Fv$, forgó mozgásnál $P = M\omega$. A hatásfok $\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{bevezetett}}}$. A mozgási energia $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\,m\,v^2$, a forgási energia $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}\,J\omega^2$; a lendkerék nagy tehetetlenségi nyomatékával tárol energiát. A munka–energia tétel szerint a gyorsítási vagy fékezési munka a mozgási energia megváltozásával egyenlő. **Továbbvitt eredmény.** Ezek az összefüggések alapozzák meg a jármű menetellenállásainak és teljesítményszükségletének számítását (Menetellenállások és teljesítményszükséglet), a tengelykapcsolók és fékek nyomatékátvitelét (Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten), a motor munkaciklusát és teljesítményét (Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata), valamint a fékút és fékhatás számítását (A fékezés fizikája).

5.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: középfokú fizika- és mechanikatankönyvek (kinematika, kinetika, munka–energia tétel), gépjármű-technikai szakkönyvek (járműdinamika, motor- és fékvizsgálat), gyártói szervizirodalom (motorteljesítmény, fékvizsgálati adatok).
Ellenőrizendő állítások: a példákban szereplő lassulási értékek, járműtömegek, teljesítmény- és nyomatékadatok tanulási példák, amelyeket minden konkrét járműnél a gyártói javítási adat vagy mérési jegyzőkönyv szerint ellenőrizni kell. A féklassulás tipikus tartományai tájékoztató jellegűek; a hatályos jogszabályi követelményeket a hatósági fékvizsgálat fejezete tárgyalja. A gyártói motorteljesítmény- és nyomatékgörbék a típusdokumentációból származnak, és nem helyettesíthetők itt. Az ábrán szereplő sebesség–idő adatsor szemléltető tanulási adat, nem mért érték.

6 A járművek menetdinamikája

6.1. Menetellenállások és teljesítményszükséglet

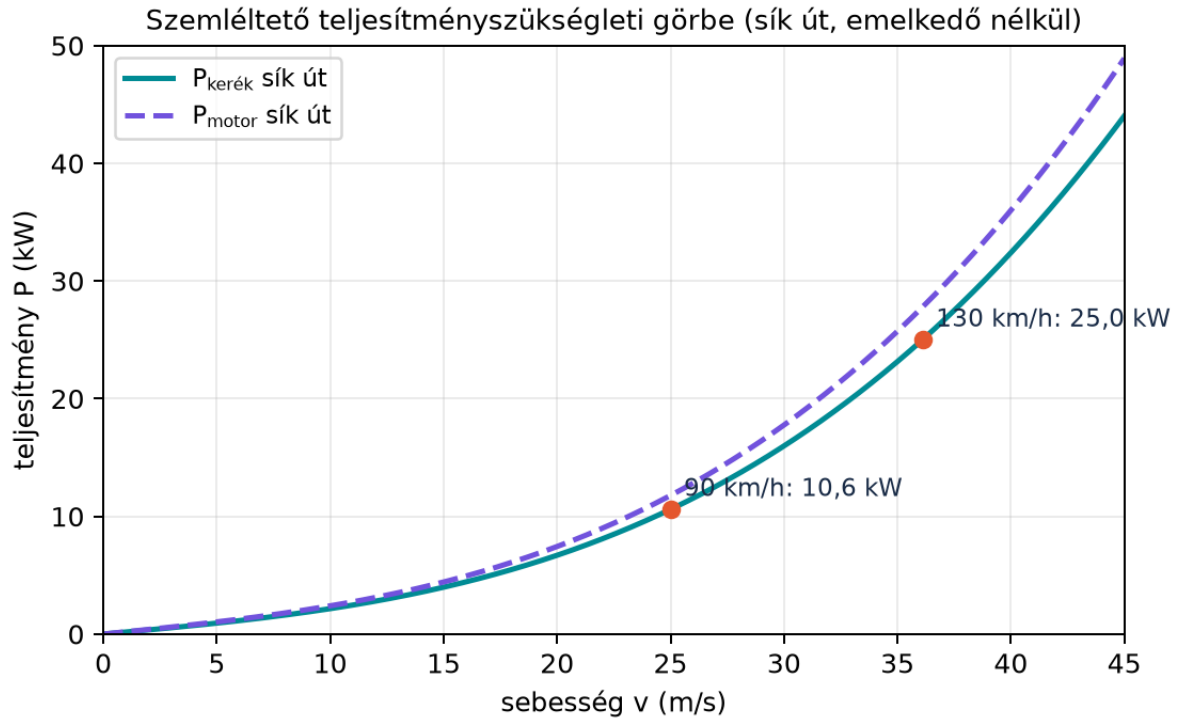
6.1.1. Motiváció

Egy szervizben gyakran elhangzik az ügyféltől: „Az autó 130 km/h-nál már 9 litert fogyaszt, pedig 90-nél csak 6,5-öt.” Autószerelőként nem elég annyit mondani: „a nagy sebesség miatt”. A pontos válaszhoz azt kell kiszámítani, mekkora erő fékezi a járművet, és mekkora teljesítményt kell a motornak leadnia ahhoz, hogy az autó egyenletes sebességgel haladjon vagy gyorsuljon. Ugyanezt a számítást használjuk akkor is, amikor egy fékpadi mérés előtt ellenőrizzük, hogy a jármű menetellenállása nem túl nagy (például alacsony gumiabroncsnyomás vagy beragadt fék miatt), vagy amikor egy fogyasztásnövekedéses panaszt hibakeresünk.

6.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy személyautót, amely sík úton, állandó sebességgel halad. A motor nyomatéka a hajtókerekeken keresztül előrehúzó vonóerőt hoz létre. Ezzel szemben három erő dolgozik: a gumiabroncs gördülési ellenállása, az autó körül áramló levegő légellenállása, valamint – ha az út emelkedik – az autó súlyából származó emelkedési ellenállás. Gyorsításkor ehhez hozzáadódik a jármű és a forgó alkatrészek tehetetlenségéből származó gyorsítási ellenállás.

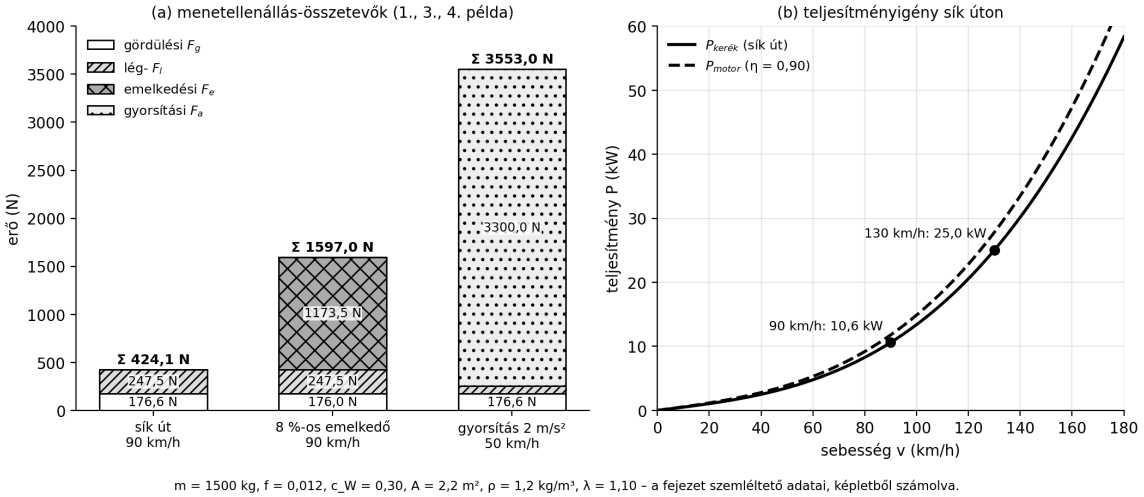
Az alábbi ábra a teljesítményszükségletet mutatja a sebesség függvényében sík úton. Jól látható, hogy a kerékhez szükséges teljesítmény kis sebességnél lassan, nagy sebességnél egyre meredekebben nő, mert a légellenállás a sebesség négyzetével, a teljesítményigénye pedig köbével arányos.



6.1. ábra. Szemléltető teljesítményszükségleti görbe (sík út, emelkedő nélkül) - Szemléltető, tanulási adat: m = 1500 kg, f = 0,012, c_W = 0,30, A = 2,2 m², ρ = 1,2 kg/m³, η_hajtómű = 0,90. Folytonos: kerékteljesítmény, szaggatott: motorteljesítmény.

Az x tengely a sebesség m/s-ban, az y tengely a teljesítmény kW-ban. A folytonos görbe a kerékhez szükséges, a szaggatott az $\eta_{\text{hajtómű}} = 0{,}90$ hajtómű-hatásfokkal visszaszámolt motor-teljesítmény. Például 25 m/s (90 km/h) környékén a kerék-teljesítmény körülbelül 10,6 kW, a motor-teljesítmény körülbelül 11,8 kW.

Az interaktív menetellenállás-kalkulátorban (a HTML-kiadásban elérhető) a tanuló állíthatja az autó tömegét, gördülési ellenállási tényezőjét, légellenállási tényezőjét, homlokfelületét, az emelkedő százalékát és a sebességet. A kalkulátor kirajzolja a gördülési, lég-, emelkedési és gyorsítási ellenállás nagyságát, valamint a kerékhez és a motorhoz tartozó teljesítmény-görbét. Az alábbi statikus ábra (a) része a négy erőt oszlopdiagramon mutatja a kidolgozott példák három esetére (sík út 90 km/h, 8 %-os emelkedő 90 km/h, gyorsítás 50 km/h-nál): emelkedőn az emelkedési, gyorsításkor a gyorsítási ellenállás a legnagyobb tag; a (b) rész a sík úti teljesítményigényt mutatja.



6.2. ábra. Menetellenállás-összetevők és teljesítményigény

6.1.3. Fogalmak és összefüggések

6.1.3.1. Gördülési ellenállás

Definíció. A gördülési ellenállás az az erő, amellyel a gumiabroncs és az útfelület érintkezése, a gumi hiszterézise és a kerék gördülése fékezi a járművet.

Összefüggés.

$$F_{\mathrm{g}} = f\, m\, g \cos\alpha$$

ahol:

- F_{g} – gördülési ellenállás (N),
- f – gördülési ellenállási tényező (–, dimenzionélküli),
- m – a jármű tömege (kg),
- $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$ – nehézségi gyorsulás,
- α – az út emelkedési szöge (rad vagy fok).

A gördülési ellenállási tényező tipikus értéke személygépkocsi esetén aszfalton $f = 0{,}010 \ldots 0{,}015$, betonon $0{,}015 \ldots 0{,}020$, rossz földúton $0{,}05 \ldots 0{,}15$ (ellenőrizendő: a konkrét gumiabroncs-gyártói mérési adat). Az alacsony gumiabroncsnyomás, a szélesebb vagy erősebben deformálódó abroncs növeli az f értékét.

6.1.3.2. Légellenállás

Definíció. A légellenállás az az erő, amelyet a jármű körül áramló levegő fejt ki mozgásiránnyal szemben.

Összefüggés.

$$F_{\mathrm{l}} = \frac{1}{2}\rho\, c_W\, A\, v^2$$

ahol:

- F_l – légellenállás (N),
- ρ – levegősűrűség, normál körülmények között 1,2 kg/m^3,
- c_W – légellenállási tényező (–),
- A – homlokfelület (m^2),
- v – a jármű sebessége a levegőhöz képest (m/s). Szélcsendben ez a haladási sebesség.

A mai személyautók légellenállási tényezője jellemzően $c_W = 0{,}25 \ldots 0{,}35$, a homlokfelület pedig $A \approx 2{,}0 \ldots 2{,}5\,\mathrm{m}^2$ (ellenőrizendő: a típus adatai).

Megjegyzés. A légellenállási erő négyzetesen nő a sebességgel: ha a sebesség duplájára nő, a légellenállás négyszeres. A teljesítményigény azonban még gyorsabban, köbösen nő, mert a teljesítmény $P = Fv$.

6.1.3.3. Emelkedési ellenállás

Definíció. Az emelkedési ellenállás a jármű tömegéből származó, az emelkedő irányába visszahúzó erő.

Összefüggés.

$$F_\mathrm{e} = m\,g \sin\alpha$$

Az út meredekségét Magyarországon gyakran százalékban adják meg:

$$\tan\alpha = \frac{q}{100}$$

ahol q az emelkedő százalékban megadott meredeksége. Kis szögek esetén (gyakorlatilag $q \leq 20\,\%$-ig) a $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ közelítés jó, ezért:

$$F_\mathrm{e} \approx m\,g\,\frac{q}{100}.$$

6.1.3.4. Gyorsítási ellenállás

Definíció. A gyorsítási ellenállás az az erő, amely a jármű tömegének és a forgó alkatrészek (kerék, féktárcsa, hajtómű) tehetetlenségi nyomatékának gyorsításához szükséges.

Összefüggés.

$$F_\mathrm{a} = \lambda\,m\,a$$

ahol:

- F_a – gyorsítási ellenállás (N),
- a – a jármű gyorsulása (m/s^2),
- λ – a forgó tömegek tényezője (–, dimenziónélküli).

A λ értéke azt mutatja meg, hogy a forgó alkatrészek miatt mekkora többlet-erő szükséges. Alacsony sebességfokozatban, nagyobb áttételnél a motor és a hajtómű forgó tömegei erősebben éreztetik hatásukat, ezért λ nagyobb, például $1{,}2 \ldots 1{,}4$. Magasabb sebességfokozatban $\lambda \approx 1{,}05 \ldots 1{,}1$ (ellenőrizendő: a gyártói járműmodell pontos értéke). A példákban $\lambda = 1{,}10$-zel számolunk.

6.1.3.5. Hajtómű-ellenállás és a motortól elvárt teljesítmény

A keréknél jelentkező összes menetellenállás legyőzéséhez a hajtóművön keresztül átvitt nyomaték többlet-teljesítményt igényel, mert a hajtóműben is keletkezik veszteség (fogaskerék-súrlódás, olaj, csapágyak, tömítések). Ezt egyetlen, $\eta_{\text{hajtómű}}$-vel jelölt hatásfokkal vesszük figyelembe. A hajtómű-veszteség mint „ellenállás” teljesítmény formában:

Összefüggés.

$$P_{\text{kerék}} = \sum F_i \cdot v = \left(F_{\text{g}} + F_{\text{l}} + F_{\text{e}} + F_{\text{a}}\right) v$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{kerék}}}{\eta_{\text{hajtómű}}}$$

A hajtóműben elvesző teljesítmény:

$$\Delta P_{\text{hajtómű}} = P_{\text{motor}} - P_{\text{kerék}} = P_{\text{kerék}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{hajtómű}}} - 1 \right).$$

A hajtómű-hatásfok jellemző értéke kézi sebességváltós személyautónál $\eta_{\text{hajtómű}} = 0{,}85 \ldots 0{,}95$ (ellenőrizendő: a gyártói hajtáslánc-adat).

Figyelem. A kerékhez szükséges teljesítmény nem azonos a motortól elvárt teljesítménnyel. Ha a kézikönyv szerint az autó motorjának maximális teljesítménye 80 kW, abból a hajtómű veszteségei miatt nem lesz 80 kW a keréknél. A tervezésnél ezt mindig figyelembe kell venni.

Továbbvitt eredmény. A menetellenállások fenti képletei és a teljesítményigény ($P_{\text{kerék}} = F_{\text{ellenállás}}\, v$, $P_{\text{motor}} = P_{\text{kerék}}/\eta_{\text{hajtómű}}$) közvetlenül felhasználhatók a Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás alfejezetben, ahol a teljesítmény- és nyomaték-fokozati görbéket összevetjük a menetellenállási görbével.

6.1.4. Kidolgozott példák

6.1.4.1. 1. példa: sík út, 90 km/h

Adott: $m = 1500\,\text{kg}$, $f = 0{,}012$, $\alpha = 0$, $c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\text{m}^2$, $\rho = 1{,}2\,\text{kg/m}^3$, $v = 90\,\text{km/h} = 25{,}0\,\text{m/s}$, $\eta_{\text{hajtómű}} = 0{,}90$.

Keresett: a menetellenállások és a motortól elvárt teljesítmény.

Megoldás:

$$F_{\text{g}} = f\, m\, g \cos 0^\circ = 0{,}012 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 1 = 176{,}6\,\text{N}.$$

$$F_{\text{l}} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \cdot 25{,}0^2 = 0{,}396 \cdot 625 = 247{,}5\,\text{N}.$$

Sík úton $F_{\text{e}} = 0$ és $F_{\text{a}} = 0$, mert nincs emelkedő és nincs gyorsulás.

$$F_{\text{összes}} = 176{,}6 + 247{,}5 = 424{,}1\,\text{N}.$$

$$P_{\text{kerék}} = F_{\text{összes}} \cdot v = 424{,}1 \cdot 25{,}0 = 10\,602\,\text{W} \approx 10{,}6\,\text{kW}.$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{10{,}6}{0{,}90} = 11{,}8\,\text{kW}.$$

Ellenőrzés: Egy átlagos, 1500 kg-os autó motorjának 90 km/h-nál valóban 10–15 kW terhelésre van szüksége. Az eredmény nagyságrendje helyes. ∎

6.1.4.2. 2. példa: sík út, 130 km/h

Adott: ugyanaz az autó, $v = 130\,\text{km/h} = 36{,}11\,\text{m/s}$.

Keresett: a menetellenállások, a teljesítményigény és a növekedés aránya.

Megoldás:

$$F_{\text{g}} = 176{,}6\,\text{N}.$$

$$F_{\text{l}} = 0{,}396 \cdot 36{,}11^2 = 0{,}396 \cdot 1303{,}9 = 516{,}3\,\text{N}.$$

$$F_{\text{összes}} = 176{,}6 + 516{,}3 = 692{,}9\,\text{N}.$$

$$P_{\text{kerék}} = 692{,}9 \cdot 36{,}11 = 25\,017\,\text{W} \approx 25{,}0\,\text{kW}.$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{25{,}0}{0{,}90} = 27{,}8\,\text{kW}.$$

A teljesítményigény növekedése 90-ről 130 km/h-ra:

$$\frac{P_{130}}{P_{90}} = \frac{25{,}0}{10{,}6} \approx 2{,}4.$$

Ellenőrzés: Bár a sebesség csak 1,44-szeres, a légellenállás négyzetes, a teljesítmény pedig közel 2,4-szeres. Ez magyarázza, miért nő jelentősen a fogyasztás nagy sebességnél. ∎

6.1.4.3. 3. példa: 8%-os emelkedő, 90 km/h

Adott: ugyanaz az autó, $v = 90\,\mathrm{km/h} = 25{,}0\,\mathrm{m/s}$, $q = 8\,\%$.

Keresett: a menetellenállások és a teljesítményigény.

Megoldás: Először számítsuk ki a szöget:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{8}{100}\right) = 4{,}574^\circ.$$

$$\sin\alpha = 0{,}0797, \quad \cos\alpha = 0{,}9968.$$

A pontos érték:

$$F_\mathrm{g} = 0{,}012 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}9968 = 176{,}1\,\mathrm{N}.$$

$$F_\mathrm{l} = 0{,}396 \cdot 625 = 247{,}5\,\mathrm{N}.$$

$$F_\mathrm{e} = 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}0797 = 1172{,}7\,\mathrm{N}.$$

Közelítőleg: $F_\mathrm{e} \approx 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}08 = 1177{,}2\,\mathrm{N}$. A két érték eltérése kisebb, mint 0,5%.

$$F_\mathrm{összes} = 176{,}1 + 247{,}5 + 1172{,}7 = 1596{,}3\,\mathrm{N}.$$

$$P_\mathrm{kerék} = 1596{,}3 \cdot 25{,}0 = 39\,908\,\mathrm{W} \approx 39{,}9\,\mathrm{kW}.$$

$$P_\mathrm{motor} = \frac{39{,}9}{0{,}90} = 44{,}3\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: Ugyanaz az autó 8%-os emelkedőn 90 km/h-nál 44,3 kW-ot igényel, szemben a sík úti 11,8 kW-tal. Ez 3,75-szörös terhelés, ami jól mutatja, miért kell erőteljesebb motor egy megrakott autóhoz hegyi úton. ∎

6.1.4.4. 4. példa: gyorsítás 50 km/h-nál

Adott: ugyanaz az autó, $v = 50\,\mathrm{km/h} = 13{,}89\,\mathrm{m/s}$, $a = 2{,}0\,\mathrm{m/s^2}$, $\lambda = 1{,}10$, sík út.

Keresett: a gyorsítási ellenállás és a pillanatnyi teljesítményigény.

Megoldás:

$$F_{\mathrm{a}} = \lambda\, m\, a = 1{,}10 \cdot 1500 \cdot 2{,}0 = 3300\,\mathrm{N}.$$

A gördülési és légellenállás ekkor:

$$F_{\mathrm{g}} = 176{,}6\,\mathrm{N}, \quad F_{\mathrm{l}} = 0{,}396 \cdot 13{,}89^2 = 0{,}396 \cdot 192{,}9 = 76{,}4\,\mathrm{N}.$$

$$P_{\mathrm{kerék}} = (176{,}6 + 76{,}4 + 3300) \cdot 13{,}89 = 3553{,}0 \cdot 13{,}89 = 49\,349\,\mathrm{W} \approx 49{,}3\,\mathrm{kW}.$$

$$P_{\mathrm{motor}} = \frac{49{,}3}{0{,}90} = 54{,}8\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: A gyorsítási ellenállás itt 3300 N, közel 19-szerese a gördülési ellenállásnak. Gyorsításkor a motornak közel 55 kW-ot kell leadnia, miközben ugyanazon a sebességen egyenletes haladáshoz csak kb. 3,9 kW kellene ($\approx$ 3,5 kW a keréken). Ezért fogyaszt az autó többet városi, gyorsítós üzemmódban. ∎

6.1.5. Minőségellenőrzés

A számítás helyességét az alábbi ellenőrzőlistával értékelhetjük:

1. **Mértékegység-ellenőrzés.** A sebességet mindig m/s-ban kell használni. A km/h $\to$ m/s átváltás: $v_{\mathrm{m/s}} = v_{\mathrm{km/h}}/3{,}6$. Az eredményül kapott erő mértékegysége N, a teljesítmény W vagy kW. Az egységek írása a képletben jobb oldali oszlopban ellenőrizhető.
2. **Gyártói adatok.** A c_W, A és m a gyártói műszaki adatlapból, a λ járműmodellből vagy szakirodalmi becslésből származik; a gördülési ellenállási tényező a gumiabroncs-gyártó mérési adata (az EU-gumiabroncscímke gördülési osztálya tájékoztat; ellenőrizendő: a konkrét abroncs adatlapja). Ha a mért menetellenállás lényegesen nagyobb, mint a számított, akkor a fékberendezés vagy a gumiabroncsnyomás hibájára kell gondolni.
3. **Emelkedő szöge.** Ellenőrizni kell, hogy a q érték százalékban adott. Ha valaki 0,08-at használ 8% helyett, akkor 100-szoros hibát vét. A pontos $\sin\alpha$ és a $q/100$ közelítés közötti eltérés kis emelkedőnél elhanyagolható. Ha a közelítés hibája 1%-nál nagyobb, akkor pontos szöget kell számolni.
4. **Hajtómű-hatásfok.** A motor által szolgáltatandó teljesítmény mindig nagyobb, mint a kerékhez szükséges teljesítmény. Ha a számításban a kerék-teljesítményt adjuk meg motorteljesítményként, a hibahatás a hanyagul kezelt hatásfok miatt 10–15% is lehet.

6.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy 8 éves, 1,6 literes benzines autó tulajdonosa arról panaszkodik, hogy az autó városban is, de főleg országúton többet fogyaszt, mint korábban, és a fékpadi gurulási tesztnél a műszer nagyobb ellenállást jelez. A szervizben a diagnosztikai mérés a következőket mutatja:

- A gumiabroncsnyomás mind a négy keréknél 1,6 bar, ahelyett, hogy a gyártó által előírt 2,3 bar lenne (ellenőrizendő: a gyártói nyomásadat).
- A bal hátsó kerék féknyerge a vezetőcsapok korróziója miatt nem áll vissza teljesen, a betét enyhén húz.

Az alacsony gumiabroncsnyomás miatt a gördülési ellenállási tényező a normál 0,012-ről körülbelül 0,018-ra nő (ellenőrizendő: a gumiabroncs-gyártó görbéje). A húzó fék további, körülbelül 50 N ellenállást ad a keréken. Az autó tömege $m = 1500\,\mathrm{kg}$, $c_W = 0{,}32$, $A = 2{,}15\,\mathrm{m}^2$, $v = 90\,\mathrm{km/h} = 25\,\mathrm{m/s}$, $\eta_{\text{hajtómű}} = 0{,}90$.

A normál gördülési ellenállás: $F_{\text{g,norm}} = 0{,}012 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 = 176{,}6\,\mathrm{N}$. A megnövekedett gördülési ellenállás: $F_{\text{g,hibás}} = 0{,}018 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 + 50 = 264{,}9 + 50 = 314{,}9\,\mathrm{N}$. A légellenállás: $F_{\text{l}} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}32 \cdot 2{,}15 \cdot 25^2 = 0{,}4128 \cdot 625 = 258{,}0\,\mathrm{N}$.

A kerékhez szükséges teljesítmény normál esetben:

$$P_{\text{norm}} = (176{,}6 + 258{,}0) \cdot 25 = 10\,865\,\mathrm{W} \approx 10{,}9\,\mathrm{kW}.$$

Hibás állapotban:

$$P_{\text{hibás}} = (314{,}9 + 258{,}0) \cdot 25 = 14\,322{,}5\,\mathrm{W} \approx 14{,}3\,\mathrm{kW}.$$

A növekedés $14{,}3/10{,}9 \approx 1{,}31$, azaz 31%-kal nagyobb teljesítmény kell a keréknél. A motor terhelése is hasonló mértékben nő. A javítás: a gumiabroncsnyomás beállítása a gyártói értékre, a féknyereg vezetőcsapjainak tisztítása és kenése, majd a fékpadon a gurulási ellenállás újramérése. A szervizben az ilyen számítás segít megindokolni az ügyfélnek, miért is volt magasabb a fogyasztás.

6.1.7. Tipikus hibák

1. **A sebességet km/h-ban írják be a képletbe.** A légellenállásnál ez 12,9-szeres hibát okoz ($3{,}6^2$). Mindig m/s-ban kell számolni.
2. **A hajtómű hatásfokát kihagyják.** A keréknél számított teljesítményt motor-teljesítményként adják meg. A helyes eljárás: $P_{\text{motor}} = P_{\text{kerék}} / \eta_{\text{hajtómű}}$.
3. **Nagy sebességnél lineárisan becsülik a fogyasztás növekedését.** Sokan úgy gondolják, hogy ha 90-ről 130 km/h-ra nő a sebesség, a fogyasztás is csak 44%-kal nő. Valójában a légellenállás négyzetes, a légellenállás leküzdéséhez szükséges teljesítmény köbös, a 100 km-re jutó fogyasztás pedig a menetellenállási erővel (állandó tag plusz a v^2-tel arányos tag) nő, ezért a fogyasztásnövekedés ennél jóval nagyobb.
4. **A 8%-os emelkedőt 8°-nak veszik.** A 8% meredekség $\tan\alpha = 0{,}08$, azaz $\alpha \approx 4{,}57°$; 8°-kal számolva az emelkedési ellenállás kb. 75%-kal nagyobb lenne ($\sin 8° = 0{,}139$ a 0,080 helyett). A százalék és a fok keverése súlyos hiba.

6.1.8. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A gördülési ellenállás független a jármű sebességétől, ha a gördülési ellenállási tényező állandó. Indokoljon röviden.
2. Mekkora a légellenállás 60 km/h-nál, ha $c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\mathrm{m}^2$, $\rho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m}^3$?
3. Melyik a nagyobb hiba? a) A hajtómű hatásfokot kihagyni, vagy b) a légellenállásnál a sebességet km/h-ban használni? Indokoljon.
4. A $q = 10\,\%$ emelkedőn a $\sin\alpha \approx q/100$ közelítés hibája elfogadható-e? Számolja ki a pontos és a közelítő emelkedési ellenállást, ha $m = 1200\,\mathrm{kg}$.
5. Miért nő a fogyasztás gyorsabban, mint a sebesség?

A válaszok a következő részben találhatók.

6.1.9. Feladatok

1. feladat (A)
Egy 1200 kg tömegű autó sík úton halad. A gördülési ellenállási tényező $f = 0{,}015$. Számítsa ki a gördülési ellenállást!

2. feladat (A)
Mekkora a légellenállás $v = 100\,\mathrm{km/h}$ sebességnél, ha $c_W = 0{,}32$, $A = 2{,}1\,\mathrm{m}^2$ és $\rho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m}^3$?

3. feladat (B)
Egy 1600 kg tömegű autó 7%-os emelkedőn halad felfelé $v = 72\,\mathrm{km/h}$ sebességgel. $f = 0{,}013$, $c_W = 0{,}31$, $A = 2{,}3\,\mathrm{m}^2$, $\eta_{\text{hajtómű}} = 0{,}90$. Számítsa ki az emelkedési ellenállást, valamint a kerékhez és a motorhoz szükséges teljesítményt!

4. feladat (B)
Egy 1400 kg tömegű autó $a = 2{,}5\,\mathrm{m/s}^2$ gyorsulással gyorsít. A forgó tömegek tényezője $\lambda = 1{,}12$. Mekkora gyorsítási ellenállás? Mekkora a pillanatnyi teljesítményigény a gyorsításból, ha $v = 60\,\mathrm{km/h}$?

5. feladat (C)
Vezesse le, miért nő a légellenállás leküzdéséhez szükséges teljesítmény a sebesség köbével! Számítsa ki a légellenállási teljesítményt $v_1 = 90\,\mathrm{km/h}$ és $v_2 = 130\,\mathrm{km/h}$ mellett ($c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\mathrm{m}^2$, $\rho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m}^3$). Hány százalékkal nő a légellenállási teljesítmény?

6. feladat (D)
Egy 1500 kg tömegű autó normál esetben $f = 0{,}012$ gördülési ellenállási tényezővel és $c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\mathrm{m}^2$ adatokkal halad sík úton $v = 90\,\mathrm{km/h}$. A diagnosztika során a bal első kerék csapágyán és a féknél húzódást találunk, ami összesen 70 N többlet-ellenállást okoz, valamint az alacsony gumiabroncsnyomás miatt f értéke 0{,}018-ra nő. Hány százalékkal nő a kerékhez szükséges teljesítmény a hibás állapotban a normálhoz képest?

6.1.10. Megoldások

6.1.10.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A gördülési ellenállás $F_\mathrm{g} = f\,m\,g\cos\alpha$ nem tartalmazza a sebességet, ha f állandó. A gyakorlatban a gumiabroncs melegedése és a gördülési sebesség növekedése változtathatja, de alapszinten független a sebességtől.
2. $60\,\mathrm{km/h} = 16{,}67\,\mathrm{m/s}$. $F_\mathrm{l} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \cdot 16{,}67^2 = 0{,}396 \cdot 277{,}9 = 110{,}0\,\mathrm{N}$.
3. A km/h-ban számolás a nagyobb hiba. A légellenállásnál a sebesség négyzetével, így a hiba $3{,}6^2 \approx 13$-szoros, míg a hajtómű hatásfok kihagyása csak 10–15%-os hibát okoz.
4. 10%-os emelkedőn $\alpha = \arctan(0{,}10) = 5{,}711^\circ$. A pontos szinusz: $\sin 5{,}711^\circ = 0{,}0995$. A közelítő: 0,10. Emelkedési ellenállás pontos: $F_\mathrm{e} = 1200 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}0995 = 1171{,}3\,\mathrm{N}$. Közelítő: $F_\mathrm{e} \approx 1200 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}10 = 1177{,}2\,\mathrm{N}$. Az eltérés 0,5%, elfogadható.
5. Az óránkénti fogyasztás a teljesítménnyel arányos: a légellenállás v^2-tel, az ellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítmény pedig $F_\mathrm{l} v$-vel, azaz v^3-nel nő; a 100 km-re jutó fogyasztás a menetellenállási erővel ($\approx$ állandó + v^2) arányos. Mindkettő gyorsabban nő, mint a sebesség. Nagy sebességnél a légellenállás válik a legnagyobb ellenállássá.

6.1.10.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A)
$F_\mathrm{g} = f\,m\,g = 0{,}015 \cdot 1200 \cdot 9{,}81 = 176{,}6\,\mathrm{N}$. A motor oldalán ennél nagyobb teljesítmény kell a hajtómű vesztesége miatt, de a keréken kifejtendő erő maga a gördülési ellenállás.

2. feladat (A)
$v = 100\,\mathrm{km/h} = 27{,}78\,\mathrm{m/s}$. $F_\mathrm{l} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}32 \cdot 2{,}1 \cdot 27{,}78^2 = 0{,}4032 \cdot 771{,}8 = 311{,}3\,\mathrm{N}$. Ez kb. 25%-kal több, mint a 90 km/h-s példa 247,5 N-ja, mert a sebesség nagyobb.

3. feladat (B)
$v = 72\,\mathrm{km/h} = 20{,}0\,\mathrm{m/s}$. $m = 1600\,\mathrm{kg}$, $g = 9{,}81$. $f = 0{,}013$. $\alpha = \arctan(0{,}07) = 4{,}004^\circ$. $\cos\alpha = 0{,}99756$, $\sin\alpha = 0{,}06976$.
$F_\mathrm{g} = 0{,}013 \cdot 1600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}99756 = 0{,}013 \cdot 15696 \cdot 0{,}99756 = 203{,}9\,\mathrm{N}$.
$F_\mathrm{l} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}31 \cdot 2{,}3 \cdot 20^2 = 0{,}4278 \cdot 400 = 171{,}1\,\mathrm{N}$.
$F_\mathrm{e} = 1600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}06976 = 1094{,}9\,\mathrm{N}$ (közelítő: $1600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}07 = 1098{,}7\,\mathrm{N}$).
$F_\mathrm{összes} = 203{,}9 + 171{,}1 + 1094{,}9 = 1469{,}9\,\mathrm{N}$.
$P_\mathrm{kerék} = 1469{,}9 \cdot 20 = 29\,398\,\mathrm{W} \approx 29{,}4\,\mathrm{kW}$.
$P_\mathrm{motor} = 29{,}4/0{,}90 = 32{,}7\,\mathrm{kW}$.
A számolásban a gördülési ellenálláshoz pontos $\cos\alpha$-t használtunk; sík úton ez $F_\mathrm{g} = 0{,}013 \cdot 1600 \cdot 9{,}81 = 204{,}0\,\mathrm{N}$.

4. feladat (B)
$F_\mathrm{a} = \lambda m a = 1{,}12 \cdot 1400 \cdot 2{,}5 = 3920\,\mathrm{N}$.
$v = 60\,\mathrm{km/h} = 16{,}67\,\mathrm{m/s}$.
$P_\mathrm{a} = F_\mathrm{a} \cdot v = 3920 \cdot 16{,}67 = 65\,326\,\mathrm{W} \approx 65{,}3\,\mathrm{kW}$.
Ehhez jön a gördülési és légellenállás, ezért a motor teljesítménye ennél nagyobb is lehet. A gyorsítási ellenállás a teljesítményigény nagyobbik része.

5. feladat (C)
A légellenállási erő: $F_\mathrm{l} = \frac{1}{2}\rho c_W A v^2$. A légellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítmény: $P_\mathrm{l} = F_\mathrm{l} \cdot v = \frac{1}{2}\rho c_W A v^3$. A teljesítmény tehát a sebesség köbével arányos.
$v_1 = 90\,\mathrm{km/h} = 25\,\mathrm{m/s}$, $v_2 = 130\,\mathrm{km/h} = 36{,}11\,\mathrm{m/s}$.

$P_{\mathrm{l},1} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \cdot 25^3 = 0{,}396 \cdot 15\,625 = 6187{,}5\,\mathrm{W} \approx 6{,}19\,\mathrm{kW}$.
$P_{\mathrm{l},2} = 0{,}396 \cdot 36{,}11^3 = 0{,}396 \cdot 47\,085 = 18\,641{,}7\,\mathrm{W} \approx 18{,}64\,\mathrm{kW}$.
A növekedés: $18{,}64/6{,}19 \approx 3{,}01$, azaz 201%-kal nő a légellenállási teljesítmény. A sebesség 44%-kal nő, a teljesítmény viszont háromszoros lesz.

6. feladat (D)
Normál gördülési ellenállás: $F_{\mathrm{g,norm}} = 0{,}012 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 = 176{,}6\,\mathrm{N}$.
Légellenállás: $F_{\mathrm{l}} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \cdot 25^2 = 0{,}396 \cdot 625 = 247{,}5\,\mathrm{N}$.
Hibás gördülési ellenállás: $F_{\mathrm{g,hibás}} = 0{,}018 \cdot 1500 \cdot 9{,}81 + 70 = 264{,}9 + 70 = 334{,}9\,\mathrm{N}$.
Normál teljes összes ellenállás: $176{,}6 + 247{,}5 = 424{,}1\,\mathrm{N}$.
Hibás összes ellenállás: $334{,}9 + 247{,}5 = 582{,}4\,\mathrm{N}$.
A kerékhez szükséges teljesítmény $v = 25\,\mathrm{m/s}$-nál normál esetben: $424{,}1 \cdot 25 = 10\,602{,}5\,\mathrm{W}$. Hibás esetben: $582{,}4 \cdot 25 = 14\,560\,\mathrm{W}$.
A növekedés: $14\,560/10\,602{,}5 \approx 1{,}373$, azaz 37%-kal nagyobb teljesítmény szükséges. A hibás gumiabroncsnyomás és a húzódó fék tehát jelentős fogyasztásnövekedést okoz.

6.1.11. Rövid összefoglaló

A menetellenállások négy alaperőre bonthatók. A gördülési ellenállás $F_{\mathrm{g}} = f\,m\,g\cos\alpha$ a gumiabroncs és az út közötti veszteséget mutatja, a légellenállás $F_{\mathrm{l}} = \frac{1}{2}\rho\,c_W\,A\,v^2$ a sebesség négyzetével nő. Az emelkedési ellenállás $F_{\mathrm{e}} = m\,g\sin\alpha$, kis emelkedőkre $F_{\mathrm{e}} \approx m\,g\,q/100$ (ahol q százalékban adott). A gyorsítási ellenállás $F_{\mathrm{a}} = \lambda\,m\,a$, ahol λ a forgó alkatrészek tehetetlenségi tényezője. A kerékhez szükséges teljesítmény az összes ellenállás és a sebesség szorzata: $P_{\mathrm{kerék}} = \sum F_i\,v$. A motortól elvárt teljesítmény ennél nagyobb a hajtómű veszteségei miatt: $P_{\mathrm{motor}} = P_{\mathrm{kerék}}/\eta_{\mathrm{hajtómű}}$. Nagy sebességnél a légellenállás dominál, ezért a teljesítményigény a sebesség köbével, az egységnyi útra jutó fogyasztás (l/100 km) pedig a légellenállás miatt közel a sebesség négyzetével nő. A **továbbvitt eredmény**: a képletek és a teljesítményigény-számítás közvetlenül felhasználható a vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás alfejezetben. A gyakorlatban a gumiabroncsnyomás, a fékek húzódása vagy a csapágyhibák növelik a gördülési ellenállást, ezért a fogyasztási panaszoknál a menetellenállás-mérés a diagnózis első lépései közé tartozik.

6.1.12. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben használt képletek a klasszikus mechanika és járműdinamika tankönyvekből származnak, ezek fizikailag stabil összefüggések. A konkrét járműadatok (m, c_W, A, hajtómű-hatásfok) a gyártói műszaki adatlapból vagy a jármű műhelykézikönyvéből származnak, ezért **ellenőrizendők**. A gumiabroncs gördülési ellenállási tényezője a gumiabroncs-gyártó mérési adata, és függ a nyomástól, hőmérséklettől (ellenőrizendő: a konkrét abroncs adatlapja). A forgó tömegek tényezője λ a gyártói hajtáslánc-modelltől függ (ellenőrizendő: gyártói szimulációs adat). A fogyasztás és emisszió kapcsolatához a menetellenállási görbét a hatósági vizsgálat során használják, a pontos eljárást a hatályos EU/ENSZ-EGB előírások tartalmazzák (ellenőrizendő: a vonatkozó ECE-előírás, például az ECE R83 helyébe lépő globális műszaki előírás).

6.2. Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás

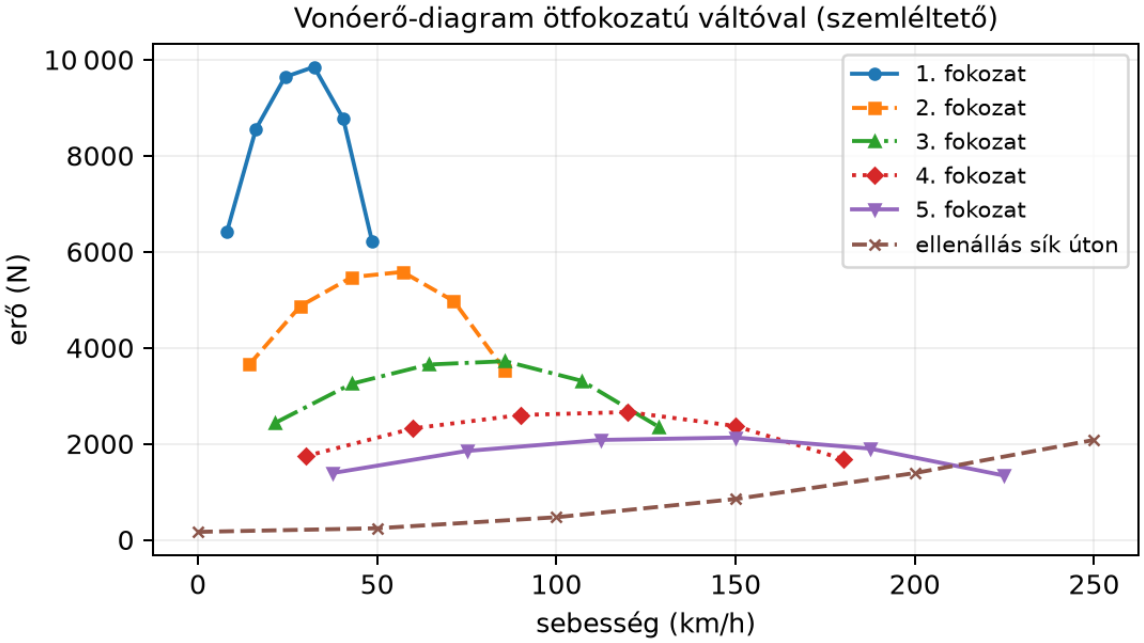
6.2.1. Motiváció

A jármű menetdinamikai vizsgálatában gyakran találkozunk azzal az ügyfélpanasszal, hogy „az autó nem húz emelkedőn”, „túl magas a fordulatszám autópályán”, vagy „nem éri el a

gyárilag megadott végsebességet”. Ezek a jelenségek általában nem egyetlen alkatrész hibájából adódnak, hanem a motor jelleggörbéje, a sebességváltó fokozatai, a tengelyhajtás áttétele és a menetellenállások együttes viselkedéséből. Ha szerelőként meg akarjuk ítélni, hogy egy jármű teljesítménye reális-e, először a keréken ébredő vonóerőt és a jármű sebesség–fordulatszám kapcsolatát kell értenünk.

6.2.2. Szemléletes kép: a vonóerő-diagram, mielőtt formálisan tárgyalnánk

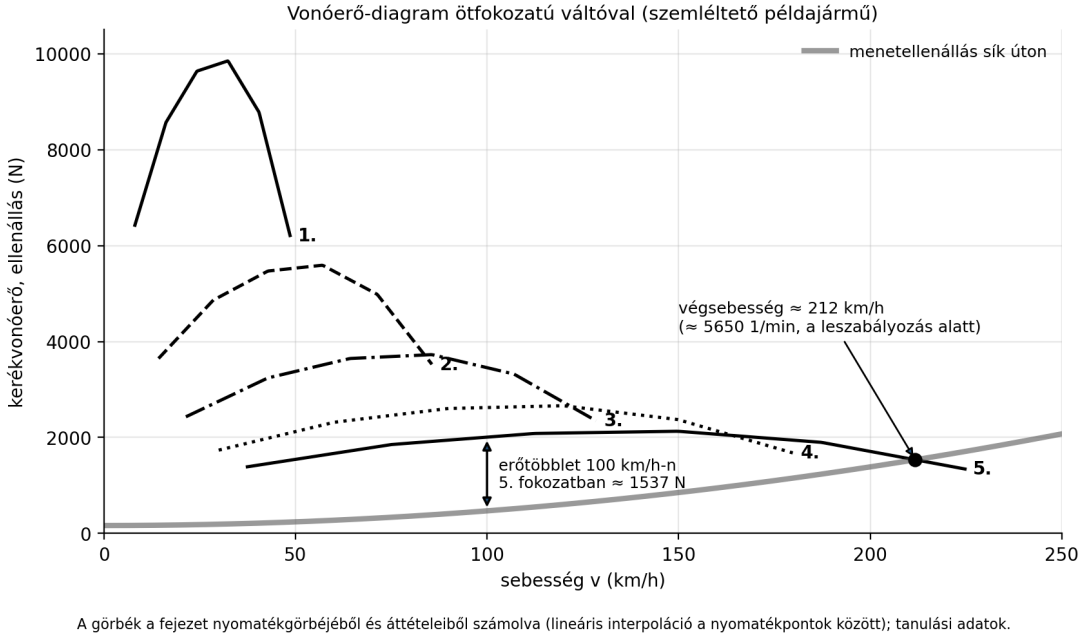
Képzeljük el, hogy egy ötfokozatú váltóval szerelt személygépkocsi motorját fékpadon lemértük, és ismerjük a forgatónyomaték-görbét. A hajtáslánc áttételei és a kerék gördülési sugara alapján átszámítjuk, hogy az egyes fokozatokban mekkora erő ébred a kerék kerületén, és ehhez mekkora járműsebesség tartozik. Ha ezt ábrázoljuk, megkapjuk a vonóerő-diagramot: minden fokozathoz egy-egy emelkedő, majd lehajló görbe tartozik. Az ábrán látszik a sík úti menetellenállás görbéje is, amely a sebesség növekedésével egyre meredekebben emelkedik.



6.3. ábra. Vonóerő-diagram ötfokozatú váltóval (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor a szövegben megadott példajármű számított pontjaiból; a motor nyomatékgörbéje, áttételek és ellenállás-együtthatók tanulási példák, nem gyártói mérési adatok.

A diagramról két fontos dolgot olvashatunk le. A fokozati görbék metszéspontja az ellenállás-görbével megadja az adott fokozatban elérhető maximális sebességet; a legnagyobb sebességet az utolsó fokozat görbéjének metszéspontja jelöli ki. A vonóerő és az ellenállásgörbe közötti függőleges különbség a gyorsításra vagy emelkedőn való haladásra fordítható erőtöbblet.

Ugyanezt a diagramot a fejezet képleteivel a példajármű adataiból számolva mutatja az alábbi ábra, a végsebesség pontjával ($\approx$ 212 km/h) és a 100 km/h-n, 5. fokozatban rendelkezésre álló erőtöbblettel. A HTML-kiadásban a fokozatok áttétele, a tengelyhajtás, a gördülési sugár, a hatásfok, az emelkedő és a tömeg csúszkával állítható; a kalkulátor kiírja a végsebességet, a korlátozó tényezőt és az emelkedőképességet (az 5. feladat $i_0 = 4{,}3$ értéke egy kapcsolóval betölthető).



6.4. ábra. Vonóerő-diagram a példajárműre, végsebesség-ponttal

6.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

A hajtáslánc feladata, hogy a motor forgatónyomatékát és fordulatszámát a kerekek igényeihez igazítsa. A nyomatékváltó fokozat áttétele i_s, a tengelyhajtás (főhajtás) áttétele i_0; a tengelyhajtás és a kiegyenlítőmű általában egy házban van, de a kiegyenlítőműnek egyenes menetben nincs saját áttétele. A teljes hajtáslánc áttétele a kettő szorzata:

$$i_{\ddot{o}} = i_s \cdot i_0 .$$

A motor effektív nyomatéka M_{e}, a hajtáslánc hatásfoka η, a kerék gördülési sugara r_{d}. A hajtásláncban fellépő veszteségek miatt a kerékre jutó nyomaték:

$$M_{\mathrm{kerék}} = M_{\mathrm{e}} \cdot i_{\ddot{o}} \cdot \eta .$$

A kerék kerületén ébredő vonóerő ennek a nyomatéknak és a gördülési sugárnak a hányadosa:

$$F_{\mathrm{v}} = \frac{M_{\mathrm{e}} \cdot i_{\ddot{o}} \cdot \eta}{r_{\mathrm{d}}} .$$

Összefüggés. A kerékvonóerő akkor nagy, ha a motor nyomatéka nagy, az áttétel nagy (rövid fokozat), a hatásfok jó és a kerék gördülési sugara kicsi. Ugyanaz a motor így alacsony fokozatban sokkal nagyobb vonóerőt ad, mint magas fokozatban.

A jármű sebessége a kerék kerületi sebességéből számolható. A kerék szögsebessége $\omega_{\mathrm{kerék}} = \omega_{\mathrm{motor}} / i_{\ddot{o}}$, a motor szögsebessége pedig $\omega_{\mathrm{motor}} = 2\pi n / 60$, ahol n a motor fordulatszáma 1/min-ben. A haladási sebesség:

$$v = r_{\mathrm{d}} \cdot \omega_{\mathrm{kerék}} = \frac{2\pi\, r_{\mathrm{d}}\, n}{60\, i_{\ddot{o}}} .$$

Ezt méter/másodpercben kapjuk. Kilométer/órára átszámítva a 3,6-os szorzóval:

$$v_{\mathrm{km/h}} = \frac{2\pi\, r_{\mathrm{d}}\, n \cdot 3{,}6}{60\, i_{\ddot{\mathrm{o}}}} = 0{,}377\, \frac{r_{\mathrm{d}}\, n}{i_{\ddot{\mathrm{o}}}},$$

ahol r_{d} méterben, n 1/min-ben, $i_{\ddot{\mathrm{o}}}$ dimenziótlan. A 0,377 állandó a $2\pi \cdot 3{,}6/60 \approx 0{,}377$ értékből adódik.

Megjegyzés. A gumiabroncs gördülési sugara nem azonos a névleges (statikus) sugárral. A terhelt, gördülő abroncs valamivel kisebb sugarú: $r_{\mathrm{d}} \approx 0{,}97\text{–}0{,}99\, r_{\mathrm{statikus}}$ a gumiabroncs típusától és a nyomástól függően **(ellenőrizendő: a gyártói abroncsadat)**. Például egy 205/55 R16 méretű abroncs esetén $r_{\mathrm{d}} \approx 0{,}30\text{–}0{,}31$ m.

6.2.4. A vonóerő-diagram és a menetellenállás-görbe

A motor effektív nyomatékgörbéjét ismerve minden fokozatra kiszámíthatjuk a vonóerőt a sebesség függvényében. Az előző alfejezetben, a Menetellenállások és teljesítményszükséglet alfejezetben láttuk, hogy a sík úti menetellenállás:

$$F_{\mathrm{E}}(v) = m\, g\, f + \frac{1}{2}\rho\, c_W\, A\, v^2,$$

ahol m a jármű tömege, $g \approx 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$, f a gördülési ellenállási tényező, ρ a levegő sűrűsége, c_W a légellenállási tényező, A a homlokfelület. Emelkedőn ehhez hozzáadódik az emelkedési ellenállás $m\, g\, \sin\alpha$, kis szögekre közelítőleg $m\, g \cdot q/100$, ahol q az emelkedő százalékban.

Ha ugyanabba a koordináta-rendszerbe berajzoljuk a fokozatok vonóerőgörbéit és a menetellenállás-görbét, akkor a metszéspontok az elérhető egyensúlyi sebességeket adják. A legnagyobb sebességet az a pont jelöli, ahol a legmagasabb fokozat vonóerőgörbéje metszi az ellenállásgörbét. Ha a metszéspont a motor leszabályozási fordulatszámához tartozó sebességnél nagyobb, akkor a jármű a motor maximális fordulatszámánál éri el a végsebességet; ha kisebb, akkor a teljesítményegyensúly szabja meg.

Szabály. A gyorsításra fordítható erőtöbblet egy adott sebességnél:

$$F_{\mathrm{többlet}} = F_{\mathrm{v}}(v) - F_{\mathrm{E}}(v).$$

A jármű gyorsulása:

$$a = \frac{F_{\mathrm{többlet}}}{m \cdot \delta},$$

ahol δ a forgó tömegek miatti tömegnövelő tényező, jellemzően $\delta \approx 1{,}05\text{–}1{,}4$ a fokozattól függően **(ellenőrizendő: járműtípus szerint)**. Az erőtöbblet emelkedőn való mászásra is fordítható: ha a jármű egyenletes sebességgel halad felfelé, akkor $F_{\mathrm{v}} = F_{\mathrm{E}} + m\, g\, \sin\alpha$, amiből az elvi emelkedőképesség:

$$\sin\alpha = \frac{F_{\mathrm{v}} - F_{\mathrm{E}}}{m\, g}, \qquad q \approx \tan\alpha \cdot 100\%.$$

6.2.5. A menetteljesítmény-diagram

A keréken leadott teljesítmény:

$$P_{\mathrm{v}} = F_{\mathrm{v}} \cdot v = \frac{2\pi n\, M_{\mathrm{e}}\, \eta}{60} = P_{\mathrm{e}}\, \eta.$$

A motor effektív teljesítménye $P_{\mathrm{e}} = 2\pi n M_{\mathrm{e}}/60$. A menetteljesítmény-diagram a kerékteljesítményt ábrázolja a sebesség függvényében, fokozatonként. A menetellenállások teljesítményigénye:

$$P_{\mathrm{E}}(v) = F_{\mathrm{E}}(v) \cdot v.$$

A menetteljesítmény-diagramon a végsebesség az a pont, ahol a legmagasabb fokozat teljesítménygörbéje metszi a menetellenállás-teljesítmény görbét. A teljesítménygörbe maximuma a motor maximális effektív teljesítményéhez tartozó sebességnél van; a végsebességet a menetellenállás-teljesítmény görbével való metszéspont adja, ha az még a leszabályozási fordulatszámhoz tartozó sebesség előtt van; ha a görbe a leszabályozásig sem éri el az ellenállásgörbét, a végsebességet a leszabályozás korlátozza.

6.2.6. Kidolgozott példa: kerékvonóerő és sebesség számítása

Példa. Egy személygépkocsi adatai (tanulási példa): motor effektív nyomatéka $M_{\mathrm{e}} = 225\,\mathrm{Nm}$, motorfordulatszám $n = 3000\,1/\mathrm{min}$; a váltó 1. fokozatának áttétele $i_s = 3{,}7$; a tengelyhajtás áttétele $i_0 = 3{,}9$; a hajtáslánc hatásfoka $\eta = 0{,}92$; a kerék gördülési sugara $r_{\mathrm{d}} = 0{,}31\,\mathrm{m}$. Számítsuk ki a kerékvonóerőt és a jármű sebességét!

Megoldás.

Először a teljes áttétel:

$$i_{\ddot{\mathrm{o}}} = i_s \cdot i_0 = 3{,}7 \cdot 3{,}9 = 14{,}43.$$

A kerékvonóerő:

$$F_{\mathrm{v}} = \frac{M_{\mathrm{e}} \cdot i_{\ddot{\mathrm{o}}} \cdot \eta}{r_{\mathrm{d}}} = \frac{225\,\mathrm{Nm} \cdot 14{,}43 \cdot 0{,}92}{0{,}31\,\mathrm{m}}.$$

A számláló: $225 \cdot 14{,}43 \approx 3246{,}75\,\mathrm{Nm}$, szorozva 0,92-vel: $2987\,\mathrm{Nm}$. Osztva 0,31 m-rel:

$$F_{\mathrm{v}} \approx 9636\,\mathrm{N}.$$

A jármű sebessége:

$$v_{\mathrm{km/h}} = 0{,}377\,\frac{r_{\mathrm{d}}\, n}{i_{\ddot{\mathrm{o}}}} = 0{,}377\,\frac{0{,}31 \cdot 3000}{14{,}43}.$$

A számláló: $0{,}31 \cdot 3000 = 930$; osztva 14,43-mal: 64,45; szorozva 0,377-tel:

$$v_{\mathrm{km/h}} \approx 24{,}3\,\mathrm{km/h}.$$

Az eredmény reális: 1. fokozatban, 3000 1/min fordulaton körülbelül 24 km/h sebesség, és a kerék nagyjából 9,6 kN erőt tud kifejteni.

Ellenőrzés. A kerékteljesítmény $P_{\mathrm{v}} = F_{\mathrm{v}} v$, ahol $v = 24{,}3/3{,}6 = 6{,}75\,\mathrm{m/s}$:

$$P_{\mathrm{v}} \approx 9636\,\mathrm{N} \cdot 6{,}75\,\mathrm{m/s} \approx 65{,}0\,\mathrm{kW}.$$

A motor teljesítménye ezen a fordulatszámon $P_{\mathrm{e}} = 2\pi \cdot 3000 \cdot 225/60 \approx 70{,}7\,\mathrm{kW}$, és $70{,}7 \cdot 0{,}92 = 65{,}0\,\mathrm{kW}$, tehát a számítás konzisztens. ∎

6.2.7. Második kidolgozott példa: diagram leolvasása és emelkedőképesség

Számítás. Ugyanannak a példajárműnek az adatai: $m = 1400\,\mathrm{kg}$, $f = 0{,}012$, $c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\mathrm{m}^2$, $\rho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m}^3$. A váltó áttételei: 3,7; 2,1; 1,4; 1,0; 0,8; a tengelyhajtás 3,9; a motor nyomatékgörbéje a fenti ábra alapján. Olvassuk le a vonóerő-diagramról a végsebességet sík úton, és becsüljük meg az elvi emelkedőképességet 100 km/h sebességnél 5. fokozatban!

Megoldás. A diagramon az 5. fokozat vonóerőgörbéje és az ellenállásgörbe körülbelül 212 km/h sebességnél metszi egymást, tehát a sík úti végsebesség $v_{\max} \approx 212\,\mathrm{km/h}$ (ekkor a motor kb. 5650 1/min-en forog, a leszabályozás alatt; tanulási példa, a pontos értéket a gyártói adat és a pontos nyomatékgörbe adja).

100 km/h-nál ($v = 27{,}8\,\mathrm{m/s}$) a menetellenállás:

$$F_{\mathrm{E}} = m\,g\,f + \frac{1}{2}\rho\,c_W\,A\,v^2 = 1400 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}012 + 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \cdot 27{,}8^2.$$

Az első tag: $164{,}8\,\mathrm{N}$. A második: $0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}30 \cdot 2{,}2 \approx 0{,}396$, és $27{,}8^2 \approx 772{,}8$; szorzatuk $0{,}396 \cdot 772{,}8 \approx 306\,\mathrm{N}$. Összesen:

$$F_{\mathrm{E}} \approx 165 + 306 = 471\,\mathrm{N}.$$

5. fokozatban 100 km/h-hoz a diagram alapján $F_{\mathrm{v}} \approx 1900\,\mathrm{N}$ tartozik (a pontos adat az $i_s = 0{,}8$ és a motorfordulatszám alapján $n = 100/0{,}0375 \approx 2670\,1/\mathrm{min}$, a nyomaték kb. 220 Nm, így $F_{\mathrm{v}} \approx 220 \cdot 0{,}8 \cdot 11{,}57 \approx 2036\,\mathrm{N}$; a diagram kerekítve 1900–2100 N között mutatja). Az erőtöbblet:

$$F_{\text{többlet}} \approx 2036 - 471 = 1565\,\mathrm{N}.$$

A gyorsulás közelítőleg, $\delta = 1{,}1$ tömegnövelő tényezővel:

$$a \approx \frac{1565}{1400 \cdot 1{,}1} \approx 1{,}02\,\mathrm{m/s}^2.$$

Az elvi emelkedőképesség:

$$\sin\alpha \approx \frac{1565}{1400 \cdot 9{,}81} \approx 0{,}114, \qquad \alpha \approx 6{,}5^\circ, \qquad q \approx \tan\alpha \cdot 100 \approx 11{,}4\%.$$

Tehát a jármű 100 km/h-ról 5. fokozatban is tudna elvileg 11%-os emelkedőn mászni, ha a motor a névleges nyomatékot leadja; ez a példában erős tartalékot mutat. ∎

6.2.8. Áttételsor és tengelyhajtás szerepe

A nyomatékváltó fokozatainak áttételeit úgy választják meg, hogy a motor a lehető legnagyobb fordulatszám-tartományban a nyomaték- és teljesítménygörbe kedvező szakaszán dolgozzon. Az alacsony (rövid) fokozatok áttétele nagy, ezért nagy kerékvonóerőt, de alacsony sebességet adnak; ezeket elinduláshoz, meredek emelkedőhöz használjuk. A magas (hosszú) fokozatok áttétele kicsi, ezért kisebb vonóerőt, de nagyobb sebességet tesznek lehetővé; ezek a haladó fokozatok.

A fokozatok közötti lépcsőzés általában közelítőleg mértani sorozatot követ, vagyis az egymást követő áttételek hányadosa nagyjából állandó. Példánkban az áttételek: 3,7; 2,1; 1,4; 1,0; 0,8, ezek hányadosai $3{,}7/2{,}1 \approx 1{,}76$, $2{,}1/1{,}4 = 1{,}5$, $1{,}4/1{,}0 = 1{,}4$, $1{,}0/0{,}8 = 1{,}25$. A lépcsőzés nem pontosan egyenletes, de a gyakorlatban a motor nyomatékgörbéjéhez igazítják.

A tengelyhajtás áttétele az összes fokozat vonóerejét és sebességét együtt tolja el. Ha i_0 nő (rövidebb tengelyhajtás), akkor minden fokozatban nagyobb lesz a kerékvonóerő, de ugyanazon motorfordulathoz kisebb sebesség tartozik. Ez javítja a gyorsulást és az emelkedőképességet, de rontja a végsebességet és növeli a motorfordulatszámot országúti tempónál. Ha i_0 csökken (hosszabb tengelyhajtás), akkor fordított a helyzet.

Továbbvitt eredmény. A kerékvonóerő és az áttétel számítási módját, valamint a vonóerő-diagram értelmezését használjuk az Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség alfejezetben, ahol a tapadási korlátot vetjük össze a vonóerővel, és a Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet alfejezetben, ahol a fokozatok és a tengelyhajtás szerkezeti megvalósítását tárgyaljuk.

6.2.9. Minőségellenőrzés: hogyan ellenőrizzük a diagramot a valós járművön?

A vonóerő-diagramot nemcsak papíron használjuk; a műhelyben az áttételezés és a hajtáslánc állapotának ellenőrzésére is jó. A következő méréseket végezhetjük el:

1. **Sebesség–fordulatszám ellenőrzés.** Válasszunk egy ismert fokozatot, például 4. fokozatot, és állandó motorfordulatszámon, sík úton mérjük a jármű sebességét (diagnosztikai műszerrel vagy GPS-szel, illetve a gyári műszerfalon). Hasonlítsuk össze a gyártói áttétel-adatokból számított sebességgel. Jelentős eltérés (5–10% felett) tengelykapcsoló-csúszásra, nem megfelelő gumiabroncsméretre, rossz áttételezésre vagy hibás fordulatszámjelre utalhat.
2. **Vonóerő/gyorsulás ellenőrzés.** Fékpadi teljesítménymérésen a motornyomaték-leadást a fokozatokon át a kerekekre viszik át. Ha a mért kerékvonóerő a számítottnál kisebb, akkor a veszteség a hajtáslánccban, a motorban vagy a vezérlésben keresendő.
3. **Diagram-konzisztencia.** A diagramon az egyes fokozatok görbéi a motor nyomaték-görbéjét kell hogy kövessék, függőlegesen az áttételek arányában eltolva. Ha a mért görbék metszik egymást vagy rossz sorrendben vannak, akkor adathiba vagy nem megfelelő áttétel-rekonstrukció áll fenn.

A gyártói javítási adatok (áttétel, hatásfok, tömeg, légellenállás) mindig a konkrét járműtípusra vonatkoznak, ezért a diagramot a gyártói adatbázisból kell ellenőrizni; a könyvben használt értékek tanulási példák **(ellenőrizendő: gyártói adat).**

6.2.10. Valós életbeli alkalmazás: emelkedőn gyenge autó

Egy ügyfél azzal hozza a járművét, hogy „autópályán, emelkedőn 5. fokozatban nem tudja tartani a 130 km/h-t, vissza kell váltani 4. fokozatba”. A műhelyben először kiolvassuk a hibakódokat: nincs aktív hibakód. Ezután rögzítjük a motor alapadatait: a levegőtömeg-mérő értéke, a befecskendezési idő és a gyújtásszög normális, de teljes terhelésen a mért töltőnyomás az előírt érték alatt marad, és a számított motornyomaték a diagnosztikai adatban csak 190 Nm a gyári 225 Nm helyett (példa; ellenőrizendő: gyártói adat). A turbónyomás-szabályozó szelep kissé lassan zár, ezért a motor nem éri el a névleges nyomatékot. A vonóerő-diagramon ezért a fokozatgörbe lefelé tolódik, és az ellenállásgörbével való metszéspont alacsonyabb sebességre esik.

A javítás: a turbónyomás-szabályozó pneumatikai körét ellenőrizzük, a szivárgást megszüntetjük, esetleg a szelepet cseréljük. Javítás után a nyomatékgörbe visszaáll a tervezett értékre, és a jármű ismét tartja a 130 km/h-t az adott emelkedőn. A tanulság: a vonóerő-diagram nemcsak papíron él, hanem megmutatja, hogy egy kisebb motorteljesítmény-veszteség miért éppen emelkedőn és magas fokozatban érzékelhető először.

6.2.11. Tipikus hibák

1. **A hajtáslánc hatásfokának elhagyása.** Ha a $F_{\mathrm{v}} = M_{\mathrm{e}} i_{\ddot{\mathrm{o}}} / r_{\mathrm{d}}$ képlettel számolunk η nélkül, a kerékvonóerőt 5–15%-kal túlbecsüljük. A valós hajtásláncban mindig van veszteség (fogaskerék-, csapágy-, tömítésveszteség).
2. **A névleges kerékátmérő használata gördülési sugár helyett.** A gumiabroncs terhelés alatt lapul, a gördülési sugara kisebb a névleges sugárnál, ezért a sebességet és a vonóerőt is befolyásolja. A hibás sugár néhány százalékos eltérést okoz a sebességben és a vonóerőben.
3. **Az emelkedő százalékának rossz átszámítása.** Kis szögeknél $\sin\alpha \approx \tan\alpha$, tehát a százalékos emelkedőt közelíthetjük a szinusszal, de nagyobb emelkedőknél már pontosan kell számolni. Például 20%-os emelkedőnél $\alpha = \arctan(0{,}2) \approx 11{,}3^\circ$, és $\sin\alpha \approx 0{,}196$, nem pedig 0,2.
4. **A végsebesség téves leolvasása.** A végsebesség nem feltétlenül a motor maximális teljesítményéhez tartozó sebesség, hanem a vonóerőgörbe és az ellenállásgörbe metszéspontja. Ha a legmagasabb fokozat vonóerőgörbéje a leszabályozási fordulatszám előtt metszi az ellenállásgörbét, a metszéspont a végsebesség; ha a görbe a leszabályozásig sem éri el az ellenállásgörbét, a végsebességet a leszabályozás korlátozza.
5. **A fokozatgörbe megrajzolásánál a motorfordulatszám-tartomány figyelmen kívül hagyása.** Egy fokozat vonóerőgörbéje csak a motor üzemi fordulatszám-tartományában értelmezett, nem rajzolható tetszőleges sebességig.

6.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kerékvonóerő egyenesen arányos a teljes hajtáslánc áttételével? Indokolj!
2. Számítsd ki a kerékvonóerőt, ha $M_{\mathrm{e}} = 200\,\mathrm{Nm}$, $i_{\ddot{\mathrm{o}}} = 10$, $\eta = 0{,}90$, $r_{\mathrm{d}} = 0{,}32\,\mathrm{m}$!
3. A példajármű 5. fokozatában a sebesség–fordulatszám hányados 0,0375 km/h per 1/min. Mennyi a sebesség 4000 1/min-nél?
4. Hol olvassuk le a végsebességet a vonóerő-diagramról?
5. Mit jelent a vonóerő és az ellenállásgörbe közötti függőleges különbség?
6. Valaki az áttételt $i_{\ddot{\mathrm{o}}} = i_s + i_0$ képlettel számolja. Mi a hiba?

6.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Írd fel a kerékvonóerő és a járműsebesség képletét a teljes áttétel, a motor nyomatéka, a hatásfok, a gördülési sugár és a motorfordulatszám segítségével!

2. feladat (A). A példajármű 2. fokozatában $i_s = 2{,}1$, a tengelyhajtás $i_0 = 3{,}9$, $\eta = 0{,}92$, $r_\mathrm{d} = 0{,}31\,\mathrm{m}$. Mekkora a kerékvonóerő és a sebesség $n = 2500\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon, ha a motor nyomatéka $M_\mathrm{e} = 215\,\mathrm{Nm}$?

3. feladat (B). A megadott példajármű vonóerő-diagramján vázold fel az 1. és 5. fokozat görbéjét, az ellenállásgörbét, és jelöld be a végsebességet, valamint a 100 km/h-hoz tartozó erőtöbbletet! (A válaszhoz szöveges rajzleírás is elegendő.)

4. feladat (B). Számítsd ki a menetteljesítményt a példajármű 4. fokozatában, $n = 3000\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon! Adott: $M_\mathrm{e} = 225\,\mathrm{Nm}$, $i_s = 1{,}0$, $i_0 = 3{,}9$, $\eta = 0{,}92$, $r_\mathrm{d} = 0{,}31\,\mathrm{m}$. Ellenőrizd, hogy azonos-e a motor-effektív teljesítményből számított értékkel!

5. feladat (C). A tengelyhajtás áttételét a példajárműben $i_0 = 3{,}9$-ről 4,3-ra növelik. Az 5. fokozat áttétele $i_s = 0{,}8$ marad. Mennyivel változik a következő mennyiség 3000 1/min motorfordulaton ugyanazon motor-nyomatéknál ($M_\mathrm{e} = 225\,\mathrm{Nm}$): a teljes áttétel, a kerékvonóerő, és a jármű sebessége? Magyarázd meg, milyen hatása van ennek a gyorsulásra és a végsebességre!

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza szerint az autója sík úton nem éri el a gyárilag megadott 210 km/h-t, csak 180 km/h-t. A hibakód-tároló üres, a motor alapjáraton jól jár. Milyen méréseket végeznél, és milyen okokat keresnél a vonóerő-diagram alapján? Fogalmazz meg legalább három lehetséges okot és a hozzájuk tartozó mérési/szerelési ellenőrzést!

6.2.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igen, a kerékvonóerő egyenesen arányos a teljes áttétellel, mivel $F_\mathrm{v} = M_\mathrm{e} i_\mathrm{ö} \eta / r_\mathrm{d}$; nagyobb $i_\mathrm{ö}$ nagyobb nyomatékot ad a kerékre.
2. $F_\mathrm{v} = 200 \cdot 10 \cdot 0{,}90 / 0{,}32 = 5625\,\mathrm{N}$.
3. $v = 0{,}0375 \cdot 4000 = 150\,\mathrm{km/h}$.
4. A legmagasabb fokozat vonóerőgörbéjének az ellenállásgörbével való metszéspontjánál.
5. A gyorsításra vagy emelkedőn való haladásra fordítható erőtöbbletet.
6. Az áttétel szorzás, nem összeadás: $i_\mathrm{ö} = i_s \cdot i_0$.

1. feladat megoldása.

$$F_\mathrm{v} = \frac{M_\mathrm{e} \cdot i_\mathrm{ö} \cdot \eta}{r_\mathrm{d}}, \qquad v_\mathrm{km/h} = 0{,}377\,\frac{r_\mathrm{d}\, n}{i_\mathrm{ö}},$$

ahol $i_\mathrm{ö} = i_s \cdot i_0$.

2. feladat megoldása.

Először a teljes áttétel:

$$i_\mathrm{ö} = 2{,}1 \cdot 3{,}9 = 8{,}19.$$

A kerékvonóerő:

$$F_{\mathrm{v}} = \frac{215 \cdot 8{,}19 \cdot 0{,}92}{0{,}31}.$$

A számláló: $215 \cdot 8{,}19 \approx 1760{,}85$; szorozva 0,92-vel: 1619,98 Nm. Osztva 0,31-rel:

$$F_{\mathrm{v}} \approx 5226\,\mathrm{N}.$$

A sebesség:

$$v = 0{,}377\,\frac{0{,}31 \cdot 2500}{8{,}19} = 0{,}377\,\frac{775}{8{,}19} \approx 0{,}377 \cdot 94{,}63 \approx 35{,}7\,\mathrm{km/h}.$$

(A vonóerő-diagram csak néhány fordulatszám-pontot mutat; a feladat $n = 2500\,1/\mathrm{min}$ értékéhez tartozó 35,7 km/h a görbe két szomszédos pontja közé esik.)

3. feladat megoldása.

A rajz vázlatosan: vízszintes tengelyen a sebesség 0–250 km/h, függőlegesen a vonóerő 0–10 000 N. Az 1. fokozat görbe 8–49 km/h között magasan fut, csúcsa 3500 1/min-nél, kb. 9,8 kN. Az 5. fokozat görbe 37,5–225 km/h között alacsonyabban, csúcsa 150 km/h körül kb. 2,1 kN. Az ellenállásgörbe 0-tól indul, 165 N-ről, és 225 km/h-nál kb. 1700 N-re emelkedik. A végsebesség az 5. fokozat és az ellenállásgörbe metszéspontja: kb. 212 km/h. 100 km/h-nál az 5. fokozat görbéje és az ellenállásgörbe közötti függőleges szakasz az erőtöbblet, kb. 1500–1600 N.

4. feladat megoldása.

A teljes áttétel 4. fokozatban: $i_{\ddot{\mathrm{o}}} = 1{,}0 \cdot 3{,}9 = 3{,}9$. A kerékvonóerő:

$$F_{\mathrm{v}} = \frac{225 \cdot 3{,}9 \cdot 0{,}92}{0{,}31}.$$

A számláló: $225 \cdot 3{,}9 = 877{,}5$; szorozva 0,92-vel: 807,3 Nm; osztva 0,31-rel:

$$F_{\mathrm{v}} \approx 2604\,\mathrm{N}.$$

A sebesség $n = 3000$ 1/min-nél:

$$v = 0{,}377\,\frac{0{,}31 \cdot 3000}{3{,}9} \approx 0{,}377 \cdot 238{,}46 \approx 89{,}9\,\mathrm{km/h} = 24{,}97\,\mathrm{m/s}.$$

A kerékteljesítmény:

$$P_{\mathrm{v}} = 2604 \cdot 24{,}97 \approx 65{,}0\,\mathrm{kW}.$$

A motor effektív teljesítménye:

$$P_{\mathrm{e}} = \frac{2\pi \cdot 3000 \cdot 225}{60} \approx 70{,}7\,\mathrm{kW}.$$

A hajtáslánc hatásfoka miatt $70{,}7 \cdot 0{,}92 = 65{,}0\,\mathrm{kW}$, tehát a két számítás azonos. ∎

5. feladat megoldása.

Eredeti tengelyhajtás $i_0 = 3{,}9$, új $i_0' = 4{,}3$; $i_s = 0{,}8$, $M_\mathrm{e} = 225\,\mathrm{Nm}$, $\eta = 0{,}92$, $r_\mathrm{d} = 0{,}31\,\mathrm{m}$.

Eredeti teljes áttétel: $i_\mathrm{ö} = 0{,}8 \cdot 3{,}9 = 3{,}12$. Új: $i_\mathrm{ö}' = 0{,}8 \cdot 4{,}3 = 3{,}44$.

A vonóerő:

$$F_\mathrm{v} = \frac{225 \cdot 3{,}12 \cdot 0{,}92}{0{,}31} \approx 2082\,\mathrm{N}, \qquad F_\mathrm{v}' = \frac{225 \cdot 3{,}44 \cdot 0{,}92}{0{,}31} \approx 2298\,\mathrm{N}.$$

A sebesség 3000 1/min-nél:

$$v = 0{,}377\,\frac{0{,}31 \cdot 3000}{3{,}12} \approx 112{,}4\,\mathrm{km/h}, \qquad v' = 0{,}377\,\frac{0{,}31 \cdot 3000}{3{,}44} \approx 101{,}9\,\mathrm{km/h}.$$

Tehát a rövidebb tengelyhajtás miatt a vonóerő kb. 216 N-rel (10%-kal) nő, a sebesség ugyanazon motorfordulaton kb. 10,5 km/h-val csökken. A gyorsulás és az emelkedőképesség javul, a végsebesség viszont jellemzően csökken, mert ugyanahhoz a sebességhez magasabb motorfordulatszám tartozik, így a motor hamarabb eléri a leszabályozási fordulatszámot (vagy a teljesítménymaximum utáni szakaszra kerül).

6. feladat megoldása.

A panasz szerint a jármű a várt 210 km/h helyett csak 180 km/h-t éri el. Mivel a hibakódtároló üres, a hiba lehet mechanikus vagy érzékelő/aktuátor jellegű, ami nem generál kódot. A vonóerő-diagram alapján három lehetséges ok:

- **Motor nem adja le a névleges nyomatékot teljes terhelésen.** Mérés: diagnosztikai adatban a levegőtömeg, töltőnyomás, befecskendezési idő, gyújtásszög; fékpadi teljesítménymérés. Ok lehet szivárgó töltőlevegő, kopott turbó, rossz üzemanyagnyomás, kipufogó-ellennyomás. Javítás: a mért értékek alapján.
- **Hajtáslánc-veszteség nőtt meg.** Mérés: a kerekekhez jutó vonóerő összehasonlítása a motor nyomatékából számított értékkel; sebesség–fordulatszám ellenőrzés. Ok lehet tengelykapcsoló-csúszás (ha kézi váltós), nem megfelelő olaj, fékek húzása, kerékcsapágyhúzás. Javítás: a súrlódó elemek ellenőrzése, csere.
- **A gumiabroncs vagy a kerék mérete nem megfelelő.** Mérés: a tényleges gördülési sugár ellenőrzése, a gyári abroncsméret összehasonlítása. Ha a kerék átmérője nagyobb a gyárinál, a sebességmérő nem feltétlenül mutatja a valós sebességet, és a tényleges végsebesség is változhat. (A műszerfalon mért 180 km/h lehet valós 180 km/h, ha a sebességmérő pontos, de a gyári végsebességet a gyári méretre adják meg.)

A diagnosztikai gondolatmenet mindig a tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás–ellenőrzés láncot követi; a vonóerő-diagram segít elkülöníteni a motor-, hajtáslánc- és járműellenállási okokat.

6.2.15. Rövid összefoglaló

A kerékvonóerő a motor forgatónyomatékából, a teljes hajtáslánc áttételéből ($i_\mathrm{ö} = i_s \cdot i_0$), a hajtáslánc hatásfokából és a kerék gördülési sugarából számítható a $F_\mathrm{v} = M_\mathrm{e} i_\mathrm{ö} \eta / r_\mathrm{d}$ képlettel. A jármű sebessége adott fokozatban és motorfordulatszámon $v_\mathrm{km/h} = 0{,}377\, r_\mathrm{d} n / i_\mathrm{ö}$. A vonóerő-diagram a fokozatok vonóerőgörbéit és a menetellenállás-görbét ábrázolja a sebesség függvényében; a metszéspont adja a végsebességet, a görbék közötti különbség pedig a gyorsításra vagy emelkedőn való haladásra fordítható erőtöbbletet. A menetteljesítmény-diagram ugyanezt a teljesítmények oldaláról mutatja. A tengelyhajtás áttételének változtatása minden fokozat vonóerejét és sebességét együtt tolja el: rövidebb áttétel nagyobb vonóerőt, de alacsonyabb sebességet ad;

hosszabb áttétel fordított. Ezt az összefüggést használjuk az Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség alfejezetben és a Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet alfejezetben.

6.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Motor-nyomatékgörbe, áttételek, hajtáslánc-hatásfok, tömeg, légellenállási együttható és gördülési sugár: tanulási példák, ellenőrizendő a konkrét jármű gyártói adatbázisából.
- A 0,377-es állandó a $2\pi \cdot 3{,}6/60$ levezetésből adódik, fizikai állandó, nem gyártói adat.
- A tömegnövelő tényező pontos értéke a váltó fokozatától és a forgó tömegektől függ, ellenőrizendő járműtípus szerint.

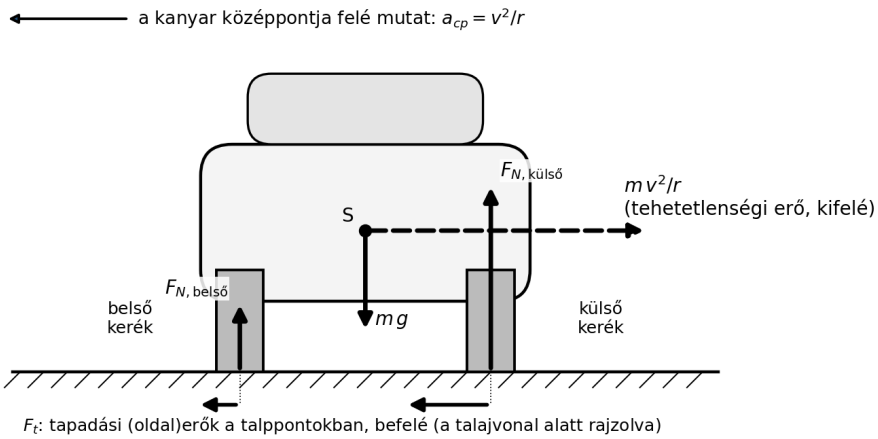
6.3. Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség

6.3.1. Miért kell ezt tudnod a műhelyben?

Vizes, kanyargós úton egy ügyfél azt mondja: „az autó hátulja ki akar jönni, pedig nem megyek gyorsan”. Ilyenkor nem elég a gumiabroncsot megnézni, hanem azt is tudni kell, mekkora az a sebesség, amelynél az adott ívsugáron és útburkolaton a tapadás elfogy. Ezt a szerelő a menetdinamika két alapképletével becsli: a kicsúszási és a borulási határsebességgel. Így el tudja dönteni, hogy a panasz elsősorban műszaki hibából, a vezetési sebességből vagy mindkettőből adódik.

6.3.2. Szemléletes kép: erők az ívmenetben

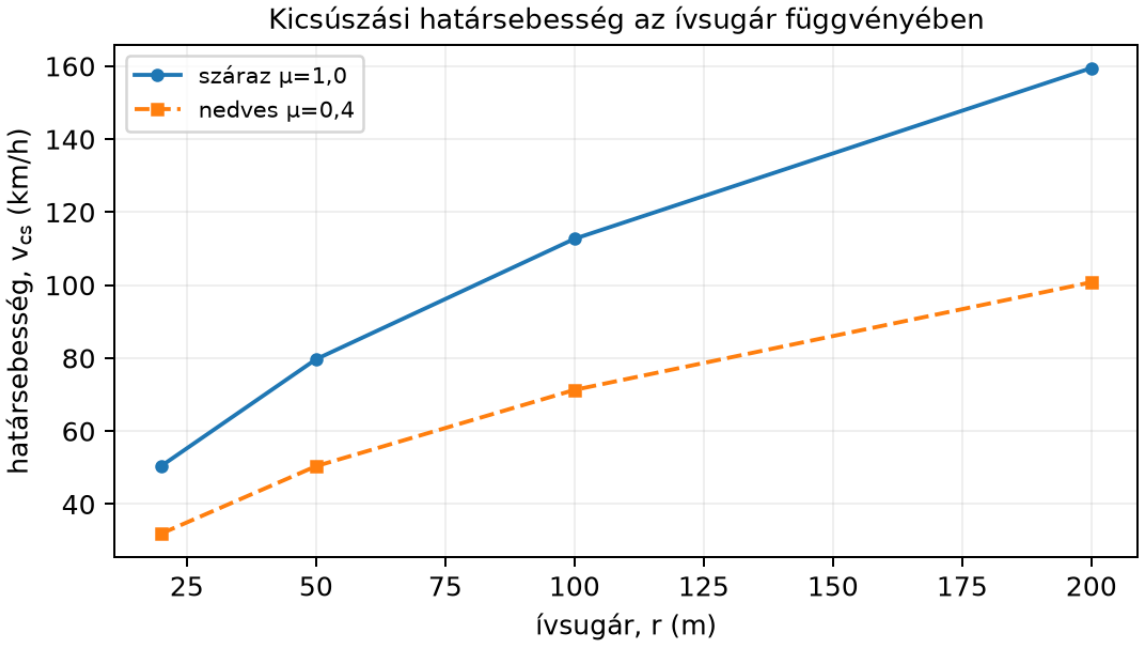
Képzeljünk el egy személyautót hátulnézetből, amint balra kanyarodik. A kanyar középpontja felé mutató gyorsulás miatt a kerekeken a talaj oldalirányú tapadási erőt fejt ki. A súlypontra felvéve ezt az a_{cp} centripetális gyorsulást, hátulnézetből úgy látjuk, mintha a jármű tömegét kifelé húzná egy oldalerő, miközben a nehézségi erő lefelé húzza. A külső kerék normálereje megnő, a belső keréké csökken. Ha a külső kerék már nem tud elegendő oldalirányú tapadást adni, a jármű megcsúszik; ha a belső kerék teljesen tehermentesül, a jármű borulni kezd.



6.5. ábra. Erők ívmenetben, hátulnézetből (balra kanyarodó jármű)

Az ábrán a centripetális gyorsulás a kanyar középpontja (balra) felé mutat; a súlypontban kifelé rajzolt szaggatott nyíl a D'Alembert-féle tehetetlenségi erő (mv^2/r), nem gyorsulás. A normálerők a talajból függőlegesen indulnak, a külső nagyobb; a kanyarodáshoz szükséges oldalerőt a talppontokban befelé ható tapadási erők adják.

A görbe függvénye is sokat mond: minél szűkebb a kanyar, annál kisebb az a sebesség, amellyel még biztonságosan bevehető. A következő ábra a kicsúszási határsebességet mutatja az ívsugár függvényében száraz és nedves útburkolatra.



6.6. ábra. Kicsúszási határsebesség az ívsugár függvényében - Szemléltető, a v_cs=√(μ · g · r) képletből számolt kerekített tanulási adatsor; g=9,81 m/s².

Az ábrán jól látszik: ugyanabban az ívben a nedves út lényegesen kisebb sebességet enged, és a határsebesség nem lineárisan nő az ívsugárral, hanem a négyzetgyökével.

6.3.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Ívmenet közben az r ívsugár a pálya görbületi sugara. Állandó nagyságú sebességű köríven a jármű a_{cp} centripetális gyorsulása a kanyar középpontja felé mutat:

$$a_{\text{cp}} = \frac{v^2}{r}.$$

Definíció. A μ tapadási tényező azt fejezi ki, hogy a kerék és az út között legfeljebb mekkora oldalirányú (vagy kerületi) erő vihető át a kerék normál terheléséhez képest. Sík úton, mind a négy kerék tapadása esetén a teljes járműre:

$$F_{\text{t,max}} = \mu\, m\, g.$$

Definíció. A v_{cs} kicsúszási határsebesség az a sebesség, amelynél az ívmenethez szükséges centripetális erő éppen eléri a megcsúszás nélkül átvihető legnagyobb tapadási erőt.

Definíció. A v_{bor} borulási határsebesség az az elvi sebesség, amelynél a billenési nyomaték miatt a belső kerék normálereje nullára csökken; ez erősen idealizált, merev futóművet feltételez.

Összefüggés (kicsúszási határsebesség). A határhelyzetben a centripetális erő egyenlő a maximális tapadási erővel:

$$\frac{mv^2}{r} = \mu m g.$$

A tömeggel egyszerűsítve és v-re rendezve:

$$v_{\text{cs}} = \sqrt{\mu\, g\, r}.$$

Összefüggés (borulási határsebesség, közelítő). Vegyünk hátulnézetben egy d nyomtávú, h_{s} súlypontmagasságú járművet. A külső kerék érintkezési vonala körüli billenést a kifelé ható tömegerő h_{s} karja dönti, a nehézségi erő $d/2$ karja stabilizálja. A határhelyzetben a két nyomaték egyenlő:

$$m\frac{v^2}{r}h_{\text{s}} = mg\frac{d}{2}.$$

Innen:

$$v_{\text{bor}} = \sqrt{\frac{d}{2h_{\text{s}}} g\, r}.$$

Megjegyzés. A valóságos jármű futóműve rugózik, oldalra dől, a gumiabroncs deformálódik, ezért a tényleges borulási határ a fenti merev-test közelítéstől eltér. Magas súlypontú járműveken (kisteherautó, busz, terepjáró) azonban ez a gondolatmenet jól megmutatja, miért lehet a borulás mértékadóbb, mint a kicsúszás.

6.3.4. Jellemző tapadási tényezők

A tapadási tényező nem egyetlen, állandó gumiabroncs-adat. Függ a burkolattól, a vízrétegtől, a mintázattól, az abroncsnyomástól, a hőmérséklettől és a csúszási állapottól is. A következő táblázat irányértékeket ad.

Útburkolat / állapot	Jellemző tapadási tényező, μ
Száraz aszfalt, beton	0,8–1,0
Nedves, vízelvezetett aszfalt	0,4–0,7
Laza murva, kavics	0,5–0,7
Tömött hó	0,2–0,3
Jég	0,05–0,15

Az értékek tanulási irányértékek; a tényleges tapadást mindig méréssel, gyártói adatokkal és a helyszíni útviszonyokkal együtt kell értékelni.

6.3.5. Kidolgozott példa – kicsúszás száraz és nedves úton

1. példa (A szint). Egy személyautó $r = 60\,\text{m}$ sugarú kanyarban halad száraz aszfalton. A tapadási tényezőt $\mu = 0{,}9$-re becsüljük. Kérdés: mekkora a kicsúszási határsebesség?

Adott:
$r = 60\,\text{m}$, $\mu = 0{,}9$, $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$.
Keresett: v_{cs} m/s-ban és km/h-ban.

$$v_{\text{cs}} = \sqrt{\mu\, g\, r} = \sqrt{0{,}9 \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \cdot 60\,\text{m}} = \sqrt{529{,}74\,\text{m}^2/\text{s}^2} \approx 23{,}02\,\text{m/s}.$$

Átváltva: $23{,}02 \cdot 3{,}6 \approx 82{,}9\,\text{km/h}$.

Ellenőrzés: 80 km/h körüli határsebesség száraz, jó tapadású úton reális.

2. példa (A szint). Ugyanez a jármű nedves úton halad, a becsült tapadási tényező $\mu = 0{,}4$. Kérdés: mekkora a határsebesség?

$$v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}4 \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \cdot 60\,\text{m}} = \sqrt{235{,}44\,\text{m}^2/\text{s}^2} \approx 15{,}34\,\text{m/s}.$$

Átváltva: $\approx 55{,}2\,\text{km/h}$.

Ellenőrzés: a nedves úton a határsebesség a száraz úti érték körülbelül $15{,}34/23{,}02 \approx 0{,}67$-szorosa, azaz két példa összhangban van azzal, hogy a sebesség a tapadási tényező négyzetgyökével arányos.

6.3.6. Kidolgozott példa – borulási és kicsúszási határ összehasonlítása

3. példa (B szint). Egy magasabb építésű jármű adatai: nyomtáv $d = 1{,}80\,\text{m}$, súlypontmagasság $h_{\text{s}} = 1{,}20\,\text{m}$. A kanyar sugara $r = 45\,\text{m}$, a száraz útra becsült tapadási tényező $\mu = 0{,}85$. Kérdés: előbb csúszik-e meg, vagy borulhat?

Először a borulási határsebesség:

$$v_{\text{bor}} = \sqrt{\frac{d}{2h_{\text{s}}} g\, r} = \sqrt{\frac{1{,}80\,\text{m}}{2 \cdot 1{,}20\,\text{m}} \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \cdot 45\,\text{m}} = \sqrt{0{,}75 \cdot 441{,}45\,\text{m}^2/\text{s}^2} \approx 18{,}2\,\text{m/s}.$$

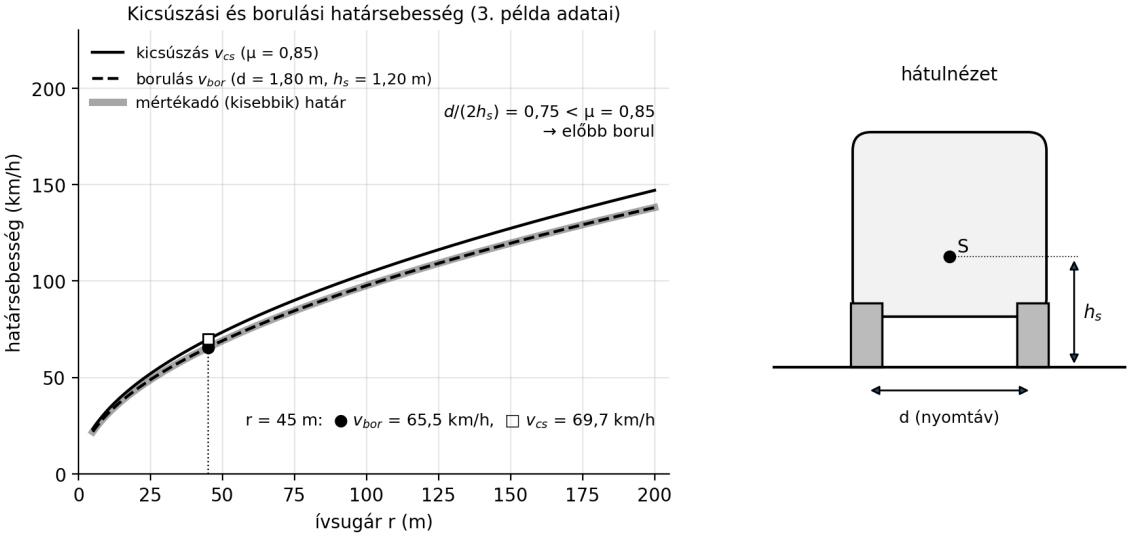
Átváltva: $\approx 65{,}5\,\text{km/h}$.

A kicsúszási határsebesség:

$$v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}85 \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 \cdot 45\,\text{m}} \approx 19{,}4\,\text{m/s} \quad (\approx 69{,}7\,\text{km/h}).$$

Mivel $v_{\text{bor}} < v_{\text{cs}}$, ez a jármű elvileg előbb érheti el a borulási határt, mint a teljes megcsúszást. Ezért az ilyen járműveknél a rakomány rögzítése, a súlypont leszállítása és a nyomtáv, illetve a stabilizáló rendszer szerepe kiemelt.

Hogy melyik határ a mértékadó, az a $d/(2h_s)$ és a μ összevetésén múlik: ha $d/(2h_s) < \mu$, a jármű előbb borul, mint csúszik. Az alábbi ábra a 3. példa adataival mutatja a két határsebességet az ívsugár függvényében (a mértékadó, kisebbik görbe kiemelve). A HTML-kiadásban az ívsugár, a tapadási tényező (útburkolat-választóval), a nyomtáv és a súlypontmagasság állítható.



6.7. ábra. Kicsúszási és borulási határsebesség az ívsugár függvényében

6.3.7. Hibás példa – a mértékegység keverése

Gyakori hiba, ha valaki a sebességet km/h-ban írja be az SI képletbe.

Hibás számítás:
„$a_{\mathrm{cp}} = v^2/r = 50^2/60 = 41{,}7\,\mathrm{m/s^2}\ (\approx 4{,}2\,g)$.”

Hiba. A képletben a sebesség mértékegysége m/s, nem km/h; a kapott érték nyilvánvalóan irreális. A helyes eljárás: $v = 50/3{,}6 = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$, majd $a_{\mathrm{cp}} = 13{,}9^2/60 = 3{,}2\,\mathrm{m/s^2}$. A fordított irány is gyakori hiba: a $v_{\mathrm{cs}} = \sqrt{0{,}9 \cdot 9{,}81 \cdot 60}$ gyökértéke 23,0 m/s, ez csak 3,6-tal szorozva adja a 82,9 km/h-t. Ez a példa is mutatja, miért kell minden számítási lépésnél ellenőrizni a mértékegységet.

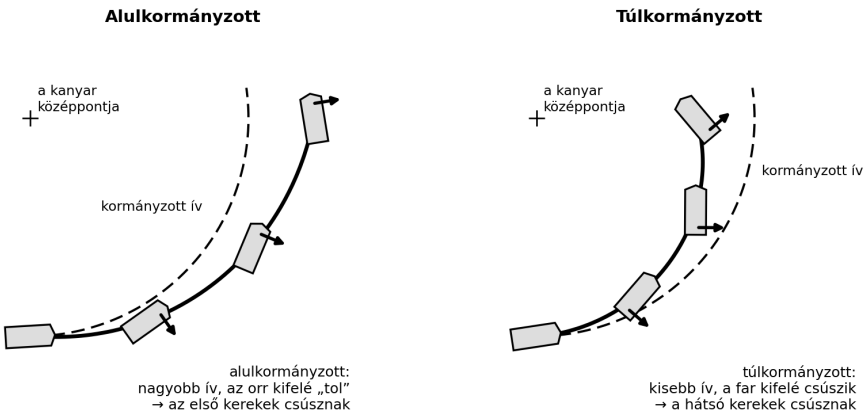
6.3.8. Túlkormányzott és alulkormányzott viselkedés szemléletesen

Ívmenetben a jármű első és hátsó kerekei eltérő oldalvezetési szögbe kerülhetnek, mert a gumiabroncs oldalirányú erő hatására deformálódik.

Alulkormányzott viselkedés. A jármű orra a kanyar külső íve felé húz, azaz a tényleges ívsugár nagyobb lesz, mint amit a kormánykerék állása kijelöl. A vezető több kormányelfordítással korrigál. A legtöbb sorozatgyártású személyautó mérsékelten alulkormányzott viselkedésre van hangolva, mert ez vezetői szempontból kiszámíthatóbb.

Túlkormányzott viselkedés. A jármű far része csúszik inkább kifelé, a kanyar belső íve felé fordulva. A vezetőnek csökkentenie kell a gázpedált és ellenkormányzással kell stabilizálnia. Ha a hátsó tengely tapadása hirtelen elfogy, a jármű megpördülhet.

A két viselkedést felülnézetben mutatja az alábbi ábra: a szaggatott vonal a kormánykerék szerinti ív, a folytonos a tényleges pálya. Alulkormányzottan a jármű nagyobb íven, kifelé sodródik (az első kerekek csúsznak), túlkormányzottan kisebb íven befelé fordul, a fara kifelé csúszik (a hátsó kerekek csúsznak). A HTML-kiadásban a mozgás lépésenként lejátszható.



Felülnézet, balra kanyarodó jármű. Szaggatott: kormányzott ív; folytonos: tényleges pálya; nyíl: a csúszó tengely kifelé sodródása. Kvalitatív vázlat; az ESP egy-egy kerék fékezésével közelít a kormányzott ívhez.

6.8. ábra. Alul- és túlkormányzott jármű pályája felülnézetben

Megjegyzés. Az elektronikus menetstabilizáló (ESP/ESC) a kanyarodási szándékot a kormánykerék-szög, a jármű sebessége és a legyezőszög-érzékelő jelei alapján veti össze, és eltérés esetén egy-egy kereket fékez, illetve a motor nyomatékát csökkenti. A részletes kormányzási jellemzőket a Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők alfejezetben tárgyaljuk; az ESP fékoldali beavatkozását a Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA alfejezet.

6.3.9. Minőségellenőrzés a műhelyben

A kanyarstabilitási panaszokat technikailag az alábbi szempontok szerint ellenőrizzük:

- Gumiabroncs típusa, futófelület-mélysége, egyenletes kopása, abroncsnyomása és gyártói megfelelősége.
- Kerékbeállítás: összetartás, dőlés, utánfutás, a gyártói kerékállás-adatok szerint (ellenőrizendő).
- Futóműrugók, lengéscsillapítók, szilentek, gömbcsuklók és a kormány holtjátékai.
- Az ESP/ABS hibakódjai, a legyezőszög- és kormánykerék-szög-érzékelő kalibrálása.
- A jármű tényleges terhelése, utasok és csomagtér, vonóhorog-terhelés, rakomány súlypontja.

Fontos. A számított határsebesség becslés, és nem helyettesíti a valós útviszonyokon végzett gyártói szintű menetvizsgálatot. Közúton a határhelyzetet kipróbálni tilos; tanműhelyi környezetben is csak oktató felügyelete és a biztonsági előírások szerint lehet mérni.

6.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy vizes időben a körforgalomban „a kocsi hátulja kifarol”. A műhelyben kiolvassák az ESP hibakódjait, ott nincs tárolt hiba. A műhelyi átvizsgálás során kiderül, hogy a hátsó gumiabroncsok profilmélysége 2–3 mm; ez a törvényes minimum felett van (személygépkocsinál 1,6 mm; ellenőrizendő: 6/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet), de vizes úton a vízelvezetés és a tapadás már érezhetően romlik, ezért a csere ajánlott. A hátsó lengéscsillapítók ráadásul elfáradtak. A körforgalom belső ívének sugara $r \approx 15\,\mathrm{m}$, a nedves útra jellemző tapadási tényezőt $\mu = 0{,}35$-re becsüljük.

A kicsúszási határsebesség:

$$v_{\mathrm{cs}} = \sqrt{0{,}35 \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 15\,\mathrm{m}} \approx 7{,}17\,\mathrm{m/s} \quad (\approx 25{,}8\,\mathrm{km/h}).$$

Az ügyfél 35–40 km/h-val hajtott be. A megcsúszás tehát fizikailag várható, a sebesség a becsült határ fölött van. A javítás nemcsak a gumicsere, hanem a hátsó lengéscsillapítók cseréje is, mert a rossz lengéscsillapítók miatt a kerék rövid időre elemelkedhet, és a hátsó tengely oldalirányú tapadása tovább csökken. Az átadásnál a szerelő felhívja a figyelmet a körforgalomban betartandó sebességre is.

6.3.11. Tipikus hibák

Hiba 1. A km/h-érték behelyettesítése átváltás nélkül.
A képlet SI-egységekkel m/s-ban ad helyes eredményt. A km/h-értéket először osztani kell 3,6-tal, vagy a végső m/s értéket kell szorozni 3,6-tal.

Hiba 2. A tapadási tényezőt állandó anyagjellemzőként kezelik.
A μ erősen függ a burkolattól, víztől, hőmérséklettől, gumiabroncs-állapottól és a kerék csúszásától. A táblázatbeli irányérték csak becslésre való.

Hiba 3. A kicsúszási és a borulási határ összekeverése.
Személyautónál sokszor a kicsúszási határ a kisebb, ezért a jármű inkább csúszik. Magas súlypontú, keskeny nyomtávú járműnél viszont a borulási határ lehet mértékadó, ezért a két értéket külön kell kiszámítani.

Hiba 4. Nem veszik figyelembe a terhelést.
A levezetésben a tömeg kiesik, de a súlypontmagasság és a súlypont helyzete a rakománytól függ. A tetőcsomagtartóra rakott teher különösen növeli a borulási kockázatot.

6.3.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Ha a tapadási tényező a felére csökken, a kicsúszási határsebesség is a felére csökken. Indokold.
2. Számítsd ki a centripetális gyorsulást, ha $r = 100\,\mathrm{m}$ és a sebesség $54\,\mathrm{km/h}$.
3. Számítsd ki a kicsúszási határsebességet $\mu = 0{,}6$ és $r = 75\,\mathrm{m}$ esetén, add meg km/h-ban is.
4. Mi a hiba ebben a leírásban? „$v_{\mathrm{cs}} = \sqrt{\mu g r} = \sqrt{0{,}7 \cdot 9{,}81 \cdot 80} = 23{,}4\,\mathrm{km/h}$, tehát a kanyar $84\,\mathrm{km/h}$-val bevehető.” Mi a helyes érték?
5. Melyik változtatás növeli a borulási határsebességet: a súlypontmagasság csökkentése vagy a nyomtáv csökkentése? Indokold.

6.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a tapadási tényezőt és a centripetális gyorsulást, és írd fel mindkét összefüggést.

2. feladat (A). Egy kanyar ívsugara $r = 40\,\mathrm{m}$, a tapadási tényező becsült értéke $\mu = 0{,}5$. Mennyi a kicsúszási határsebesség m/s-ban és km/h-ban?

3. feladat (B). Egy jármű nyomtávja $d = 1{,}55\,\mathrm{m}$, súlypontmagassága $h_{\mathrm{s}} = 0{,}65\,\mathrm{m}$. A kanyar sugara $r = 80\,\mathrm{m}$, a tapadási tényező $\mu = 1{,}0$. Számítsd ki a borulási és a kicsúszási határsebességet. Melyik a mértékadó, és mit jelent ez a gyakorlatban?

4. feladat (B). Ugyanaz a jármű $r = 90\,\text{m}$ sugarú kanyarban halad. A tapadási tényező száraz úton $\mu = 0{,}8$, nedves úton $\mu = 0{,}4$. Mennyi a megengedett határsebesség a két esetben km/h-ban? Mennyi a maximális oldalgyorsulás a két útállapoton?

5. feladat (C). Miért lehet egy magas, rakományos kisteherautónál a borulási határ kisebb, mint egy alacsony személyautónál, még akkor is, ha a tapadási tényezőjük azonos? Vezesd le a borulási határsebesség képletét, és mutass rá a nyomtáv és a súlypontmagasság szerepére.

6. feladat (D). Ügyfélpanasz: egy jármű vizes körforgalomban, kb. 30 km/h-s sebességnél kifarol. A körforgalom ívsugara kb. 12 m, a vizes aszfalt tapadási tényezője becsülve $\mu = 0{,}3$. Számold ki a kicsúszási határsebességet, és sorold fel legalább három műszaki okot, amit a műhelyben meg kell vizsgálni.

6.3.14. Megoldások

6.3.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A határsebesség a tapadási tényező négyzetgyökével arányos: $v_{\text{cs}} = \sqrt{\mu g r}$. Ha μ a felére csökken, a sebesség $\sqrt{0{,}5} \approx 0{,}707$-szeresére, azaz körülbelül 71%-ára csökken, nem a felére.
2. $v = 54\,\text{km/h} = 15\,\text{m/s}$. $a_{\text{cp}} = v^2/r = 15^2/100 = 225/100 = 2{,}25\,\text{m/s}^2$.
3. $v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 75} = \sqrt{441{,}45} \approx 21{,}0\,\text{m/s} = 75{,}6\,\text{km/h}$.
4. A hiba a mértékegység keverése: a képlet m/s-ban ad eredményt. Helyesen: $v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}7 \cdot 9{,}81 \cdot 80} \approx 23{,}4\,\text{m/s} = 84{,}3\,\text{km/h}$. A leírásban a 23,4-et tévesen km/h-nak vették.
5. A súlypontmagasság csökkentése növeli a borulási határsebességet, mert $v_{\text{bor}} = \sqrt{(d/(2h_{\text{s}}))gr}$, tehát h_{s} csökkenésével a gyök alatti tört nő. A nyomtáv csökkentése éppen ellenkezőleg, csökkenti a d-t, így csökkenti a határsebességet.

6.3.14.2. Feladatok – megoldások

1. feladat. A tapadási tényező μ a megcsúszás nélkül átvihető maximális oldalirányú erő és a kerék normál terhelésének aránya. A centripetális gyorsulás $a_{\text{cp}} = v^2/r$, a kanyar középpontja felé mutat.

2. feladat.
$v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}5 \cdot 9{,}81 \cdot 40} = \sqrt{196{,}2} \approx 14{,}0\,\text{m/s} = 50{,}4\,\text{km/h}$.

3. feladat.
Borulási határ:
$v_{\text{bor}} = \sqrt{(1{,}55/(2 \cdot 0{,}65)) \cdot 9{,}81 \cdot 80} = \sqrt{1{,}1923 \cdot 784{,}8} \approx 30{,}6\,\text{m/s} = 110{,}2\,\text{km/h}$.
Kicsúszási határ:
$v_{\text{cs}} = \sqrt{1{,}0 \cdot 9{,}81 \cdot 80} = 28{,}0\,\text{m/s} = 100{,}9\,\text{km/h}$.
A kicsúszási határ kisebb, tehát ez a jármű várhatóan előbb csúszik meg, mint borul.

4. feladat.
Száraz úton: $v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}8 \cdot 9{,}81 \cdot 90} = 26{,}6\,\text{m/s} = 95{,}7\,\text{km/h}$.
Nedves úton: $v_{\text{cs}} = \sqrt{0{,}4 \cdot 9{,}81 \cdot 90} = 18{,}8\,\text{m/s} = 67{,}6\,\text{km/h}$.
A maximális oldalgyorsulás $a_y = \mu g$: szárazon $0{,}8 \cdot 9{,}81 = 7{,}85\,\text{m/s}^2$, nedvesen $0{,}4 \cdot 9{,}81 = 3{,}92\,\text{m/s}^2$.

5. feladat.
A borulási határsebességet a billenési nyomaték egyensúlyából vezetjük le:

$$m\frac{v^2}{r}h_\mathrm{s} = mg\frac{d}{2} \quad \Rightarrow \quad v_\mathrm{bor} = \sqrt{\frac{d}{2h_\mathrm{s}}g\,r}.$$

Magas rakományos járműnél h_s nagy, a $d/(2h_\mathrm{s})$ hányados kicsi, ezért a borulási határsebesség alacsony. Az alacsony személyautónál h_s kicsi, a nyomtáv kedvező, így a borulási határ nagyobb lehet, mint a kicsúszási.

6. feladat.
$v_\mathrm{cs} = \sqrt{0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 12} = 5{,}94\,\mathrm{m/s} = 21{,}4\,\mathrm{km/h}$.
A 30 km/h-s sebesség meghaladja a becsült határt, ezért a kifarolás fizikailag várható. Vizsgálandó: gumiabroncsok futófelülete, nyomása és típusa; a hátsó futómű lengéscsillapítói és rugói; a kerékbeállítás; az ESP/ABS hibakódok és érzékelők; a jármű terhelése és a rakomány súlypontja.

6.3.15. Rövid összefoglaló

Ívmenetben a járműre a kanyar középpontja felé mutató centripetális gyorsulás hat, amelyet a kerekek és az út közötti tapadási erő hoz létre. A megcsúszás nélküli oldalirányú erő maximuma μmg, ezért a kicsúszási határsebesség $v_\mathrm{cs} = \sqrt{\mu g r}$. A borulási határsebesség közelítőleg $v_\mathrm{bor} = \sqrt{(d/(2h_\mathrm{s}))gr}$, ahol d a nyomtáv, h_s a súlypontmagasság. Ha $v_\mathrm{bor} < v_\mathrm{cs}$, a jármű előbb borulhat; ha $v_\mathrm{cs} < v_\mathrm{bor}$, előbb csúszik meg. A tapadási tényező nem állandó, hanem függ a burkolattól, a nedvességtől, a hőmérséklettől és a gumiabroncs állapotától. A modern menetstabilizáló rendszerek a kanyarodási szándék és a jármű tényleges reakciója közötti eltérést fékezéssel és nyomatékcsökkentéssel korrigálják.

Továbbvitt eredmény. A kicsúszási határsebesség, a tapadási tényező és az oldalgyorsulás szerepét használjuk a Kerekek és gumiabroncsok alfejezetben a gumiabroncs-tapadás, a vízenfutás és a futófelület-mintázat értékelésénél; a Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők alfejezetben az oldalvezetési szög és a kerékbeállítás kapcsán; valamint a(z) A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások alfejezetben a fékezés és a tapadási korlát összehasonlításánál.

6.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

A centripetális gyorsulás, a tapadási erő és a billenési nyomaték levezetése a mechanika stabil alapegyenleteiből származik. A táblázatban megadott tapadási tényezők tanulási irányértékek, nem mérési eredmények; a tényleges út- és gumiabroncs-adatok a gyártóktól és a helyszíni mérésektől függenek. A járműparaméterek (nyomtáv, súlypontmagasság, megengedett sebesség, ESP-beavatkozási küszöb) minden esetben gyártói javítási és vizsgálati adatokkal ellenőrizendők. A menetstabilizáló rendszerekre vonatkozó ENSZ-EGB és EU-előírások számát, hatályát és követelményeit külön forrásból kell ellenőrizni.

III. RÉSZ – Anyagismeret, gyártástechnológia, megmunkálás és gépelemek

7 Anyagismeret

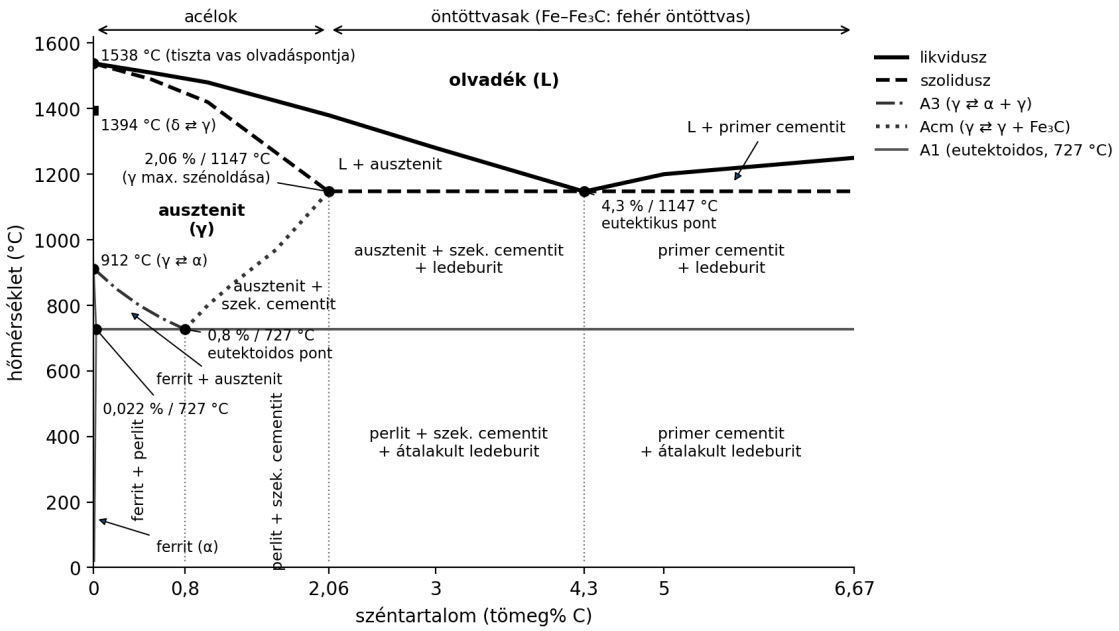
7.1. Anyagtani alapfogalmak, fémtan és a vas–szén diagram

7.1.1. Motiváció

Amikor egy autószerelő egy megrepedt öntöttvas kipufogócsonkot, egy berágódott csapágyat vagy egy törött rugót vizsgál, azonnal fel kell tennie a kérdést: milyen anyagból készült az alkatrész, és miért viselkedett így? Az anyagismeret nem öncélú elmélet, hanem a hibakeresés és a javítási technológia alapja. Ha tudjuk, hogy a vas–szén diagram melyik tartományába esik egy öntöttvas alkatrész, megértjük, miért rideg, miért nehéz hegeszteni, és miért reped meg a gyors hűtéskor. Ha ismerjük a kristályszerkezet és a rácshibák szerepét, megértjük, miért lágy a ferrit, miért kemény a martenzit, és miért kopik másként egy felületi edzésű csap, mint egy lágyabb anyagú tengely.

7.1.2. Szemléletes kép: a vas–szén diagram mint „térkép”

A fémtan egyik legfontosabb térképe a vas–szén egyensúlyi diagram. Képzeljük el, hogy az x tengelyen a széntartalom nő 0-tól 6,67 tömegszázalékig, az y tengelyen pedig a hőmérsékletet ábrázoljuk körülbelül 0 °C-tól 1600 °C-ig. A diagram vonalai megmutatják, hogy adott összetételnél és hőmérsékleten milyen szövetelemek, fázisok vannak jelen lassú hűtés vagy melegítés során. A szerelő számára a diagram olyan, mint egy közlekedési térkép: nem kell minden mellékutat fejből tudni, de a fővonalakat és csomópontokat fel kell ismerni.



Egyszerűsített, kerekített tanulási ábra (δ-mező, peritektikum elhagyva); a pontos vonalak anyagvizsgálati diagramból ellenőrizendők.

7.1. ábra. Egyszerűsített vas–szén (Fe–Fe3C) diagram a nevezetes pontokkal és a szövetmezőkkel (kerekített tanulási értékek, a δ-mező elhagyva; ellenőrizendő anyagvizsgálati diagram szerint)

Az ábrán 2,06 % C fölött a szolidusz az 1147 °C-os vízszintes eutektikus vonal, a likvidusz a 4,3 %-os eutektikus pontban éri el a minimumát. A HTML-változatban a széntartalom csúszkájával kiválasztott ötvözet lehűlési útja, szobahőmérsékleti szövete és az emelőszabállyal becsült aránya is leolvasható.

A diagramon a legfontosabb vonalak: a **likvidusz**, amely fölött az ötvözet teljes egészében olvadék; a **szolidusz**, amely alatt az anyag teljesen megszilárdult; az **A1** eutektoidos vonal 727 °C-on; az **A3** vonal, amelyen a ferritből ausztenit lesz, illetve fordítva; és az **Acm** vonal, amely az ausztenit és a cementit határát jelöli az eutektoid feletti széntartalomnál. A későbbiekben ezeket a vonalakat konkrét összetételekhez rendelve olvassuk le.

7.1.3. Anyagok osztályozása és tulajdonságai

A műhelyben ritkán beszélünk „anyagról” általában; mindig valamilyen meghatározott nyersanyagból, alapanyagból, előgyártmányból vagy segédanyagból dolgozunk.

Definíció. A **nyersanyag** a természetből kitermelt, még feldolgozatlan anyag, például vasérc, kőolaj vagy bauxit.

Definíció. Az **alapanyag** a nyersanyagból előállított, további feldolgozásra váró anyag, például nyersvas, acélöntecs, alumíniumbuga vagy műanyag granulátum.

Definíció. Az **előgyártmány** az alapanyagból készített, meghatározott alakú félkész termék, amelyből megmunkálással vagy szereléssel készül a kész alkatrész. Ilyen például a kovácsolt főtengely-nyersdarab, a hengerfejöntvény, a húzott cső vagy a hidegen hengerelt lemez.

Definíció. A **segédanyag** a gyártási, javítási folyamatban részt vesz, de nem épül be a késztermékbe. Például a hűtő-kenő emulzió, a csiszolóanyag, a hegesztőpor vagy a zsírtalanító oldószer.

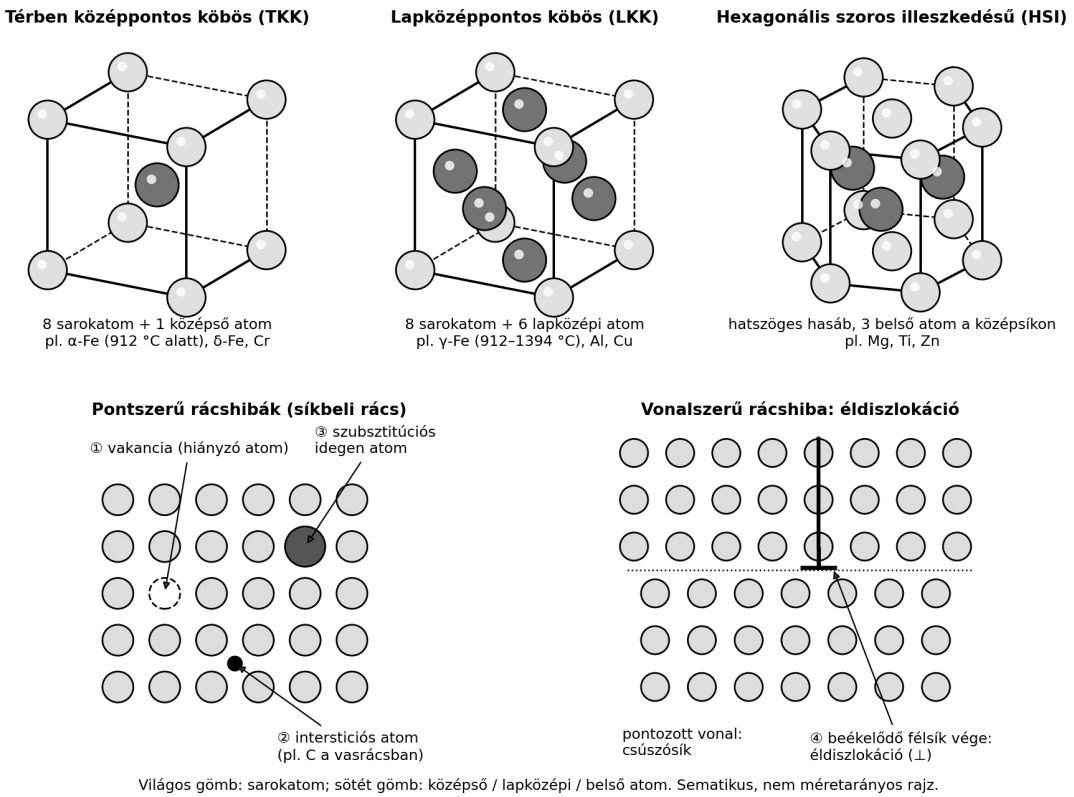
Az anyagok tulajdonságait négy csoportba soroljuk. A **fizikai** tulajdonságok közé tartozik a sűrűség, az olvadáspont, a hővezető képesség, a hőtágulási együttható, az elektromos vezetőképesség és a mágneses viselkedés. A **kémiai** tulajdonságok a környezettel való reakciót jellemzik: korrózióállóság, savállóság, oxidációval szembeni ellenállás, éghetőség. A **mechanikai** tulajdonságokat a Szilárdságtan I: feszültség, Hooke-törvény, húzás, nyomás és nyírás alfejezetben megismert feszültség–alakváltozás kapcsolat alapján értelmezzük: szakítószilárdság, folyáshatár, keménység, szívósság, rugalmassági modulus, kifáradási határ. A **technológiai** tulajdonságok megmondják, hogy az anyag milyen gyártási, javítási eljárással munkálható meg: önthetőség, képlékeny alakíthatóság, forgácsolhatóság, hegeszthetőség, forraszthatóság, edzhetőség.

A járműiparban a tulajdonságok kiválasztása mindig a feladatból indul ki. A hengerblokk anyagával szemben követelmény a jó önthetőség, a kellő hővezetés és a kopásállóság; a karosszériaelemeknél a jó alakíthatóság és a korrózióállóság; a csavaroknál a nagy szakítószilárdság és a megfelelő szívósság; a kipufogórendszernél a hőállóság és a korrózióállóság.

7.1.4. Kristályszerkezet, kristályosodás, rácshibák

A fémek szilárd állapotban kristályos szerkezetűek, vagyis atomjaik szabályos, térben ismétlődő rendben helyezkednek el. A legkisebb ismétlődő egységet **elemi cellának** nevezzük. A fémeknél leggyakoribb rácsok:

- **térben középpontos köbös (TKK)** rács: a kocka csúcsaiban és a test közepén van atom; ilyen például a szobahőmérsékletű vas (α-Fe) rács,
- **lapközéppontos köbös (LKK)** rács: a kocka csúcsaiban és a lapok közepén van atom; ilyen például a magas hőmérsékletű vas (γ-Fe), az alumínium és a réz rács,
- **hexagonális szoros illeszkedésű (HSI)** rács: hatszöges elrendezésű, például magnézium és titán esetében.



7.2. ábra. A három leggyakoribb fémrács elemi cellája (TKK, LKK, HSI) és a rácshibák síkbeli rácson (sematikus rajz)

Az ábra felső sorában a sötét gömbök a TKK-cella középső, az LKK-cella lapközépi és a HSI-cella belső atomjai; az alsó sor a lent tárgyalt vakanciát, intersticiós és szubsztitúciós atomot, valamint az éldiszlokációt mutatja. A HTML-változatban a cella forgatható.

A kristályosodás az olvadékból való szilárdulás során **csíraképződéssel** és **csíranövekedéssel** megy végbe. Tiszta fém lehűlésekor a hőmérséklet az olvadásponton rövid ideig állandó marad, mert a rendszer a fázisátalakulás során leadja az olvadáshőt. Gyakran először enyhe túlhűlés következik be, majd a hőmérséklet visszaáll az olvadáspontra. Ötvözeteknél a szilárdulás rendszerint hőmérséklet-tartományban megy végbe, mert a folyadék és a szilárd fázis összetétele a folyamat közben változik.

A valós fém kristályrácsa nem tökéletes. A **rácshibák** fajtái:

- **pontszerű hibák**: vakrács (hiányzó atom) és idegen atom a rácsban, amely lehet szubsztitúciós (rácsponton ülő, helyettesítő) vagy intersticiós (rácsközi helyen elhelyezkedő);
- **vonalszerű hibák**: a diszlokációk, amelyek a képlékeny alakváltozás hordozói;
- **felületi hibák**: például a szemcsehatárok, ahol a rácssíkok iránya megváltozik.

A gyakorlatban a fémek **polikristályos szerkezetűek**: sok, különböző irányú krisztallitból, azaz szemcséből állnak. A szemcsehatárok akadályozzák a diszlokációk mozgását, ezért a finomszemcsés anyag általában nagyobb szilárdságú, mint a durvaszemcsés.

7.1.5. Ötvözetek és kétalkotós egyensúlyi diagramok

Definíció. Az **ötvözet** fém alapú anyag, amelyben szándékosan hozzáadott más elemek (ötvözők) is jelen vannak, és amely fémes jellegű tulajdonságokkal rendelkezik. Az acél például vas és szén,

valamint gyakran további elemek ötvözete.

Az ötvözőatomok beépülhetnek a rácsba **szilárd oldatot** alkotva. A **szubsztitúciós** szilárd oldatban az ötvözőatom a kiinduló fém atomjainak rácshelyét foglalja el; a **intersticiós** szilárd oldatban a kis méretű ötvözőatom, például a szén, a vasrács rácsközi helyein foglal helyet.

A kétalkotós egyensúlyi diagram a hőmérsékletet ábrázolja az összetétel függvényében. A diagramon a folyadék és a szilárd fázis határvonala a **likvidusz**, a szilárd fázis és a folyadék/szilárd kétfázisú terület határvonala a **szolidusz**. A **szolvusz** vonal a szilárd oldatból való kiválást mutatja.

Különösen fontos az **eutektikum** fogalma. Az eutektikus összetételnél a folyadék egy meghatározott, állandó hőmérsékleten egyszerre két szilárd fázissá alakul át. Az eutektikum **szövetelem**, vagyis két fázis jellegzetes, finom keveréke, nem pedig önálló fázis. A vas–szén rendszerben az eutektikus átalakulás 4,3 tömeg% szénnél, 1147 °C-on megy végbe; az így keletkező szövetelem a **ledeburit**. Hasonlóan, az **eutektoid** átalakulás szilárd fázisból indul ki, és meghatározott összetételnél és hőmérsékleten két új szilárd fázist hoz létre. A vas–szén rendszerben az eutektoidos pont 0,8 tömeg% szénnél, 727 °C-on található; az itt képződő szövetelem a **perlit**.

A lehűlési görbe alakja jól szemlélteti a különbséget. Tiszta fémnél az olvadásponton vízszintes megállást látunk. Eutektikus összetételű ötvözetnél a likvidusz és a szolidusz az eutektikus hőmérsékleten találkozik, ezért a folyadékból állandó hőmérsékleten, vízszintes megállással történik a megszilárdulás, hasonlóan egy tiszta fémhez. A nem eutektikus összetételeknél ezzel szemben a hűlési görbén csak törés, illetve lejtő, nem teljesen vízszintes szakasz jelenik meg.

7.1.6. A vas és allotróp átalakulása

Definíció. Az **allotrópia** azt jelenti, hogy ugyanaz az elem többféle kristályrácsú módosulatban fordul elő különböző hőmérsékleteken.

A tiszta vasnak három allotróp módosulata van:

- 1538 °C és 1394 °C között: **δ-Fe**, térben középpontos köbös rács,
- 1394 °C és 912 °C között: **γ-Fe**, lapközéppontos köbös rács,
- 912 °C alatt: **α-Fe**, térben középpontos köbös rács.

Emellett 770 °C alatt az α-Fe ferromágneses, fölötte pedig paramágneses viselkedésű. A pontos hőmérsékletértékek a kiválasztott anyagvizsgálati diagram szerint ellenőrizendők.

A szén oldódása a vasrácsban erősen függ a rács típusától. A lapközéppontos γ-Fe jóval több szenet képes oldani, mint a térben középpontos α-Fe. A γ-Fe maximális szénoldó képessége 2,06 tömeg% C 1147 °C-on, míg az α-Fe legföljebb 0,022 tömeg% C-ot old 727 °C-on. Ez a különbség teszi lehetővé az acélok hőkezelését: a magas hőmérsékleten ausztenitbe oldott szén gyors hűtéskor bennreked a rácsban, és túltelített szilárd oldatot hoz létre.

7.1.7. A vas–szén diagram

A járműszerkezeti anyagok közül a vas–szén ötvözetek a legfontosabbak. A diagram az egyensúlyi **vas–cementit** (Fe–Fe_3C) rendszert ábrázolja. A cementit **Fe_3C** vegyület, amely 6,67 tömeg% szenet tartalmaz. A diagram jellegzetes pontjai:

- 0,8 % **C,** 727 °**C**: eutektoidos pont, ahol az ausztenitből perlit képződik;
- 4,3 % **C,** 1147 °**C**: eutektikus pont, ahol a folyadékból ledeburit képződik;
- 2,06 % **C**: a γ-Fe maximális szénoldó képessége, egyben az acél és a nyersvas határa.

A vas–szén ötvözeteket a széntartalom szerint két nagy csoportra osztjuk:

- **acélok**: legfeljebb 2,06 tömeg% C-ot tartalmaznak;
- **öntöttvasak**: 2,06 és 6,67 tömeg% közötti szenet tartalmaznak.

Az acélok csoportjai:

- **hipoeutektoidos acélok** (0–0,8 % C): lassú hűtés után ferritből és perlitből állnak;
- **eutektoidos acél** (0,8 % C): tiszta perlit;
- **hipereutektoidos acélok** (0,8–2,06 % C): perlitből és az ausztenitből kivált szekunder cementitből állnak.

A legfontosabb szövetelemek:

- **Ferrit**: α-Fe, lágy, jól alakítható, ferromágneses szövetelem.
- **Ausztenit**: γ-Fe, nagy szénoldó képességgel; szobahőmérsékleten a szokásos szénacélokban nem marad meg, csak erősen ötvözött acélokban.
- **Cementit**: Fe_3C, kemény, rideg vegyület.
- **Perlit**: ferrit és cementit lemezekből álló eutektoidos szövetelem, 0,8 % C tartalommal.
- **Ledeburit**: ausztenitből és cementitből képződő eutektikum, amely 727 °C alatt perlitből és cementitből álló átalakult ledeburittá válik; jellemzően az öntöttvasakban fordul elő.

Például egy 0,4 % széntartalmú acél lassú hűtésekor az A3 vonal alatt (0,4% C-nál kb. 790–800 °C; ellenőrizendő a diagram szerint; a 912 °C csak a tiszta vas átalakulási hőmérséklete) az ausztenitből ferrit kezd kiválni, közben a visszamaradó ausztenit széntartalma nő. 727 °C-on a maradék, 0,8 % C-tartalmú ausztenit perlitté alakul. A kapott szövetszerkezet tehát ferritből és perlitből áll.

Továbbvitt eredmény. A vas–szén diagram leolvasása, a szövetelemek és a hűtési sebesség szerinti átalakulások ismerete nélkül nem érthető az acélok és öntöttvasak jelölésrendszere és tulajdonsága. Ezt használjuk a Acélok, öntöttvasak és jelölésük; könnyű- és színesfémek alfejezetben.

7.1.8. Acél gyors hűtése: martenzit

Ha a 0,8 % körüli széntartalmú acélt ausztenites állapotból **lassan** hűtjük le, a szénnek van ideje kiválni cementitként, és a végeredmény perlit. Ha viszont ugyanezt az acélt **gyorsan**, például vízben vagy olajban hűtjük le, a diffúziós folyamatok elmaradnak. A lapközéppontos köbös γ-Fe rács átalakul térben középpontos köbös ráccsá, de a szénatomok bennrekednek. Az így keletkező **martenzit** szénben túltelített szilárd oldat, tetragonálisan torzult ráccsal.

Definíció. A **martenzit** az ausztenit gyors hűtésekor, diffúzió nélkül keletkező, szénben túltelített, metastabil szövetelem, amely kemény és rideg.

A martenzit nem szerepel a vas–szén egyensúlyi diagramon, mert nem egyensúlyi képződmény. A gyakorlatban az edzés során martenzitet hozunk létre, hogy az alkatrész felülete kemény és kopásálló legyen. A ridegség csökkentésére az edzett acélt utána **megeresztik**, azaz mérsékelt hőmérsékleten újrahevítik. Ez a keménységet némileg csökkenti, de a szívósságot jelentősen javítja. A járműjavításban ilyen módon készülnek például a fogaskerekek, a csapágycsapok és a különféle szerszámok.

7.1.9. Kidolgozott példák

7.1.9.1. 1. példa: perlittartalom becslése hipoeutektoidos acélban

Egy 0,4 % széntartalmú, lassan hűtött acél szobahőmérsékleten ferritből és perlitből áll. A ferrit széntartalmát 0,022 %-nál elhanyagolhatjuk, a perlit széntartalmát pedig 0,8 %-nek vesszük. Az emelőszabály közelítő alakja:

$$f_{\text{perlit}} \approx \frac{w_{\text{C}}}{0{,}8},$$

ahol w_{C} az ötvözet széntartalma tömegszázalékban.

Számítás. $f_{\text{perlit}} = \dfrac{0{,}4}{0{,}8} = 0{,}5 = 50\,\%$. A másik 50 % ferrit. ∎

7.1.9.2. 2. példa: szekunder cementit aránya hipereutektoidos acélban

Egy 1,2 % széntartalmú, lassan hűtött acélban perlit és szekunder cementit található. A cementit teljes széntartalma 6,67 %. A szekunder cementit tömegaránya az emelőszabállyal:

$$f_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{w_{\text{C}} - 0{,}8}{6{,}67 - 0{,}8}.$$

Számítás. $f_{\text{Fe}_3\text{C}} = \dfrac{1{,}2 - 0{,}8}{6{,}67 - 0{,}8} = \dfrac{0{,}4}{5{,}87} \approx 0{,}068 = 6{,}8\,\%$. A fennmaradó 93,2 % perlit. ∎

7.1.10. Minőségellenőrzés

A vas–szén diagram leolvasását a gyakorlatban nem elegendő pusztán elméletben ellenőrizni. Az anyag tényleges kémiai összetételét **szikragerjesztésű optikai emissziós spektrometriával** vagy hordozható **röntgenfluoreszcens (XRF)** műszerrel lehet meghatározni; műhelyben tájékoztató jellegű a **szikrapróba** (a köszörülés szikraképe). A szövetszerkezetet **csiszolaton**, megfelelő maratás után **mikroszkóppal** vizsgálják. A martenzites edzés sikerességét **keménységméréssel** (például Rockwell vagy Vickers) ellenőrzik. A szerelőnek nem kell minden anyagvizsgálatot elvégeznie, de a gyártói **anyagbizonyítványban** szereplő összetételt és a javítási utasításban megadott hőkezelési követelményeket ismernie kell.

7.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelyben egy régebbi személygépkocsi öntöttvas kipufogócsonkja repedt. A szerelő hegesztéssel próbálja javítani, de előmelegítés nélkül, majd a varratot vízzel hűti le. A gyors hűtés hatására a varratban rideg, cementites (ledeburitos, ún. fehér öntöttvas) zóna, a hőhatásövezetben martenzites zóna keletkezik, és a zsugorodási feszültség miatt a csonk rövid időn belül ismét elreped. A vas–szén diagram és a hűtési sebesség ismeretében érthető, miért: az öntöttvas magas széntartalmú, ezért a gyors hűtés során a grafit helyett cementit (ledeburit), a hőhatásövezetben martenzit képződik. A helyes megoldás a gyártói utasítás szerinti csere, vagy ha a javítás megengedett, előmelegítés, öntöttvashoz való (például nikkelbázisú) hozaganyag és lassú, szabályozott lehűlés (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

7.1.12. Tipikus hibák

1. **Az acél/öntöttvas határ félreértése.** Sokan 4,3 % C-nak gondolják a határt, pedig 4,3 % az eutektikus összetétel, az acél/öntöttvas határ 2,06 % C.

2. **A perlit önálló fázisként való kezelése.** A perlit nem fázis, hanem eutektoidos szövetelem, ferrit és cementit keveréke.

3. **A martenzit egyensúlyi szövetelemnek tartása.** A martenzit gyors hűtés terméke, a vas–szén egyensúlyi diagramon nem szerepel.

4. **A szén növelésének mindig szilárdságnövekedést tulajdonítani.** A széntartalom növelése a keménységet növeli, de a ridegséget is, ezért a túl magas széntartalom törékenységhez vezet.

7.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a tiszta vas 912 °C alatt térben középpontos köbös rácsú?

2. Igaz-e, hogy a perlit önálló fázis?

3. Mennyi perlit keletkezik közelítőleg egy 0,6 % széntartalmú, lassan hűtött hipoeutektoidos acélban?

4. Hol van az acél és az öntöttvas határa a vas–szén diagramon?

5. Melyik hőmérsékleten alakul át az ausztenit perlitté lassú hűtéskor?

6. Miért rideg a gyors hűtéssel keletkező martenzit?

7.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja röviden a következő fogalmakat: alapanyag, előgyártmány, segédanyag. Soroljon fel két fizikai és két technológiai tulajdonságot.

2. feladat (A). Egy lassan hűtött acél széntartalma 0,3 %. Számítsa ki az emelőszabály közelítő alakjával a perlit tömegarányát.

3. feladat (B). Olvassa le a vas–szén diagram szövetelemeit szobahőmérsékleten az alábbi széntartalmakra: 0,2 %, 0,8 %, 1,2 %. Állapítsa meg, hogy acélról vagy öntöttvasról van-e szó.

4. feladat (B). Írja le szövegesen, milyen lehűlési görbét kapunk tiszta vas, illetve 4,3 % széntartalmú, eutektikus összetételű öntöttvas esetén. Mi történik 1147 °C-on az utóbbiban?

5. feladat (C). Egy lassan hűtött acél széntartalma 1,5 %. Számítsa ki az emelőszabállyal a szekunder cementit tömegarányát, és adja meg a perlit arányát is.

6. feladat (D). Egy edzett csapágycsap felülete a beépítés után rövid idő alatt repedezik. Mi lehet az anyagszerkezeti ok, és mit kell ellenőrizni a hőkezelési előírásban? Fogalmazzon meg legalább két valószínű hibát és a javításhoz szükséges lépést.

7.1.15. Megoldások

7.1.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Az α-Fe rács térben középpontos köbös, és 912 °C alatt ez a stabil módosulat.
2. Hamis. A perlit szövetelem, ferrit és cementit keveréke, nem önálló fázis.
3. $f_{\text{perlit}} \approx 0{,}6/0{,}8 = 0{,}75 = 75\,\%$.
4. Az acél/öntöttvas határ 2,06 tömeg% szénnél van.
5. 727 °C-on.
6. A martenzit szénben túltelített szilárd oldat, tetragonálisan torzult ráccsal; a rácstorzulások miatt a diszlokációk mozgása gátolt, ezért az anyag kemény, de rideg.

7.1.15.2. 1. feladat (A)

Alapanyag: a nyersanyagból előállított, további feldolgozásra váró anyag, például acélöntecs vagy alumíniumbuga. **Előgyártmány:** meghatározott alakú félkész termék, például kovácsolt főtengelynyersdarab vagy húzott cső. **Segédanyag:** a gyártási vagy javítási folyamatban részt vesz, de nem épül be a termékbe, például hűtő-kenő emulzió.

Fizikai tulajdonság például a sűrűség és a hővezető képesség; technológiai tulajdonság például az önthetőség és a hegeszthetőség.

7.1.15.3. 2. feladat (A)

$f_{\text{perlit}} \approx \dfrac{w_{\text{C}}}{0{,}8} = \dfrac{0{,}3}{0{,}8} = 0{,}375 = 37{,}5\,\%$. A fennmaradó 62,5 % közelítőleg ferrit.

7.1.15.4. 3. feladat (B)

- 0,2 % C: hipoeutektoidos acél; szobahőmérsékleten ferrit és perlit.
- 0,8 % C: eutektoidos acél; szövet szobahőmérsékleten perlit.
- 1,2 % C: hipereutektoidos acél; szövet szobahőmérsékleten perlit és szekunder cementit.

Mindhárom széntartalom 2,06 % alatt van, tehát acélról van szó.

7.1.15.5. 4. feladat (B)

Tiszta vas hűlési görbéje: az olvadásponton (1538 °C) vízszintes megállás jelenik meg, mert a folyadék szilárdulása közben a hőmérséklet állandó. Ezután a görbe tovább csökken, további allotróp átalakulásoknál törések és kisebb megállások láthatók.

Eutektikus 4,3 % C öntöttvas hűlési görbéje: a likvidusz és a szolidusz 1147 °C-on érintkezik, ezért a folyadékból ezen a hőmérsékleten, vízszintes megállás közben ausztenit és cementit keletkezik; az így létrejövő szövetelem a ledeburit. 1147 °C-on tehát eutektikus megszilárdulás megy végbe.

7.1.15.6. 5. feladat (C)

A szekunder cementit tömegaránya:

$$f_{\mathrm{Fe_3C}} = \frac{1{,}5 - 0{,}8}{6{,}67 - 0{,}8} = \frac{0{,}7}{5{,}87} \approx 0{,}119 = 11{,}9\,\%.$$

A perlit aránya:

$$f_{\mathrm{perlit}} = 1 - 0{,}119 \approx 0{,}881 = 88{,}1\,\%.$$

7.1.15.7. 6. feladat (D)

A felületi repedések anyagszerkezeti oka valószínűleg a túl gyors hűtés során kialakult martenzit ridegsége, illetve a nem megfelelő megeresztés. A hőkezelési előírásban ellenőrizni kell az edzési hőmérsékletet, a hűtőközeg típusát és keverését, valamint a megeresztés hőmérsékletét és időtartamát. Ha az előírás szerinti megeresztés elmaradt vagy nem volt kellő, akkor a martenzit túl rideg marad. Javításhoz a gyártó hőkezelési utasítása szerint újra kell megereszteni, vagy ha a repedések mélyek, az alkatrészt selejtezni kell.

7.1.16. Rövid összefoglaló

Az anyagismeret alapjai nélkül a szerelői döntések nem megalapozottak. Az alfejezetben tisztáztuk a nyersanyag, alapanyag, előgyártmány és segédanyag fogalmát, valamint az anyagok fizikai, kémiai, mechanikai és technológiai tulajdonságait. A fémek kristályos szerkezetűek, leggyakoribb rácsuk a térben középpontos köbös, a lapközéppontos köbös és a hexagonális szoros illeszkedésű. A rácshibák, különösen a diszlokációk, a képlékeny alakváltozásért felelősek. Az ötvözetek tulajdonságait a kétalkotós egyensúlyi diagramról olvashatjuk le; az eutektikum és az eutektoid szövetelem, nem fázis. A vas–szén diagram legfontosabb pontjai: 0,8 % C, 727 °C (eutektoidos perlit), 4,3 % C, 1147 °C (eutektikus ledeburit), valamint az acél/öntöttvas határ 2,06 % C-nál. A gyors hűtés martenzitet hoz létre, amely kemény, de rideg; ezért szükséges a megeresztés. **Továbbvitt eredmény:** a vas allotróp átalakulása, a vas–szén diagram és a martenzit ismerete az Acélok, öntöttvasak és jelölésük; könnyű- és színesfémek alfejezetben az acélok, öntöttvasak és könnyűfémek jelölésének és tulajdonságainak alapja.

7.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: anyagtudományi és fémtani szakkönyvek, egyensúlyi fázisdiagramok szabványos anyagvizsgálati táblázatai, gyártói anyagbizonyítványok és hőkezelési utasítások.

Ellenőrizendő állítások: a vas–szén diagram pontos hőmérséklet- és összetételértékei (például 727 °C, 1147 °C, 2,06 % C, 4,3 % C, 6,67 % C, 0,8 % C, allotróp átalakulási hőmérsékletek), a martenzites edzés és megeresztés pontos hőmérséklet- és időtartamadatai a kiválasztott acélra és az aktuális gyártói előírásra vonatkozóan. A szövegben közölt értékek tanulási példák.

7.2. Acélok, öntöttvasak és jelölésük; könnyű- és színesfémek

7.2.1. Motiváció: miért kell a szerelőnek anyagjelölést olvasnia?

Egy műhelyben a tanuló azt a feladatot kapja, hogy azonosítsa a főtengely anyagát, mielőtt a köszörűműhelybe küldi. A rajzon `42CrMo4` jelölés áll. Ha ezt félreérti, rossz kopási méretet, rossz csapágyat vagy rossz felületkezelést választhat. Egy másik esetben féktárcsát cserél, és a dobozon `EN-GJL-250` feliratot lát: tudnia kell, miért nem acélból készült, és miért tilos a tárcsát hegesztéssel „javítani”. Az anyagjelölés nem papírmunka, hanem döntési eszköz: megmondja, milyen tulajdonságokkal dolgozik a szerelő, és milyen megmunkálás, hőkezelés vagy javítás engedhető meg.

7.2.2. Szemléletes kép: egy jármű fémtérképe

Álljunk egy személyautó elé, és nézzük meg, hányféle fém dolgozik együtt. A hengerfej általában alumíniumötvözet, mert könnyű és jól vezeti a hőt. A hengertömb lehet lemezgrafitos öntöttvas vagy alumínium. A főtengely nemesíthető acél, mert hajlító és csavaró igénybevételt visel. A szelep hőálló acél, mert a kipufogószelep izzó égéstérben dolgozik. A féktárcsa lemezgrafitos öntöttvas, mert jó hővezető és rezgéscsillapító. A futóműrugó rugóacél, mert millió lengést kell kibírnia. A hűtő rézből vagy alumíniumból készül, mert hőt kell átadnia. Ugyanaz a jármű tehát több tucat fémötvözetből áll, és mindegyik anyagot a feladatához választották.

7.2.3. Pontos fogalmak: acél, öntöttvas, ötvözet

Definíció. Acél (steel; Stahl) a vas–szén ötvözet, amelynek széntartalma tömegben kisebb, mint körülbelül 2,06% (a gyakorlati acélok jellemzően 0,05% és 1,5% közöttiek). A szén mellett mangánt, szilíciumot, és gyakran krómot, nikkelt, molibdént, vanádiumot tartalmaz.

Definíció. Öntöttvas (cast iron; Gusseisen) a vas–szén ötvözet, amelynek széntartalma nagyobb, mint körülbelül 2,06%, jellemzően 2,5% és 4,0% között, és általában 1%–3% szilíciumot is tartalmaz. A szén itt grafit (elemiszén) vagy vas-karbid (cementit) formájában jelenik meg.

Definíció. Ötvözetlen acél a szándékos ötvözőelemek nélküli acél, amely csak a technológiából visszamaradó mangánt, szilíciumot, ként és foszfort tartalmazza. Gyengén ötvözött acélban egyetlen ötvözőelem tartalma sem éri el az 5%-ot, erősen ötvözött (X-jelű) acélban legalább egy ötvözőelem eléri az 5%-ot (ellenőrizendő: EN 10027-1).

7.2.4. Acélok csoportosítása és jelölésük

Az acélokat a műhelyi gondolkodás szerint érdemes a **felhasználási tulajdonság** felől csoportosítani, mert egy alkatrész anyagának kiválasztásakor nem az összetétel, hanem a kívánt szilárdság, kopásállóság, hegeszthetőség vagy hőállóság a döntő.

7.2.4.1. Szerkezeti acélok

Jellegzetes képviselőjük az `S235JR`, `S355J2`. Az `S` betű szerkezeti acélt (structural steel) jelöl, a szám a minimális folyáshatárt adja meg MPa-ban, például 235 MPa vagy 355 MPa (ellenőrizendő: a szabvány szerinti pontos jelölés és ütőmunka-osztály). Ezek alacsony széntartalmú, jól hegeszthető acélok. Járműveken segédkeretekhez, konzolokhoz, nem biztonsági szerkezeti elemekhez használják őket.

7.2.4.2. Nemesíthető acélok

Például `C45E` és `42CrMo4`. A nemesítés edzésből és megeresztésből áll; ezt részletesen az Öntészet, melegalakítás és hőkezelések alfejezet tárgyalja. A nemesített acél egyszerre nagy szilárdságú és kellően szívós, ezért főtengely, hajtókar, kerékcsapágy, hajtótengely anyaga.

7.2.4.3. Betétedzhető acélok

Például `16MnCr5`, `20MnCr5`. Alacsony széntartalmuk miatt a mag lágy és szívós marad, a felületet viszont karburizálással (szénbediffundáltatással) dúsítják, majd edzik. Az eredmény kemény, kopásálló felület és ütésálló mag. Tipikus alkalmazás: sebességváltó-fogaskerekek, csapszegek, szinkrongyűrűk.

7.2.4.4. Nitridálható acélok

Például `34CrAlNi7`. A nitridálás során nitrogént diffundáltatnak a felületbe, így igen kemény, kopásálló réteg keletkezik, miközben az alakváltozás kicsi marad. Vezérműtengelyek, hengerpersely ek, csapágyfelületek anyaga.

7.2.4.5. Rugóacélok

Például `51CrV4`, `55Si7`. Nagy folyáshatár és kifáradási szilárdság jellemzi őket. Futóműrugó, szeleprugó, tengelykapcsoló-rugó készül belőlük. A rugóacélt általában nem hegesztjük, mert a varrat környezete elveszíti rugótulajdonságait.

7.2.4.6. Csapágyacélok

Például `100Cr6`. Magas, körülbelül 1% széntartalma és kb. 1,5% krómtartalma miatt teljes keresztmetszetében edzhető, igen kemény és kopásálló. Gördülőcsapágyak gyűrűi, golyói, görgői készülnek belőle.

7.2.4.7. Szelepacélok

Például `X45CrSi9-3` (martenzites, főleg szívószelep) és `X53CrMnNiN21-9` (ausztenites, nagy hőterhelésű kipufogószelep); ellenőrizendő: EN 10090 és gyártói adat. Hőállónak, korrózióállónak és kopásállónak kell lenniük, mert a kipufogószelep magas hőmérsékleten, égéstermékekkel érintkezve dolgozik.

7.2.4.8. Korrózióálló acélok

Például `X5CrNi18-10`, `X2CrNiMo17-12-2`. Az `X` betű erősen ötvözött acélt jelöl, a kémiai jelek után álló számok az ötvözőtartalmat adják meg százalékban: `X5CrNi18-10` tehát körülbelül 0,05% szenet, 18% krómot és 10% nikkelt tartalmaz. Kipufogórendszerek, rögzítőelemek, érzékelőházak anyaga.

7.2.4.9. Szerszámacélok

Például `X155CrVMo12-1`. Nem járműalkatrész, hanem a gyártásban használt vágó-, alakító- és öntőszerszámok anyaga; a szerelő a műhelyben szerszámként találkozik vele.

7.2.4.10. Az acéljelölés logikája

Az európai acéljelölés jellemzően az `EN 10027-1` szerinti neveket használja (ellenőrizendő: a szabvány pontos száma és hatálya). A gyakorlatban a következőképpen olvassuk:

- `S235JR` → `S` szerkezeti, `235` folyáshatár MPa-ban, `JR` ütőmunka-osztály.
- `C45E` → `C` széntartalomra utal, `45` = 0,45% C, `E` ellenőrzött kéntartalom.
- `42CrMo4` → `42` = 0,42% C, `Cr` = króm, `Mo` = molibdén; a betűk után álló szám az első ötvözőelem tartalmának a szorzóval megszorzott értéke (lásd az alábbi táblázatot): 4/4 = 1% Cr, a Mo-tartalmat a szabványtáblázat adja.
- `16MnCr5` → `16` = 0,16% C, `5` az első elemre (Mn) vonatkozik: 5/4 = 1,25% Mn, Cr kisebb mennyiségben.
- `X5CrNi18-10` → `X` erősen ötvözött, `5` = 0,05% C, `Cr18` = 18% Cr, `Ni10` = 10% Ni.
- `G17CrMo5-5` → `G` acélöntvény, `17` = 0,17% C, majd az ötvözők.

Szorzók gyengén ötvözött acéloknál (ellenőrizendő: EN 10027-1). A betűk utáni szám az ötvözőelem(ek) tartalmának a szorzóval megszorzott értéke, a felsorolás sorrendjében; a szám az első elem(ek)re vonatkozik. A szorzó elemenként más:

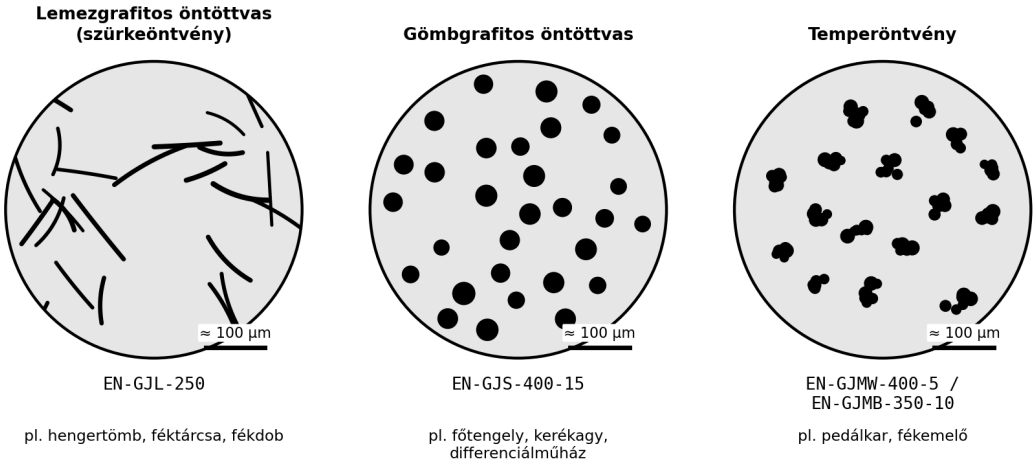
Szorzó	Elemek
4	Cr, Co, Mn, Ni, Si, W
10	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr
100	Ce, N, P, S
1000	B

Előírás. A szabványos anyagjelölést mindig az érvényes harmonizált EN-szabvány szerint kell értelmezni, és a gyártói rajz vagy anyagbizonyítvány a mérvadó. A régi MSZ-jelöléseket anyag-összehasonlító táblázattal kell átváltani (ellenőrizendő: az aktuális szabványváltozat).

Továbbvitt eredmény. A fenti acéljelölések értelmezése és az anyagválasztási szempontok az Öntészet, melegalakítás és hőkezelések hőkezelési eljárásainál, valamint a(z) A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd alfejezet konkrét alkatrészeinél térnek vissza.

7.2.5. Öntöttvasak és jelölésük

Az öntöttvas tulajdonságait alapvetően a benne megjelenő szén alakja határozza meg.



7.3. ábra. Lemezgrafitos, gömbgrafitos és temperöntvény sematikus szövetképe a jelöléssel és járműpéldákkal (sematikus rajz, nem csiszolatfotó)

Az ábrán a fekete grafit a lemezgrafitos öntöttvasban hegyes, bemetszésként ható lemezeket, a gömbgrafitosban kerek gömböket, a temperöntvényben csomókat alkot; ez magyarázza a lent tárgyalt eltérő szívósságot.

7.2.5.1. Lemezgrafitos öntöttvas (szürkeöntvény)

Jelölése például `EN-GJL-250`. A `GJL` a lamellás (lemezes) grafitú öntöttvasat jelöli, a szám a minimális szakítószilárdság MPa-ban, itt 250 MPa (ellenőrizendő: a szabvány szerinti jelölés). A grafit lamellái feszültséggyűjtőként viselkednek, ezért az anyag húzásra rideg, nyomásra viszont jól terhelhető. Kiválóan csillapítja a rezgéseket és jól vezeti a hőt, ezért hengertömbök, féktárcsák, fékdobok anyaga.

7.2.5.2. Gömbgrafitos öntöttvas

Jelölése például `EN-GJS-400-15`. A `GJS` gömbgrafitos öntöttvasat jelöl; `400` a minimális szakítószilárdság, `15` a szakadási nyúlás százalékban. A grafit gömb alakú, ezért nem gyengíti annyira a fémes alapot: az anyag szívósabb, húzószilárdsága nagyobb. Főtengely, kerékagy, differenciálműház, esetenként hajtókar készül belőle.

7.2.5.3. Temperöntvény

Fehér öntöttvas hőkezelésével állítják elő, amelyben a grafit csomók formájában válik ki. Jelölése például `EN-GJMW-400-5` (fehér temperöntvény) vagy `EN-GJMB-350-10` (fekete temperöntvény) (ellenőrizendő: a pontos jelölés). Vékony falú, szívós, alakos alkatrészek, például pedálkarok, fékemelők készülnek belőle.

7.2.5.4. Acélöntvény

Ha az alkatrész alakja öntést kíván, de szívósabb anyagra van szükség, acélöntvényt használnak. Jelölése gyakran `G` betűvel kezdődik, például `G17CrMo5-5`. Futóműelemek, tengelyhidak, kormányműházak anyaga lehet.

7.2.6. Könnyűfémek: alumínium és magnézium

7.2.6.1. Alumíniumötvözetek

A tiszta alumínium (pl. `Al99,5`) lágy, de jól vezeti az elektromos áramot és a hőt, korrózióálló. Szerkezeti célra azonban ötvözik.

Öntött alumíniumötvözetek előnye, hogy a szilícium javítja az önthetőséget és a kopásállóságot. Például:

- `EN AC-AlSi7Mg` – hengerfej, keréktárcsa;
- `EN AC-AlSi12CuNiMg` – dugattyú;
- `EN AC-AlSi9Cu3` – sebességváltóház.

Kovácsolt alumíniumötvözetek például `EN AW-6082` (AlMgSi típus) vagy `EN AW-7075` (AlZnMgCu típus). A `6082` jól hegeszthető és közepes szilárdságú, ezért felfüggesztő elemek, karosszériaelemek készülnek belőle. A `7075` nagy szilárdságú, de hegeszthetősége rosszabb; kisebb, nagy igénybevételű alkatrészekhez használják, például versenyautók felfüggesztő elemeihez.

Az alumíniumötvözetek előnye a kis sűrűség (2,7 g/cm^3 az acél 7,8 g/cm^3-ével szemben), a jó hővezetés és a korrózióállóság. Hátrányuk, hogy kisebb a szilárdságuk, fáradásra érzékenyebbek, és acélcsavarokkal érintkezve galvanikus korrózió léphet fel.

7.2.6.2. Magnéziumötvözetek

A magnézium még könnyebb, sűrűsége 1,74 g/cm^3. Ötvözetei például `AZ91` (kb. 9% Al, 1% Zn), `AM60`, `AS41`. Kormánykerék-váz, műszerfal-tartó, ülésváz, sebességváltóház és egyes prémium keréktárcsák készülnek belőle. A magnézium korrózióérzékeny, forgácsa gyúlékony, ezért megmunkálásakor és javításakor különleges elővigyázatosság kell.

7.2.7. Réz és ötvözetei, csapágyfémek

Tiszta réz kiváló elektromos és hővezető, ezért kábelek, tekercsek, hűtő- és fűtőradiátorok anyaga. Lágy, alakítható, korrózióálló.

Sárgaréz (CuZn) réz–cink ötvözet. Például `CuZn37` (kb. 63% Cu, 37% Zn) jó megmunkálhatóságú és korrózióálló. Szinkrongyűrűk, elektromos csatlakozók, csőszerelvények készülnek belőle.

Bronz (CuSn, CuAl) réz–ón vagy réz–alumínium ötvözet. Kopásálló, jó siklási tulajdonságú. Szelepvezetők, perselyek, csapágyak anyaga.

Csapágyfémek a siklócsapágyak futófelületét adják. Jellemző az **ólombronz** (pl. `CuPb24Sn4`) és a **fehérfém** (ón- vagy ólombázisú, pl. `SnSbCu`). A fehérfém lágy, jól beágyazza a kenőanyagba kerülő apró szennyeződéseket, így védi a főtengely csapjait. A modern siklócsapágy gyakran többrétegű: acél hátra felvitt ólombronz vagy alumíniumötvözet réteg, arra vékony fehérfém futóréteg. Ezt a felépítést a(z) A forgattyús hajtómű alfejezet használja.

7.2.8. Áttekintő táblázat: járműipari anyagok és alkalmazásuk

Anyagcsoport	Jelölési példa	Fő tulajdonság	Tipikus járműalkatrész	Indoklás	Megjegyzés
Általános szerkezeti acél	S235JR	jól hegeszthető, olcsó	segédváz, konzol	megfelelő szilárdság, hegeszthetőség	alacsony C-tartalom
Nemesíthető acél	42CrMo4	nagy szilárdság + szívósság	főtengely, hajtókar	fáradással szembeni ellenállás	nemesítés után
Betétedzhető acél	16MnCr5	kemény felület, szívós mag	sebességváltó fogaskerék	kopásálló fogfelület, ütésálló mag	karburizálás
Nitridálható acél	34CrAlNi7	kemény felület kis alakváltozással	vezérműtengely	kopásálló bütykök	nitridálás
Rugóacél	51CrV4	nagy rugalmasság, fáradásállóság	futóműrugó, szeleprugó	ismétlődő igénybevétel	általában nem hegeszthető
Szelepacél	X45CrSi9-3	hőálló, kopásálló	főleg szívószelep (a nagy hőterhelésű kipufogószelep ausztenites, pl. X53CrMnNiN21-9; ellenőrizendő: EN 10090)	magas hőmérséklet	króm-szilícium ötvözés
Korrózióálló acél	X5CrNi18-10	korrózióálló, hegeszthető	kipufogórendszer, rögzítők	nedvesség, só	ausztenites szövetszerkezet
Lemezgrafitos öntöttvas	EN-GJL-250	jó hővezetés, rezgéscsillapítás	féktárcsa, hengertömb	hősokktűrés, csillapítás	rideg, húzásra gyenge
Gömbgrafitos öntöttvas	EN-GJS-400-15	szívósabb, jó rezgéscsillapítás	főtengely (dízel), kerékagy	önthető, olcsóbb, mint acél	grafit gömb
Öntött alumínium	EN AC-AlSi7Mg	kis sűrűség, jó önthetőség	hengerfej, keréktárcsa	tömegcsökkentés, hőelvezetés	hőkezelhető
Kovácsolt alumínium	EN AW-6082	jó szilárdság/sűrűség, korrózióálló	felfüggesztő elem, karosszéria	tömegcsökkentés	jól hegeszthető
Sárgaréz	CuZn37	jó megmunkálhatóság, korrózióálló	szinkrongyűrű, csatlakozó	csúszás, elektromos kontaktus	lágy

Anyagcsoport	Jelölési példa	Fő tulajdonság	Tipikus járműalkatrész	Indoklás	Megjegyzés
Ólombronz	`CuPb24Sn4`	jó siklási és beágyazó képesség	siklócsapágy közbenső (hordozó) réteg	kenés, szilárdság	acél hátra felhordva
Fehérfém	`SnSbCu`	lágy, beágyazó	siklócsapágy futóréteg	szennyeződés beágyazás	vékony réteg

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: aktuális szabvány és gyártói adat).

7.2.9. Kidolgozott példák az anyagjelölés értelmezésére

Példa. Egy motorrajzon a főtengely anyagánál `42CrMo4` áll. Értelmezés: a `42` azt jelenti, hogy az acél átlagos széntartalma körülbelül 0,42%; a `Cr` krómot, a `Mo` molibdént jelöl. A betűk után álló `4` a krómra vonatkozik: $4/4 = 1\%$ Cr; a molibdéntartalmat a szabványtáblázat adja. Az acél nemesíthető: edzés és magas hőmérsékletű megeresztés után nagy szilárdságot és megfelelő szívósságot kap, ezért alkalmas főtengelyhez, hajtókarhoz.

Példa. A féktárcsán `EN-GJL-250` jelölés található. A `GJL` lamellás grafitú öntöttvasat, a `250` pedig legalább 250 MPa minimális szakítószilárdságot jelent. A lamellás grafit jó hővezetővé és rezgéscsillapítóvá teszi az anyagot, ezért fékezési hőterhelésnél kevésbé hajlamos repedésre, mint egy közönséges acél. Ugyanakkor húzásra rideg, ezért a tárcsát ejteni, túlfeszíteni vagy hegeszteni tilos.

Példa. Hibás választás: egy tanuló `C45` acélból akar futóműrugót készíteni, mert az is „erős”. A `C45` nemesíthető szerkezeti acél, amelynek ugyan nagy a szilárdsága, de fáradásra és rugóigénybevételre rosszabbul reagál, mint a `51CrV4` rugóacél. A rugóban milliószoros ismétlődő igénybevétel lép fel, ezért rugóacélt kell használni, és a kész rugót felületkezeléssel is védeni kell.

7.2.10. Minőségellenőrzés: honnan tudom, hogy jó anyaggal dolgozom?

A műhelyben az anyagot leggyakrabban a **rajz, az alkatrész jelölése vagy az anyagbizonyítvány** alapján azonosítjuk. Ha kétség merül fel, a következő ellenőrzéseket lehet elvégezni:

1. **Szabványos jelölés értelmezése** – a rajzon vagy az alkatrészen lévő jelből kiindulva.
2. **Szikrapróba** – köszörűvel csiszolva a szikraképből az acél széntartalma durván becsülhető; ez nem pontos összetételmérés, de jó előszűrés (szemléltető eljárás).
3. **Keménységmérés** – hőkezelés után Rockwell (HRC) vagy Brinell (HB) módszerrel; az értéket mindig a gyártói előíráshoz képest kell ellenőrizni.
4. **Mágnesesség-vizsgálat** – az ausztenites korrózióálló acél általában nem mágneses, míg a ferrites acél mágneses; ez segít az ötvözetek elkülönítésében.
5. **Törésfelület megfigyelése** – a lemezgrafitos öntöttvas törésfelülete szürke, a temperöntvényé sötét, a fehér öntöttvasé fényes.

Ellenőrzőlista. Anyagazonosításkor kérdezzük végig: (1) Van-e gyártói anyagjelölés a rajzon vagy a darabon? (2) A jelölés a hatályos EN-szabvány szerint értelmezhető? (3) A kiválasztott anyag megfelel-e az alkatrész igénybevételének? (4) Hőkezelés vagy felületkezelés szükséges-e? (5) A javítás során megengedett-e a hegesztés, melegítés vagy alakítás?

7.2.11. Valós életbeli alkalmazás: féktárcsa anyagának azonosítása

Ügyfél panasza: fékezéskor a kormány remeg, és a pedál pulzál. A szerelő megemeli az autót, leszereli a kereket, és mérőórával megméri a féktárcsa oldalirányú kifutását (például 0,09 mm a megengedett 0,05 mm helyett; példa, ellenőrizendő: gyártói adat), mikrométerrel pedig a vastagságingadozást és a vastagságot. A tárcsa vastagsága a gyártói kopási határ alatt van, felülete barázdás, ezért cserére szorul. A cserét tengelyenként párban, új betétekkel végzi, a kerékagy felfekvő felületét rozsdamentesre tisztítja, és az új tárcsa kifutását is ellenőrzi (ellenőrizendő: gyártói előírás). Az új tárcsa csomagolásán `EN-GJL-250` jelölés szerepel. A szerelő tudja: ez lemezgrafitos öntöttvas, amely jól vezeti a hőt és csillapítja a fékezési rezgéseket, de rideg. A tárcsát ezért nem szabad leejteni, túlfeszíteni vagy hegesztéssel „javítani”; a csere minden rögzítőelemét a gyártói nyomatékkal kell meghúzni. A javítás végeztével próbaúton, fokozatosan fékezve kell ellenőrizni, hogy a remegés megszűnt-e. Tanulság: az anyagjelölés nem csak az azonosításhoz kell, hanem megmondja, hogyan bánjunk a biztonsági alkatrésszel.

7.2.12. Tipikus hibák

1. **A `C45` jelölést 45% széntartalomként olvassák.** Helyesen a szám tized százalékban értendő: `C45` = 0,45% C, nem 45%. Az acélok széntartalma a gyakorlatban 0,05%–1,5% között mozog.
2. **Az öntöttvasat acélként hegesztik.** A lamellás grafitos öntöttvas rideg, hő hatására megrepedhet; hegesztése csak különleges eljárással, előmelegítéssel és megfelelő pálcával kísérelhető meg, és biztonsági alkatrészen (pl. féktárcsa) eleve tilos.
3. **Az alumínium alkatrészt közönséges acélcsavarral rögzítik.** A két fém közötti galvanikus korrózió idővel berágódáshoz, lazuláshoz vezet. Bevont csavart, szigetelő alátétet vagy kenőanyagot kell használni.
4. **A magnéziumot összekeverik az alumíniummal.** A magnézium könnyebb, de korrózióérzékenyebb, és a finom forgács gyúlékony; megmunkálásakor tűzveszélyes, ezért elszívás és fémtűzoltó eszköz szükséges.
5. **A korrózióálló acélt minden szerkezeti célra használják.** A `X5CrNi18-10` korrózióálló, de szilárdsága közepes és ára magas; általános szerkezeti elemhez a `S235JR` vagy `S355J2` jobb választás.

7.2.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az acél széntartalma mindig nagyobb, mint az öntöttvasé.
2. Mit jelent a `42CrMo4` jelölésben a `42`, a `Cr` és a `Mo`?
3. Mi a különbség a `EN-GJL-250` és a `EN-GJS-400-15` öntöttvas között a grafit alakja és a szívósság szempontjából?
4. Milyen alumíniumötvözet-csoportból választanál anyagot hengerfejhez, és miért?
5. Miért használnak ólombronzot vagy fehérfémet siklócsapágy futórétegként?
6. Mi a hiba ebben a mondatban: „A féktárcsa 100Cr6 acélból készül, mert az a legkeményebb”?

7.2.14. Feladatok

1. feladat (A) Definiálja az acélt és az öntöttvasat széntartalom alapján, és adja meg a határértéket.

2. feladat (A) Értelmezze az `S235JR` és az `X5CrNi18-10` anyagjelöléseket. Mit adnak meg a betűk és a számok?

3. feladat (B) Válasszon anyagot a következő alkatrészekhez, és indokolja röviden: (a) féktárcsa, (b) hengerfej személyautóhoz, (c) karosszéria külső lemez.

4. feladat (B) Hasonlítsa össze táblázatosan az `EN-GJL-250` lemezgrafitos és az `EN-GJS-400-15` gömbgrafitos öntöttvasat: mi a jellemző grafit alak, húzószilárdság, szívósság, tipikus járműalkatrész?

5. feladat (C) Miért betétedzhető acélból készülnek a sebességváltó fogaskerekek? Magyarázza el a `16MnCr5` anyagjellemzők alapján a „kemény felület, szívós mag” elvét. (Ez a feladat előkészíti az Öntészet, melegalakítás és hőkezelések hőkezelési témakörét.)

6. feladat (D) Egy régi jármű fékdobján `GG-20` jelölés látható. Azonosítsa az anyagot a mai `EN-GJL` jelölési logika segítségével, és döntse el, hogy szabad-e hegeszteni, ha repedést találunk rajta. Indokoljon a grafit alakjával és a biztonsági követelményekkel.

7.2.15. Megoldások

7.2.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az acél széntartalma kisebb, mint körülbelül 2,06%; az öntöttvasé nagyobb, jellemzően 2,5%–4%.
2. `42` = 0,42% C; `Cr` = króm; `Mo` = molibdén; nemesíthető acél, hőkezelés után nagy szilárdság + szívósság.
3. `GJL`-ben a grafit lamellás (lemezes), ez feszültséggyűjtő hatású, ezért az anyag ridegebb; `GJS`-ben a grafit gömb alakú, kisebb belső gyengítés, ezért szívósabb és nagyobb húzószilárdságú.
4. Öntött alumíniumötvözet, például `EN AC-AlSi7Mg`, mert a szilícium javítja az önthetőséget, az ötvözet könnyű és jól vezeti a hőt.
5. Mert lágyak, jól beágyazzák a kenőanyagba kerülő apró szennyeződéseket, és jó siklási tulajdonságúak; ezzel védik az acél főtengelycsapot.
6. A `100Cr6` csapágyacél ugyan nagyon kemény, de acél, és a féktárcsához a lemezgrafitos öntöttvas jobb, mert jobban vezeti a hőt és csillapítja a rezgéseket; a csapágyacél emellett drágább és hőkezelési követelményei is mások.

7.2.15.2. 1. feladat megoldása

Acél: vas–szén ötvözet, C-tartalom $< 2{,}06\%$ (gyakorlatban 0,05%–1,5%). Öntöttvas: vas–szén ötvözet, C-tartalom $> 2{,}06\%$, jellemzően 2,5%–4% C, és általában 1%–3% Si.

7.2.15.3. 2. feladat megoldása

`S235JR`: `S` = szerkezeti acél, `235` = minimális folyáshatár 235 MPa, `JR` = ütőmunka-osztály (27 J, 20 °C-on – ellenőrizendő). `X5CrNi18-10`: `X` = erősen ötvözött acél, `5` = 0,05% C, `Cr18` = 18% Cr, `Ni10` = 10% Ni; korrózióálló, ausztenites acél.

7.2.15.4. 3. feladat megoldása

(a) Féktárcsa: `EN-GJL-250` lemezgrafitos öntöttvas, mert jó hővezetés és rezgéscsillapítás. (b) Hengerfej: `EN AC-AlSi7Mg` öntött alumínium, mert könnyű, jól önthető, jó hőelvezetés. (c) Karosszéria külső lemez: hidegen hengerelt, mélyhúzható, horganyzott acéllemez (például `DC04` vagy bake-hardening minőség; ellenőrizendő: gyártói karosszériajavítási adat) vagy alumíniumlemez, mert jól alakítható, korrózióvédett és könnyű. Az ütközési energiát a tartószerkezet nagyszilárdságú (részben préskeményített) acéljai nyelik el.

7.2.15.5. 4. feladat megoldása

Jellemző	`EN-GJL-250`	`EN-GJS-400-15`
Grafit alakja	lamellás (lemezes)	gömb
Minimális szakítószilárdság	250 MPa	400 MPa
Szívósság	kicsi, rideg	nagyobb, szívós
Tipikus járműalkatrész	féktárcsa, hengertömb	főtengely, kerékagy

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: aktuális szabvány).

7.2.15.6. 5. feladat megoldása

A sebességváltó fogaskerék fogai nagy felületi nyomást és csúszási kopást szenvednek, a fogtő pedig ütésszerű, hajlító igénybevételt kap. A `16MnCr5` alacsony széntartalma (0,16% C) miatt a mag lágy, szívós marad, így nem törik el ütésre. A felületet karburizálással szénnel dúsítjuk, majd edzzük; így a fogfelület kemény és kopásálló lesz. Ezért a betétedzhető acél egyszerre ad kemény felületet és szívós magot.

7.2.15.7. 6. feladat megoldása

A `GG-20` régi jelölés szerint lemezgrafitos öntöttvas, ahol a szám a minimális szakítószilárdságra utal $20\,\mathrm{kg/mm^2}$-ben, ami körülbelül 200 MPa. Ez a mai `EN-GJL-200` megfelelője. A fékdob biztonsági alkatrész, ezért repedés esetén hegeszteni tilos; a lemezgrafitos öntöttvas hőre rideg és repedésre hajlamos, a hegesztett varrat pedig nem ad megbízható biztonsági szilárdságot. A dobot ki kell cserélni, és a fékrendszer többi elemét is ellenőrizni kell.

7.2.16. Rövid összefoglaló

Az acél 2,06% alatti, az öntöttvas 2,06% feletti széntartalmú vasötvözet. Az acélokat felhasználás szerint szerkezeti, nemesíthető, betétedzhető, nitridálható, rugó-, csapágy-, szelep-, korrózióálló és szerszámacélokra osztjuk. Az EN-jelölés logikus: `S235JR` a folyáshatárt, `C45E` a széntartalmat, `42CrMo4` a széntartalmat és az ötvözőket, `X5CrNi18-10` az erősen ötvözött korrózióálló acélt jelöli. Öntöttvasak: a lemezgrafitos (`EN-GJL`) rideg, rezgéscsillapító; a gömbgrafitos (`EN-GJS`) szívósabb; a temperöntvény hőkezelt fehér öntöttvas. A könnyűfémek közül az alumíniumötvözetek (AlSi öntvény, AlMgSi/6082 kovácsolt) tömegcsökkentésre, a magnézium még könnyebb szerkezeti elemekre való. A réz, sárgaréz, bronz, ólombronz és fehérfém elektromos vezetők, csapágy- és kopó alkatrészek anyaga. Minden szabványos jelölést a hatályos EN-szabvány és a gyártói anyagbizonyítvány szerint kell értelmezni. **Továbbvitt eredmény.** Az anyagjelölés és a tulajdonságprofil

ismeretére épül a hőkezelés (Öntészet, melegalakítás és hőkezelések) és a forgattyús hajtómű alkatrészeinek anyagválasztása (A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd).

7.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az anyagtudomány és a műhelyi gyakorlat tartós alapjaira épít. A konkrét szabványjelölési példák (EN 10027-1/2, EN 1560, EN 1706, EN 573) és a megadott összetétel-, szilárdsági és nyúlási értékek tanulási példák; a kiadás előtt az aktuális harmonizált szabványváltozatokkal és a gyártói anyagbizonyítványokkal egyeztetendők. A régi `GG-20` jelölés átszámítása tájékoztató jellegű. A szikrapróba nem pontos anyagvizsgálat, csak műhelyi előszűrés. A féktárcsa és fékdob hegesztési tilalma biztonsági szabály; a konkrét javítási eljárást mindig a gyártói javítási utasítás határozza meg.

7.3. Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok

7.3.1. Motiváció

A műhelyben szinte minden munkánál találkozik a szerelő nemfémes anyaggal: a lecsavarozott lökhárító polipropilén, a szivárgó tömítés gumikeverék, a katalizátor kerámia hordozó, a feltöltött olaj pedig gondosan kiválasztott kenőanyag. Ha egy dízel részecskeszűrős autóba rossz minőségű motorolajat töltenek, a DPF idő előtt eltömődhet; ha télen vízzel hígított hűtőfolyadék marad a motorban, a hengerfej fagyás miatt repedhet meg. Az anyag és a folyadék kiválasztása tehát nem adminisztráció, hanem a javítás minőségét és a jármű élettartamát meghatározó szakmai döntés.

7.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy szervizállványon álló, középkategóriás személyautót. A szerelő a motorháztető alatt dolgozik: a szívósor fekete, üvegszállal erősített műanyag, a hűtőtömlő fekete gumiból készült, a gyújtógyertyák fehér kerámiája jól látszik a hengerfejen. A leeresztett motorolaj sötétbarna, az új olaj aranysárga, a kannán `SAE 5W-30` és `ACEA C3` jelölés áll. A fékfolyadék-tartály áttetsző műanyagból van, a benne lévő folyadék enyhén sárgás. A hűtőkiegyenlítő tartály oldalán `G12++` feliratú, lila folyadék szintje látható. A szerelő kesztyűt visel, mert a folyadékok bőrrel érintkezve mérgezőek vagy irritálóak lehetnek, és a fáradt olajat zárt, feliratozott kádba gyűjti.

7.3.3. Nemfémes anyagok

7.3.3.1. Műanyagok: termoplaszt, duroplaszt, elasztomer

Definíció. A **termoplaszt** olyan hőre lágyuló műanyag, amely melegítéskor többször megolvasztható, lehűtéskor megszilárdul, és a folyamat elvileg ismételhető. A **duroplaszt** hőre keményedő műanyag; a kikeményedés kémiai reakció, ezért újraolvasztani nem lehet. Az **elasztomer** gumirugalmas anyag, amely nagy alakváltozás után is visszanyeri eredeti alakját.

A járműipari műanyagok kiválasztásánál a szilárdság, a hőállóság, a vegyszerállóság, a tömeg és az ár együttesen számít. A termoplasztok jól alakíthatók és hegeszthetők; ilyen a lökhárítók polipropilénje (PP), a szívósorok poliamidja (PA), a lámpabúrák polikarbonátja (PC), a műszerfalak

ABS/PC keveréke. A duroplasztok hőállóbbak és alaktartóbbak; ilyen például a fenolgyanta, amelyből régebben elosztófedelek, gyűjtőházak készültek, illetve a poliuretán, amelyből kemény-hab és öntött alkatrész lehet. Az elasztomerek közül a nitrilgumi (NBR) az üzemanyag-tömítés, a fluorozott gumi (FKM) a magas hőmérsékletű tengelytömítések, a szilikongumi a nagy hőnek kitett tömlők, a HNBR pedig a klímarendszer és a vezérműlánc-feszítő tömítések anyaga. Az EPDM kitűnő víz- és időjárásálló; hűtőtömlőkhöz, ajtótömítésekhez használják.

Megjegyzés. A műanyag alkatrészek címkéjén gyakran megtalálható a szabványos rövidítés (`PP+EPDM`, `PA6 GF30`, `PC/ABS`); ez segíti a ragasztó, hegesztőpálca vagy javítókészlet kiválasztását.

7.3.3.2. Kerámiák

A kerámiák kemények, kopásállóak, hőállóak, de ridegek. A gyújtógyertya szigetelője alumínium-oxid kerámia, mert nagy feszültséget szigetel, és tűri az égéstér hőmérsékletét. A háromutas katalizátor és a részecskeszűrő hordozója gyakran kordierit vagy fém, de a kerámia hordozó cellás szerkezete nagy felületet ad a nemesfém bevonatnak. A lambdaszonda szilárd elektrolitja cirkónium-dioxid kerámia, amely oxigénionokat vezet, így feszültségjelet ad a kipufogógáz oxigéntartalma alapján. A fékbetétek egyes típusai kerámia-szálas keveréket tartalmaznak, de a pontos összetétel gyártói know-how.

7.3.3.3. Kompozitok, üveg, textil, bőr

Definíció. A **kompozit** két vagy több, egymástól eltérő anyag makroszkopikus társítása; a mátrix és az erősítőanyag együtt jobb tulajdonságot ad, mint külön-külön.

A leggyakoribb járműipari kompozit az üvegszállal erősített műanyag (GFRP) és a szénszálas műanyag (CFRP). A szénszál nagyon könnyű és merev, ezért motorsport, sportos modellek karosszériaelemei, tetőlemezei, rugói készülnek belőle; a hétköznapi autókban üvegszál erősíti a műanyag idomokat, és poliuretán mátrixú üvegpaplan szigetel. Az erősített műanyag alkatrész sérülésekor a gyártói javítási utasítás határozza meg, hogy ragasztható, hegeszthető vagy csak cserélhető; szénszálas elemen házilagos fúrás-faragás tilos.

Az üveg a járműben edzett vagy laminált (ragasztott) kivitelű. A szélvédő laminált üveg, mert töréskor a fólia egyben tartja; az oldal- és hátsó üveg általában edzett, amely apró, kevésbé vágó darabokra esik szét. A hővédő üveg bevonata csökkenti az utastér felmelegedését; a bevonatot károsító súrolószer nem használható. A textil és a bőr a kárpit, szűrőbetét, heveder, szőnyeg és ülésborítás anyaga; a szűrőanyagoknál a porozitás, a folyadék- és légáteresztés, valamint a vegyszerállóság a fő követelmény.

7.3.4. Kenőanyagok

Definíció. A **kenőanyag** olyan anyag, amely a súrlódó felületek közé jutva csökkenti a súrlódást és a kopást, elvezeti a hőt, tisztítja a felületet, zárja az égéstér és a forgattyúsház közötti rést, valamint véd a korrózió ellen.

A motorolajok fő jellemzője a viszkozitás. A viszkozitás a folyadék belső súrlódása; hidegen túl sűrű olaj nehezen szivattyúzható, melegen túl híg olaj nem épít fel elég kenőfilmet. A motorolajok viszkozitási osztályát az SAE (Society of Automotive Engineers) rendszer jelzi. Az `5W-30` jelentése: a `W` a „winter” (téli) tag, az `5W` a hidegindítási viszkozitást, a `30` a 100 °C-os üzemi viszkozitást jelöli. Minél kisebb az első szám, annál kedvezőbb a hidegindítás; minél nagyobb a második,

annál vastagabb az olaj melegen. A mai személyautókban gyakori a `0W-20`, `5W-30`, `5W-40`; a teherautókban `10W-40`, `15W-40` is előfordul.

A minőségi osztályt az ACEA (európai járműgyártók szövetsége) betűjelölése adja. Az `A/B` osztályú olajok hagyományos benzin- és dízel személygépkocsikhoz valók; a `C` osztályú olajok alacsony hamu-, kén- és foszfortartalmúak (low SAPS); részecskeszűrős dízel- és benzinmotorokhoz, illetve ahol a gyártó előírja, ezeket kell használni (a háromutas katalizátoros benzines autókhoz a gyártó gyakran `A/B` osztályú vagy saját specifikációjú olajat ír elő). Az `E` osztály tehergépjármű-olaj. A pontos osztály (például `C3`, `C5`) évről évre frissülhet, ezért mindig az aktuális gyártói előírást kell ellenőrizni. A gyártói specifikáció ennél szigorúbb és konkrétabb; ilyen például a `VW 504 00/507 00`, a `BMW Longlife-04`, a `MB 229.52` (ellenőrizendő: a gyártói előírás az adott járműhöz). A gyártói szervizkönyv vagy a javítási utasítás megadja, melyik specifikációt kell használni.

A hajtóműolajak viszkozitása is SAE-jelölésű, például `75W-90`, `80W-90`. A sebességváltóknál az API `GL-4` vagy `GL-5` osztály jelzi a terhelhetőséget; hipoid fogaskerekekhez általában `GL-5` kell. A személyautó kézi váltójába nem feltétlenül való `GL-5`, mert a nagy adaléktartalom károsíthatja a sárgaréz szinkrongyűrűket; ezért a gyártói előírást kell követni. Az automata sebességváltó-folyadék (ATF) gyártóspecifikus; színe általában piros vagy zöld, de a szín nem minősít. Az ATF-ek nem keverhetők egymással, mert a váltó kuplungjai és szelepei érzékenyek a folyadék viszkozitására és adalékrendszerére. A zsírok NLGI-osztályba sorolhatók; a járműveknél az `NLGI 2` konzisztencia a leggyakoribb. Lítiumszappanos zsírt használunk csapágyakhoz, szerelőzsírt a szereléshez, molibdén-diszulfid (MoS_2) tartalmú zsírt terhelt csuklókhoz (például féltengely-csuklókhoz; ellenőrizendő: gyártói kenőanyag-előírás), míg a fékhidraulika-részekhez speciális, gumiálló zsír szükséges.

7.3.5. Üzemi folyadékok

7.3.5.1. Fékfolyadék

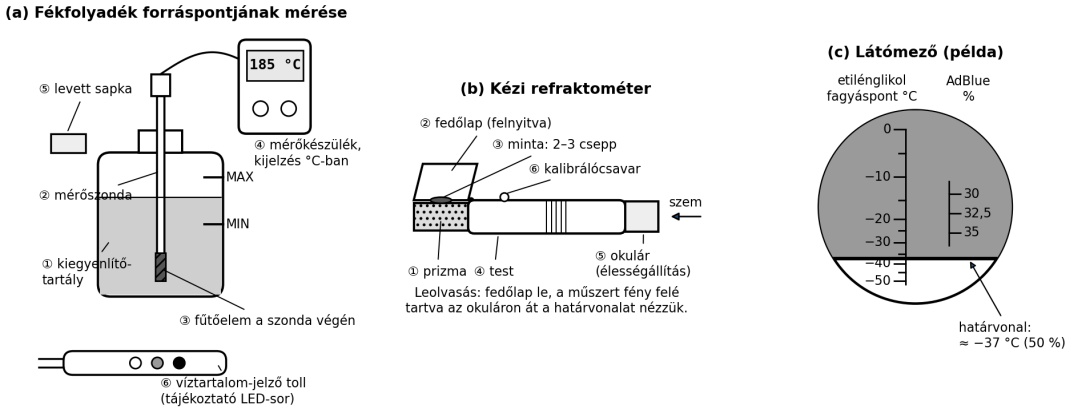
A fékfolyadék hidraulikus közeg; nagy forráspontúnak kell lennie, mert a féknyergek hőmérséklete meghaladhatja a 200 °C-ot, és nem lehet összenyomható. A fékfolyadékok poliglikol-éter alapúak, kivéve a DOT 5 osztályt, amely szilikon alapú. A fékfolyadék higroszkópos: vizet vesz fel a levegőből, ami csökkenti a forráspontot. Ezért a forráspontot „száraz” (új, vízmentes) és „nedves” (kb. 3,7% víztartalmú) állapotra is megadják.

Az alábbi táblázat a DOT-osztályok tanulási példaértékeit foglalja össze; a pontos aktuális szabványértékeket ellenőrizni kell.

Osztály	Alapanyag	Száraz forráspont (°C)	Nedves forráspont (°C)	Járműipari használat
DOT 3	glikol	~205	~140	régebbi járművek, ritkán
DOT 4	glikol/borát-észter	~230	~155	a leggyakoribb személyautó-fékfolyadék
DOT 5	szilikon	~260	~180	veterán/múzeumi járművek, ABS-sel általában nem

Osztály	Alapanyag	Száraz forráspont (°C)	Nedves forráspont (°C)	Járműipari használat
DOT 5.1	glikol/borát-észter	~260	~180	nagy terhelésű, ABS/ESP-s járművek

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: hatályos fékfolyadék-szabvány és a gyártói javítási előírás). A DOT 5 szilikonfolyadékot tilos DOT 3, DOT 4 vagy DOT 5.1 folyadékkal keverni; a glikol-észter folyadékok egymással keverhetők, de a gyártó által előírt osztályt kell használni, és a fékfolyadékot a járműgyártó szerinti időközönként (jellemzően 2 évente) cserélni kell.



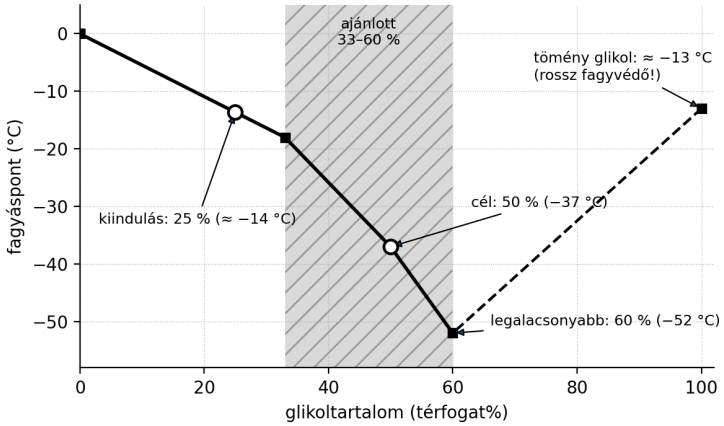
Sematikus vonalrajz; a kijelzett érték és a skálák példák (glikolskála a fejezet fagyáspont-adataiból, AdBlue névleges 32,5 %) – ellenőrizendő a műszer és a gyártó adatai szerint.

7.4. ábra. Üzemifolyadék-vizsgáló eszközök: fékfolyadék-forráspontmérő a kiegyenlítőtartálynál, víztartalom-jelző toll, kézi refraktométer és látómezeje (sematikus rajz, példaértékek)

A forráspontmérő szondája a kiegyenlítőtartályban lévő folyadékmintát felforralja, és a mért forráspontot °C-ban kijelzi; a víztartalom-jelző toll csak tájékoztat. A hűtőfolyadék fagyáspontját kézi refraktométerrel mérjük: a prizmára cseppentett minta a látómezőben határvonalat ad, amelynek helyén a glikolfajtának megfelelő skáláról olvassuk le a fagyáspontot. A HTML-változatban leolvasási gyakorlat van.

7.3.5.2. Hűtőfolyadék

A hűtőfolyadék etilénglikol vagy propilénglikol alapú, vízzel hígított, korróziógátló adalékokat tartalmazó folyadék. A tiszta víz fagyáspontja 0 °C, a tiszta etilénglikolé körülbelül -13 °C, ezért a tömény fagyálló önmagában rossz fagyvédő. A 33–60 térfogatszázalékos glikol-víz keverék ad jó fagyvédelmet. Például 50% glikol kb. -37 °C-ig, 60% kb. -52 °C-ig véd (ellenőrizendő: a gyártó keverési táblázat).



Leeresztés–pótlás 7,0 l-es körnél 25 % → 50 %: x = (0,50 − 0,25)·7,0 / (1 − 0,25) = 2,33 l keveréket leereszteni, 2,33 l tömény fagyállót betölteni.
A fejezet pontjai lineárisan összekötve; a 60–100 % szakasz (szaggatott) csak irányt mutat – ellenőrizendő a gyártói keverési táblázat szerint.

7.5. ábra. A hűtőfolyadék fagyáspontja a glikoltartalom függvényében, az ajánlott 33–60 %-os sávval (a fejezet pontjai lineárisan összekötve; ellenőrizendő a gyártói keverési táblázat szerint)

A görbe 60 % körül éri el a legalacsonyabb fagyáspontot, a tömény glikol (≈ -13 °C) rosszabb fagyvédő, mint a keverék. Mivel a hűtőkör térfogata állandó, a töményítéshez előbb keveréket kell leereszteni: a leeresztendő (és tömény fagyállóval pótlandó) mennyiség $x = (c_{\text{cél}} - c_1)\cdot V/(1-c_1)$, 7,0 l-es körnél 25 %-ról 50 %-ra $x = 0{,}25 \cdot 7{,}0/0{,}75 \approx 2{,}33\,\text{l}$. A HTML-változat kalkulátorában a térfogat, a jelenlegi és a cél koncentráció állítható.

A gyártók eltérő adalékrendszerű hűtőfolyadékokat írnak elő (`G11`, `G12+`, `G12++`, `G13`, `OAT`, `HOAT`); ezeket nem szabad összekeverni, mert a korróziógátló adalékok kicsapódhatnak, és eltömíthetik a hűtőrendszert. A szín nem azonosítja a kémiai típust, ezért a szín alapján való keverés tilos. A hűtőfolyadékot desztillált vagy ioncserélt vízzel hígítjuk, ha a kész keveréket nem előre keverve vásároljuk; a csapvíz mésztartalma vízkövet rakhat le.

Számítás. Ha egy hűtőkör térfogata 7,0 liter, és a jelenlegi folyadék 25 térfogatszázalék glikolt tartalmaz, a gyártó pedig 50%-ot ír elő, akkor a töltött hűtőkörből x mennyiségű keveréket kell leereszteni, és ugyanennyi tömény glikollal pótolni (a rendszer térfogata nem változhat). A leeresztendő mennyiség:

$$c_1(V - x) + c_2\,x = c_3 V,$$

ahol $c_1 = 25\%$ a jelenlegi koncentráció, $V = 7{,}0\,\text{l}$ a hűtőkör térfogata, $c_2 = 100\%$ (tömény), $c_3 = 50\%$ a cél. Behelyettesítve:

$$0{,}25\,(7{,}0 - x) + 1{,}0\,x = 0{,}50 \cdot 7{,}0,$$

$$1{,}75 + 0{,}75\,x = 3{,}5,$$

$$x = \frac{(c_3 - c_1)\,V}{c_2 - c_1} = \frac{0{,}25 \cdot 7{,}0}{0{,}75} \approx 2{,}33\,\text{l}.$$

Tehát kb. 2,3 l keveréket leeresztünk (a használt hűtőfolyadékot veszélyes hulladékként kell gyűjteni és átadni, ellenőrizendő: hulladékkezelési előírás), és 2,3 l tömény fagyállót töltünk be, majd járatás és légtelenítés után refraktométerrel ellenőrizzük a koncentrációt. Ez a keverési egyenlet a szervizben használható, de a pontos arányt és a hígítási módot mindig a gyártói keverési táblázat adja meg.

7.3.5.3. AdBlue és szélvédőmosó

Az AdBlue a dízelmotoros járművek SCR-rendszerének redukálószere: 32,5 tömegszázalék karbamid vizes oldat. Fagyáspontja körülbelül -11 °C, ezért a járműben fűtött tartály és fűtött vezeték található; a fagyás nem károsítja az oldatot, de a rendszer töltését akadályozhatja. A rossz minőségű vagy hamisított AdBlue károsíthatja az adagolót és a katalizátort; az ISO 22241 szerinti összetételt kell használni (ellenőrizendő). A szélvédőmosó-folyadék nyáron vízkő- és rovaroldó, télen fagyálló adalékot tartalmaz; a téli fagyáspontot (például -20 °C) a palack címkéje adja meg. A szélvédőmosóba nem szabad hűtőfolyadékot tölteni, mert az mérgező és roncsolhatja a fényezést, a tömítéseket, valamint a szélvédőre kerülve balesetet okozhat.

7.3.6. Minőségellenőrzés

A folyadékok kiválasztásánál és ellenőrzésénél a gyártói javítási utasítás az elsődleges. Az ellenőrzési lépések:

1. **Járműazonosítás** a forgalmi engedély, a gyártói adattábla és a szervizkönyv alapján.
2. **Előírt folyadék meghatározása** a javítási utasításból: motorolaj SAE/ACEA/gyártói specifikáció, hajtóműolaj, ATF, fékfolyadék DOT, hűtőfolyadék-típus, AdBlue.
3. **A feltöltött folyadék jelölésének összehasonlítása** a kannán lévő jelöléssel; az olajbetöltő sapkán, a szintjelző pálcán vagy a szervizkönyvben szereplő előírással.
4. **Szintellenőrzés** hideg, vízszintesen álló járművön; az olajszintet a nívópálcán, a fékfolyadékot a tartály MIN–MAX jelei között, a hűtőfolyadékot a kiegyenlítő tartályon ellenőrizve.
5. **Mérések** ahol indokolt: fagyáspontmérő refraktométerrel a hűtőfolyadékhoz, fékfolyadék-víztartalom-mérővel a DOT-folyadékhoz, égéstermék-szivárgás teszt a hengerfejtömítés gyanújánál (ellenőrizendő: gyártói mérőeljárás).
6. **Környezetvédelmi szempontok** betartása a leengedett folyadékoknál.

7.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfél jön egy részecskeszűrős dízel személyautóval. Panasz: a részecskeszűrő gyakran regenerál, a motor olajfogyasztása emelkedett, és a szűrő előtti nyomáskülönbség nagy. A rendszerteszterrel a DPF töltöttsége magas, a regenerálási távolság rövid. Az olajbetöltő sapkán nincs a `C` osztályú ACEA jelölés; az előző szervizben `A3/B4` motorolajat töltöttek, mert a rendelkezésre álló készletből dolgoztak. A magas hamutartalmú olaj égése során nem égő hamurészecskék rakódnak a DPF-be, amit a regenerálás nem tud elégetni. A hiba kiderítése után a javítás: a motorolaj cseréje a gyártó által előírt, alacsony hamutartalmú `ACEA C` olajra, a DPF hamuterhelésének ellenőrzése teszterrel: ha a hamutartalom a gyártói határ fölött van, a szűrőt a gyártói eljárás szerint tisztítani vagy cserélni kell (a kényszerregenerálás csak a kormot égeti el, a hamut nem). Az emelkedett olajfogyasztás okát (turbófeltöltő tömítése, dugattyúgyűrűk, forgattyúsház-szellőzés) külön ki kell vizsgálni. A tanulság: a korszerű kibocsátáscsökkentő rendszerek miatt az olajminőség nem cserélhető fel, még akkor sem, ha a viszkozitási osztály azonosnak tűnik.

7.3.8. Tipikus hibák

- **DOT 5 keverése DOT 4-gyel.** A szilikon és a glikol-észter folyadék keveredése zselésedést okozhat, a fék elakadhat. A DOT 5 csak a gyártó kifejezett előírása esetén használható.

- **Tömény fagyálló betöltése hígítás nélkül.** A tiszta etilénglikol fagyáspontja magasabb, mint a megfelelő keveréké, és a koncentrált adalék korróziót, hűtőteljesítmény-csökkenést okozhat.
- **A szín alapján történő folyadékválasztás.** A piros hűtőfolyadék nem feltétlenül azonos adalékrendszerű, mint egy másik piros hűtőfolyadék; az ATF piros színe sem jelöli a specifikációt. Csak a jelölés és a gyártói előírás számít.
- **Szélvédőmosó helyett víz télen.** A víz megfagy, szétfeszíti a mosótartályt és a szivattyút; a fagyáspontnak mindig a helyi téli hőmérséklet alatt kell lennie.

7.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e: a termoplaszt újraolvasztható, a duroplaszt nem?
2. Mit jelent az SAE `5W-30` motorolajjelölésben a `W` és a `30`?
3. Miért vesz fel vizet a fékfolyadék, és miért veszélyes ez?
4. Egy hűtőkörben 6 liter 20%-os glikolkeverék van. Mennyi keveréket kell leereszteni és ugyanennyi tömény glikollal pótolni, hogy 50%-os legyen?
5. Melyik DOT-osztály szilikon alapú, és miért nem keverhető a többivel?

7.3.10. Feladatok

1. feladat (A)
Csoportosítsd a következő anyagokat: polipropilén, fenolgyanta, természetes gumi, poliamid, szilikon, poliuretán keményhab. Melyik termoplaszt, duroplaszt vagy elasztomer?

2. feladat (A)
Egy autó motorolaj-betöltő sapkáján `SAE 5W-30` és `ACEA C3` jelölés áll. Magyarázd el, mit jelentenek ezek a jelölések, és miért fontos a C3-as osztály?

3. feladat (B)
A hűtőfolyadék keverési táblázata szerint 33%-os glikolkeverék -18 °C-ig, 50%-os -37 °C-ig, 60%-os -52 °C-ig véd. Egy 5,0 literes hűtőkörben jelenleg 20%-os a keverék. Számítsd ki, mennyi keveréket kell leereszteni és ugyanennyi tömény fagyállóval pótolni, hogy a védelem elérje a -37 °C-hoz tartozó 50%-ot.

4. feladat (B)
Az ügyfél fékfolyadékot kér, mert a tartály alacsony. A jármű gyártója `DOT 4` folyadékot ír elő. Mire ügyelj a vásárlásnál és a feltöltésnél? Sorold fel a lépéseket!

5. feladat (C)
Műhelyvitában az egyik szerelő azt állítja, hogy ha nincs `C3` olaj, akkor egy `5W-30` jelű `A3/B4` olaj is tökéletes, mert ugyanaz a viszkozitási osztály. Mi a hiba ebben az érvelésben? Indokold!

6. feladat (D)
Ügyfél panasza: télen a szélvédőmosó nem fecskendez, bár a tartály tele van, és a szivattyú zúg. A hűtőfolyadék fagyáspontját refraktométerrel -35 °C-nak méred. Mi a legvalószínűbb ok, és mit javasolsz?

7.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok
1. Igaz. A termoplasztot hővel lágyítjuk, a duroplaszt kikeményedés után nem olvasztható újra.
2. A `W` a téli (winter) hidegindítási fokozatot, a `30` a 100 °C-os üzemi viszkozitási osztályt jelöli.
3. A glikol-éter alapú fékfolyadék higroszkópos; a víz csökkenti a forráspontot, ezért nagy fékterhelésnél gőzbuborék képződhet, a fékhatás csökken.
4. Leeresztés és tömény pótlás: $0{,}20\,(6-x)+1{,}0\,x=0{,}50\cdot 6 \rightarrow 1{,}2+0{,}8\,x=3{,}0 \rightarrow x=2{,}25\,\text{l}$. Tehát kb. 2,25 l keveréket kell leereszteni és ugyanennyi tömény glikollal pótolni.
5. A DOT 5 szilikon alapú; nem keverhető a DOT 3/4/5.1 glikol-észter alapú folyadékokkal, mert kicsapódhat, a tömítések károsodhatnak, a fék elakadhat.

1. feladat megoldása
Termoplaszt: polipropilén, poliamid. Duroplaszt: fenolgyanta, poliuretán keményhab. Elasztomer: természetes gumi, szilikon.

2. feladat megoldása
`SAE 5W-30`: a `W` a téli hidegindítási viszkozitást, a `30` a meleg üzemi viszkozitást jelzi. Az `ACEA C3` alacsony hamutartalmú, ezért részecskeszűrős (DPF) vagy szigorú katalizátoros autóban is használható; a hamu nem tömíti el a szűrőt.

3. feladat megoldása
Adott $V_1=5{,}0\,\text{l}$, $c_1=20\%$, $c_2=100\%$, cél $c_3=50\%$.

$$0{,}20\,(5{,}0-x)+1{,}0\,x=0{,}50\cdot 5{,}0.$$

$$1{,}0+0{,}80\,x=2{,}5.$$

$$x=\frac{1{,}5}{0{,}80}=1{,}875\,\text{l}\approx 1{,}9\,\text{l}.$$

Tehát kb. 1,9 l keveréket kell leereszteni, és ugyanennyi tömény fagyállóval pótolni (a rendszer térfogata nem változik). A pontos keveréket a gyártó hűtőfolyadék-táblázatából kell ellenőrizni.

4. feladat megoldása
Ellenőrizni kell a DOT-osztályt a tartálysapkán és a szervizkönyvben; frissen bontott, lezárt DOT 4 fékfolyadékot válasszunk, ne fél literes, régen nyitott flakont. A feltöltés előtt ellenőrizni kell a tartály szintjét, és a fékrendszer tömörségét; ha a szint azért alacsony, mert a fékbetétek kopása miatt süllyedt, a betétek cseréje után a szint visszaáll. A fékfolyadékot ne hagyjuk a fényezésre csöppeni, mert maró hatású. A baj nem a feltöltés önmagában, hanem az ok feltárása; ha valahol szivárgás van, azt azonnal meg kell keresni.

5. feladat megoldása
Az `A3/B4` és a `C3` eltérő teljesítményszintet és hamutartalmat jelent. A viszkozitást a SAE osztály, a minőséget és az adalékrendszert az ACEA (és a gyártói specifikáció) írja le. A `C3` alacsony hamutartalmú, DPF-es autóban biztonságos; az `A3/B4` nagyobb hamutartalmú lehet, amitől a részecskeszűrő idő előtt eltömődik. Ezért a viszkozitási osztály azonossága nem jelenti a minőségi osztály azonosságát.

6. feladat megoldása
A hűtőfolyadék fagyáspontja jó, így a motorhűtő kör védett. A szivattyú zúg, tehát áramot kap, de nem szállít. A legvalószínűbb ok: a szélvédőmosó folyadék nem fagyálló, vagy elfagyott a mosófolyadék-vezeték vagy a fúvóka, illetve a tartályban víz áll. A mosószivattyú védelme miatt a jeget nem szabad erőltetni; a járművet meleg műhelyben fagymentesíteni kell, a vizet leengedni, a tartályt és a szivattyút átöblíteni, majd a helyi téli hőmérsékletnél legalább 10 °C-kal alacsonyabb fagyáspontú téli mosófolyadékot tölteni.

7.3.12. Rövid összefoglaló

A nemfémes anyagok közül a termoplaszt hőre lágyul, a duroplaszt hőre keményedik, az elasztomer gumirugalmas. A járműiparban a PP, PA, PC, ABS a leggyakoribb műanyag; a tömítések NBR, FKM, szilikon, HNBR, EPDM gumiból készülnek. A kerámiák közül a gyújtógyertya szigetelő, a katalizátor hordozó és a lambdaszonda elektrolitja a fontos. A kompozitok mátrixból és erősítőből állnak; az üveg edzett vagy laminált. A kenőanyagok viszkozitása SAE-osztályú (`5W-30`), minősége ACEA-osztályú (`C3`) és gyártóspecifikus; a hajtóműolaj és az ATF nem cserélhető fel. A fékfolyadék DOT-osztályokba sorolható; a DOT 5 szilikon alapú, tilos keverni. A hűtőfolyadék glikol-víz keverék, a 33–60%-os tartományban fagyálló; a színe nem minősít. Az AdBlue 32,5% karbamid oldat, fagyáspontja kb. -11 °C. **Továbbvitt eredmény.** A folyadék kiválasztásának lépéseit (járműazonosítás → gyártói előírás → SAE/ACEA/DOT osztály → jelölés-ellenőrzés → szint- és mérésellenőrzés) használjuk a(z) A motor hűtése és a Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések alfejezetekben.

7.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: járműgyártói javítási utasítások és kenőanyag-specifikációk, ACEA/SAE/DOT/NLGI szabványok, ISO 22241 (AdBlue), gépjármű-szerviz kézikönyvek. Ellenőrizendő: a DOT forráspont-értékek, a SAE/ACEA jelölések aktuális évjáratú értelmezése, a hűtőfolyadék-keverék fagyáspont-táblázata, a gyártói specifikációk (VW, BMW, MB), az AdBlue fagyáspontja, valamint a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó hatályos jogszabályok.

8 Gyártás- és felújítási technológiák

8.1. Öntészet, melegalakítás és hőkezelések

8.1.1. Motiváció

A műhelyben a legtöbb javítás az alkatrészek cseréjéről vagy felújításáról szól, ezért jó tudni, hogyan és milyen eljárással készült az adott darab. Egy repedt hengerfej, egy kopott főtengely, egy deformált hajtórúd vagy egy beszakadt fogaskerék mind más gyártástechnológiát és más hőkezelési állapotot tükröz. Ha tudjuk, hogy a hengerfej öntvény-e vagy kovácsolt darab, ha látjuk, hogy a főtengely csapjai indukciósan edzettek-e, sokkal célzottabban tudjuk megítélni a felújíthatóságot, a hegeszthetőséget és a helyettesítő alkatrész minőségét. Ez az alfejezet azokat a melegtechnológiai eljárásokat mutatja be, amelyekkel a járműipari alkatrészek nagy része készül, és amelyeket a javításkor gyakran „anyagminőség” néven emlegetünk.

8.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el együtt három műhelyi helyzetet. Az elsőben egy öntött alumínium hengerfej fekszik a munkapadon: a felső oldalán látszik az öntési varrat, a belső víztér falain pedig a homokforma lenyomata. A másodikban egy kovácsolt hajtórúd látható: az oldalán lekerekített, tömör felület, ahol a szerszám két fele találkozott, és a szemölcsöknél levágott sorja. A harmadikban a szerelő mágneses repedésvizsgálatot végez egy főtengelyen; a csapok felületén látható elszíneződés arra utal, hogy indukciós felületi edzést kaptak. E három kép jól mutatja, hogy az alkatrész végső tulajdonságait a gyártási útvonal – öntés, képlékeny alakítás, hőkezelés – döntően meghatározza.

8.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Öntészetnek nevezzük azt a gyártástechnológiát, amelyben a megolvasztott fémet vagy ötvözetet egy előkészített, az alkatrész alakját képviselő üregbe öntik, ahol az megszilárdul, és az alakot felveszi.

Definíció. Képlékeny alakításnak nevezzük azokat az eljárásokat, amelyekben a szilárd anyagot külső erő hatására tartósan, törés nélkül deformáljuk. Ha az alakítást a kristályosodási hőmérsékletnél magasabb hőmérsékleten, újrakristályosodási hőmérséklet felett végezzük, melegalakításról; ha az újrakristályosodási hőmérséklet alatt (jellemzően szobahőmérsékleten), hidegalakításról beszélünk.

Definíció. Hőkezelésnek nevezzük azokat a célszerűen megválasztott felmelegítési, hőntartási és lehűlési ciklusokat, amelyekkel az anyag szilárd halmazállapotban maradva, szerkezeti átalakulások révén éri el a kívánt szilárdsági, szívóssági, keménységi vagy megmunkálhatósági tulajdonságait.

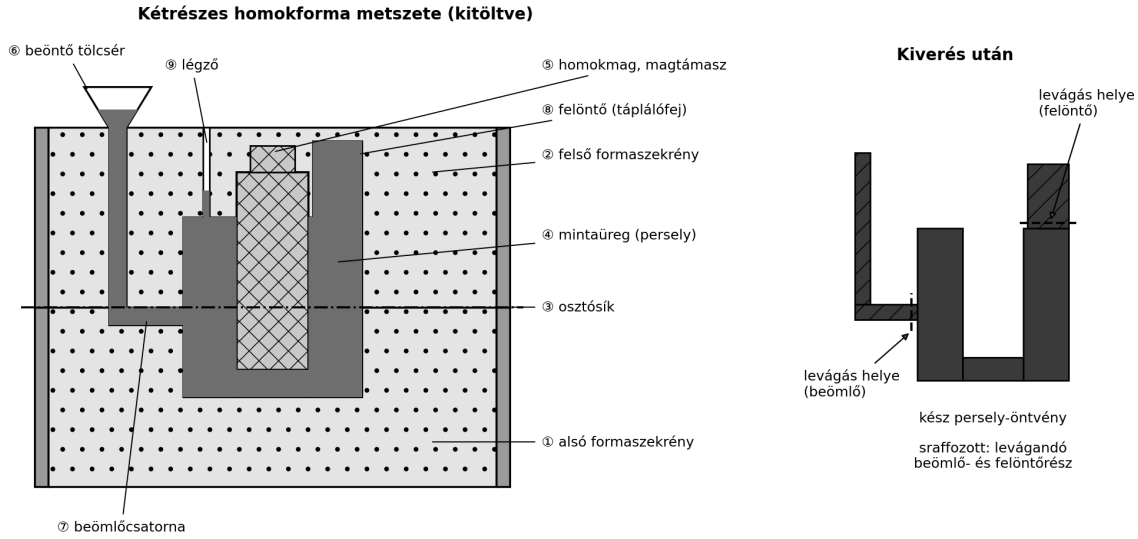
Definíció. Kérgesítésnek nevezzük azokat a felületi hőkezelő vagy termokémiai eljárásokat, amelyek a munkadarab magját szívós, a felületét viszont kopásálló, kemény réteggel alakítják ki.

8.1.4. Felépítés és működés

8.1.4.1. Öntészeti eljárások

A járműiparban az öntés elsősorban bonyolult, üreges, nehezen forgácsolható alkatrészek gazdaságos előállítására szolgál. A leggyakoribb öntési eljárások a forma anyaga, a kitöltés módja és a sorozatnagyság szerint különböznek.

A homokforma-öntésnél a mintát homokból készült, kötőanyaggal tömörített formába ágyazzák. Az eljárás olcsó, rugalmas, de a méretpontosság és a felületi minőség korlátozott. Erre példa a lemezgrafitos öntöttvas hengerblokk vagy a nehéz tehergépjármű-differenciálház.



8.1. ábra. Kétrészes homokforma függőleges metszete egy persely öntésekor, mellette a kivert öntvény a levágandó beömlővel és felöntővel (sematikus rajz)

A forma két formaszekrényből áll, amelyeket az osztósík választ el; a mintaüreg adja az öntvény külső, a homokmag a belső alakját. Az olvadék a beöntő tölcsérből a beömlőcsatornán át tölti ki az üreget, a légző a levegőt engedi ki, a felöntő pedig a dermedési zsugorodást pótolja. A HTML-változatban a beöntés, a kitöltés, a dermedés és a kiverés lépésenként követhető.

A precíziós öntésben a munkadarab viasszal vagy műanyaggal készült mintáját kerámiahéjjal vonják be, kiégetik, majd a fém az üreget tölti ki. Az eljárás nagy pontosságú, de drága; jellemzően turbótöltő-kerék, szelepvezető, bonyolult acélöntvény készül így.

A kokillaöntésben fémformát használnak. A kokilla nagyobb hűtőhatása finomabb kristályszerkezetet és jobb szilárdságot eredményez, mint a homokforma, de a forma drága. Járműpélda: alumínium dugattyú, kerékagy, féknyereg-öntvény.

A nyomásos öntésnél a fémolvadékot nagy sebességgel és nyomással préselik a fémformába. Ez vékony falú, pontos, nagy sorozatú alkatrészeket eredményez, elsősorban alumínium- és magnéziumötvözetekből. Például váltóház, motortartó konzol, elektronikai fedél.

A centrifugálöntésnél a formát vagy a kokillát forgatják, így a fém a centrifugális erő hatására a falhoz szorul, és tömör, szennyezőanyagtól mentes csövet vagy gyűrűt ad. Járműpélda: belső égésű motor perselyei, dugattyúgyűrű-alapanyag, csőöntvények.

Az alábbi táblázat összefoglalja a jellemzőket.

Eljárás	Forma	Jellemző anyag	Járműpélda	Méretpontosság (tájékoztató)	Sorozat
Homoköntés	homokforma	öntöttvas, acél, alumínium	hengerblokk, hengerfej	durvább	kis–nagy
Precíziós öntés	kerámiahéj	acél, nikkel-ötvözet	turbókerék, szelepvezető	nagyon pontos	kis–közepes
Kokillaöntés	fémforma	alumíniumötvözet	dugattyú, féknyereg	jó	közepes–nagy
Nyomásos öntés	fémforma, nyomás	alumínium, magnézium	váltóház, ECU-tartó	nagyon pontos	nagy
Centrifugálöntés	forgó forma	öntöttvas, acél	persely, dugattyúgyűrű	jó	közepes

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

8.1.4.2. Képlékeny melegalakítás

A melegalakítás során acélt általában 1100–1250 °C körüli hőmérsékletre melegítenek (alumíniumötvözeteknél jóval alacsonyabb hőmérsékleten; ellenőrizendő), ahol az alakítási szilárdsága lecsökken, és az alakváltozás közben újrakristályosodás játszódik le. A melegalakított anyag szívós, jó dinamikus tulajdonságú, és a szálszerkezet az erőfolyamhoz igazítható.

Szabadalakító kovácsolás. A munkadarabot sík vagy egyszerű formájú szerszámok között ütögetve vagy sajtolva alakítják. Kis sorozatnál, nagy méretű daraboknál gazdaságos. A járműiparban ritkább, mert a méretpontosság és az ismételhetőség korlátozott; előkovácsolt előgyártmányt készítenek vele.

Süllyesztékes kovácsolás. A munkadarabot a kész munkadarab alakjának megfelelő, két félből álló szerszámba préselik. A melegalakított anyag a szerszámüreget tölti ki, és a fölösleges anyag a sorján távozik. Így készül a főtengely, a hajtórúd, a csapszeg, a kerékcsukló és a fogaskerék-előgyártmány. A szerszám drága, ezért nagy sorozatnál használják. A kovácsolt darab szálszerkezete az alakot követi, ezért jobban ellenáll a hajlító és csavaró igénybevételnek, mint az azonos anyagú öntött változat.

Sajtolás. A lemezalakítás elsősorban hidegen történik, de a vastag, nagy alakváltozást igénylő daraboknál melegsajtolást is alkalmaznak. A járműipari karosszériaelemek többsége hidegen sajtolt lemez, de például a nagy teherbírású tengelyhidak, melegsajtolt kerékagyak ide tartozhatnak.

Hengerlés. A fémet egymással ellentétes forgású hengerek között folyamatosan vastagságcsökkentésen alakítják. A meleg hengerlés terméke a lemez, a rúd, a profil és a cső. A járműipari lemezanyagok, hosszgerendák, rugólapok forrása a meleghengerlés. A további hideghengerlés pontos méretet és jobb felületet ad.

8.1.4.3. Hőkezelések

A vasötvözetek hőkezelésének alapja a vas–karbon ötvözetrendszer átalakulása. A szövetvizsgálatnál megismert ausztenit, ferrit, perlit, cementit és martenzit kifejezéseket itt a folyamatok leírásában használjuk.

Lágyítás. A lágyító izzítások célja a keménység csökkentése, az alakítási vagy öntési feszültségek megszüntetése, a megmunkálhatóság javítása. Az eljárás lehet:

- feszültségmentes izzítás: lassú felmelegítés 550–650 °C környékére, hőntartás, majd lassú hűtés;
- normalizálás: ausztenitesítés után levegőn hűtés, finomszemcsés szerkezetet ad;
- teljesen lágyító izzítás: ausztenitesítés után kemencében lassú hűtés;
- lágyítás gömbösítéssel (gömbösítő izzítás): hosszú hőntartás az A1 hőmérséklet közelében/alatt, amely a lemezes cementitet gömbszemcsés cementitté alakítja; jó forgácsolhatóságot és hidegalakíthatóságot ad.

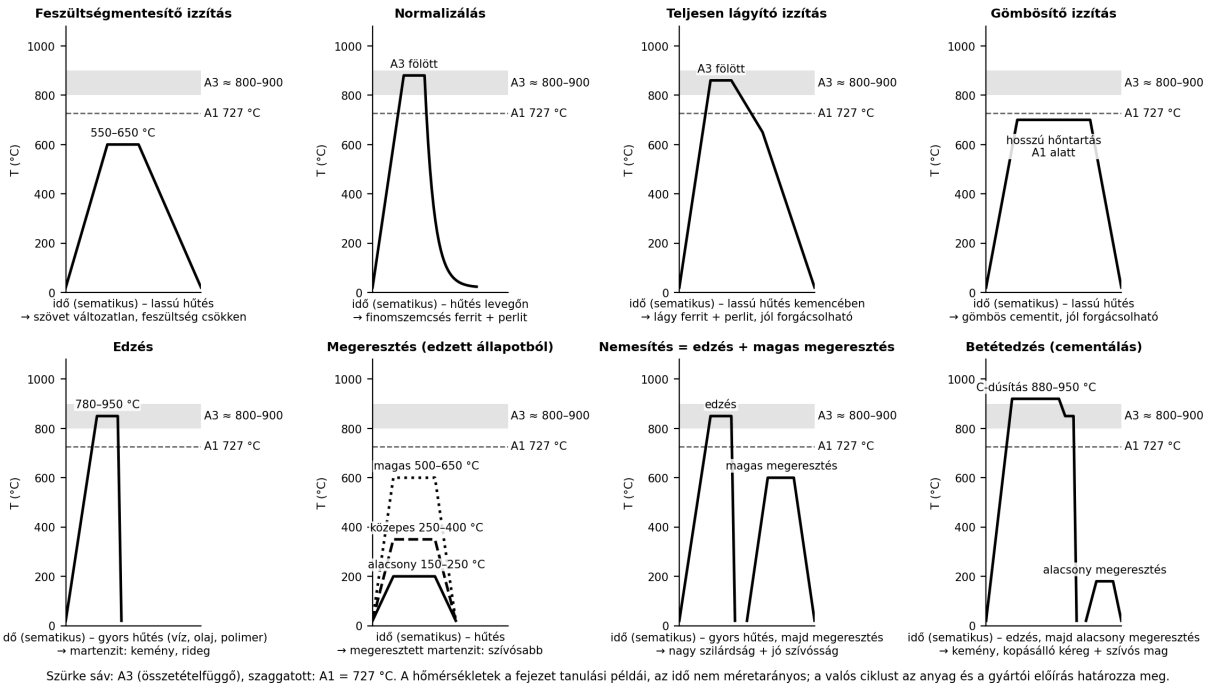
Edzés. Az edzés célja nagy keménység és kopásállóság elérése. Az acélt ausztenitesítési hőmérsékletre melegítik (jellemzően 780–950 °C, az ötvözet összetételétől függően), ott hőntartják, majd a kritikus hűlési sebességnél gyorsabban hűtik le. A gyors hűtés martenzitet hoz létre, amely nagyon kemény, de rideg. Hűtőközeg lehet víz, olaj, polimeroldat vagy levegő; az ötvözött acéloknál gyakran olajedzés elég.

Megeresztés. Az edzett anyagot a kívánt szívósság eléréséhez 150–650 °C közötti hőmérsékletre melegítik, hőntartják, majd lehűtik. Alacsony megeresztés (150–250 °C) megőrzi a nagy keménységet, közepes (250–400 °C) a rugóacéloknál, magas (500–650 °C) a szerkezeti acéloknál jellemző. A megeresztés csökkenti az edzés utáni ridegséget és a belső feszültséget.

Nemesítés. A nemesítés edzésből és magas megeresztésből áll. Célja nagy szilárdság és jó szívósság kombinációja. Jellemzően tengelyeknél, hajtórudaknál, csavaroknál, kormány- és felfüggesztés-elemeknél alkalmazzák.

Felületi edzés. Csak a munkadarab felületét edzik le, míg a mag szívós, lágyabb marad. Lángedzésnél oxigén-acetilén lánggal melegítik fel a felületet, majd lehűtik. Indukciós edzésnél a nagyfrekvenciás áram a felületi rétegben indukál áramot, amely gyorsan felmelegíti a felületet, és azonnali lehűtés követi. Például főtengely csapjai, kerékcsapágy-futófelületek, fogaskerék-fogak.

Kérgesítés. A kérgesítés során a felületi réteg kémiai összetételét változtatják meg úgy, hogy edzés után kemény, kopásálló réteget kapjon. A betétedzés (cementálás) során a munkadarabot széntartalmú közegben 880–950 °C-on tartják, így a felületi réteg széntartalma megnő. Ezután edzik és megeresztik. Jellemző fogaskerekekre, gömbfejekre, csapszegekre. A nitridálásnál a felületi réteget nitrogénnel dúsítják 500–550 °C-on, ammónia vagy plazma segítségével. A nitridált réteg rendkívül kemény, kopásálló, korrózióálló, és utólagos edzést nem igényel. Használják például főtengely-csapoknál, vezérműtengely-bütyköknél, injektorelemeknél.



8.2. ábra. A hőkezelések hőmérséklet–idő ciklusai az A1 és A3 hőmérséklethez viszonyítva (a fejezet tanulási hőmérsékletei, az idő sematikus)

Az ábrán jól látszik a lényegi különbség: a feszültségmentesítő és a gömbösítő izzítás az A1 alatt marad, a normalizálás, a lágyítás és az edzés az A3 fölé hevít, és csak a hűtés módjában (levegő, kemence, gyors hűtés) tér el; a megeresztés és a nemesítés második lépcsője edzett anyagon, A1 alatt történik, a betétedzés pedig hosszú karburálással kezdődik. A HTML-változatban eljárásonként a keletkező szövet és a főtengely gyártási láncának hőciklusa is megjeleníthető.

Öntöttvas hőkezelése. Az öntöttvas grafitot tartalmaz, ezért a hőkezelés céljai mások, mint az acélnál. A feszültségmentesítés csökkenti az öntési feszültséget. A lágyítás csökkenti a fehér, kemény kérget, javítja a megmunkálhatóságot. A nemesítés javítja a gömbgrafitos öntöttvas szilárdságát és szívósságát. Napjainkban elterjedt az ADI (ausztenitesített és izotermikusan edzett gömbgrafitos öntöttvas), amelyet nagy szilárdságú forgattyústengelyekhez, futómű- és hajtáslánc-alkatrészekhez használnak.

Ötvözők hatása. Az ötvözők befolyásolják az edzhetőséget, a szívósságot, a szilárdságot és a kritikus hűlési sebességet. A szén (C) az acél alapvető keménységét és edzhetőségét adja. A mangán (Mn) javítja az edzhetőséget, csökkenti a kritikus hűlési sebességet. A szilícium (Si) a folyáshatárt növeli, de a ridegséget is. A króm (Cr) ellenáll a kopásnak és javítja az edzhetőséget. A nikkel (Ni) növeli a szívósságot és a melegszilárdságot. A molibdén (Mo) a melegszilárdságot és a martenzites edzhetőséget javítja, a vanádium (V) finomszemcsés szerkezetet eredményez. A tömeggyártásban az ötvözők pontos aránya az anyagszabvány (pl. MSZ EN 10025, MSZ EN 10083 – ellenőrizendő) által rögzített.

8.1.5. Kidolgozott példák

Példa 1. Főtengely gyártási lánca.
Egy benzinmotor főtengelyét általában melegen süllyesztékes kovácsolással alakítják ki. A gyártási lánc lépései jellemzően: acél előgyártmány levágása, melegítés 1150–1250 °C-ra, előkovácsolás, készre kovácsolás, sorjázás, normalizálás (850–950 °C-ról levegőn hűtés) a szemnagyság finomítása

érdekében, előnagyolás forgácsolással, indukciós felületi edzés a főcsapokon és a hajtócsapokon, köszörülés, végül kiegyensúlyozás. A kész csapok felületi keménysége jellemzően 50–60 HRC tartományba eshet, míg a mag szívós és lágyabb (ellenőrizendő: gyártói adat). Ez a kombináció teszi a főtengelyt kopásállóvá a csapágyfelületeken, miközben a mag elviseli a dinamikus terhelést.

Példa 2. Betétedzett fogaskerék.
Egy kézi váltó kapcsolókereke nagy felületi nyomást és kopást szenved a kapcsolódó fogakon, de a kerékagyban csavarfuratokat is el kell viselnie. Ezért az alapanyag alacsony széntartalmú, jól megmunkálható acél. A gyártás során a fogaskereket előforgácsoljuk, majd betétedzést végzünk: széntartalmú közegben tartjuk, így a felületi réteg széntartalma megnő. Ezután edzés és alacsony vagy közepes megeresztés következik. A fogfelület keménysége így elérheti a 58–62 HRC-t, a rétegvastagság 0,3–0,8 mm is lehet, míg a mag szívós, 30–45 HRC körüli (ellenőrizendő: gyártói adat). A fogaskerék kopásállósága így jelentősen megnő, anélkül, hogy az egész anyag rideg lenne.

8.1.6. Minőségellenőrzés

A gyártásellenőrzés a szerelő számára is fontos, mert a felújított alkatrész minőségét csak akkor tudja megítélni, ha ismeri a szükséges méréseket. A hőkezelt darabokon a keménységet Rockwell (HRC), Vickers (HV) vagy Brinell (HBW) eljárással mérik. A felületi réteg vastagságát mikroszkópos csiszolaton vagy rétegmélység-mérővel vizsgálják. A szövetszerkezetet fémmikroszkóppal, a repedéseket mágneses vagy festékdiffúziós repedésvizsgálattal ellenőrzik. Gyártásközi ellenőrzésnél a hőmérsékletet kemencemérővel, a hűtési sebességet hőelemmel követik. **Szabály.** A gyártói javítási adat elsőbbsége érvényes a felújított alkatrészekre is: ha a motor főtengelyét köszörültetjük, a megengedett aláméretet és a felületi keménységkövetelményt a gyártói előírás szerint kell ellenőrizni (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

8.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy középkategóriájú autó motorjában a hengerfej tömítése rendszeresen elenged, és a hengerfej felületén hajszálrepedést találnak. A vizsgálat során kiderül, hogy a hengerfej alumíniumötvözet, amelyet kokillaöntéssel készítettek, és a repedés az öntési zárvány mentén alakult ki. Hogy a gyártó elvégezte-e az előírt hőkezelést, műhelyben nem állapítható meg; anyaghiba gyanújánál gyártói vizsgálatot kérünk. A műhely feladata a síkfelület-mérés vonalzóval és hézagmérővel, festékdiffúziós repedésvizsgálat, nyomáspróba, a túlmelegedés okának feltárása és a hengerfejcsavarok gyártói előírás szerinti cseréje (ellenőrizendő: gyártói adat). A mérési jegyzőkönyv és a gyártói anyagszabvány ellenőrzése után a döntés az alkatrész cseréje, mert hegesztéssel az öntött alumíniumjavítás ebben a zónában kockázatos. A tanulság: a gyártási eljárás és a hőkezelés ismerete nélkül nem lehet eldönteni, hogy egy hiba anyaghiba-e, vagy javítható-e, és a felújított alkatrész hőkezelési állapotát mindig dokumentálni kell.

8.1.8. Tipikus hibák

Hiba 1. „A kovácsolt mindig jobb, az öntött mindig rosszabb.”
Ez egyszerűsítés. A modern kokilla- vagy nyomásos öntési eljárások nagy szilárdságú, megbízható darabokat adnak; nem minden alkatrészt kovácsolnak, és a tömegcsökkentés miatt az öntött alumínium vagy magnézium előnyös lehet.

Hiba 2. A betétedzés és a felületi edzés összetévesztése.
A kérgesítés a felületi réteg kémiai összetételét is megváltoztatja (betétedzésnél szén, nitridálásnál

nitrogén diffundál be), míg a felületi edzés csak a meglévő anyag hőciklusával edzi a felszínt, kémiai változás nélkül.

Hiba 3. A megeresztés elhagyása edzés után.
Az edzés utáni rideg martenzit törékeny. Ha a szerelő vagy a felújító nem megereszti az edzett alkatrészt, a darab ütésre elpattanhat. A megeresztés elmaradása tipikus baleseti ok lehet a rugók és a hajtórudak esetében.

8.1.9. Önellenőrzés

1. Melyik eljárással készül jellemzően az alumínium dugattyú?
2. Mi a különbség a normalizálás és az edzés lehűlési sebessége között?
3. Miért kell megereszteni az edzett acélt?
4. Mit jelent a nitridálás a betétedzéshez képest?
5. Milyen előnye van a süllyesztékes kovácsolásnak a homoköntéssel szemben?

8.1.10. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel az öntészeti eljárásokat, és nevezz meg egy-egy járműipari alkatrészt az egyes eljárásokhoz.

2. feladat (A)
Mi a különbség a teljesen lágyító izzítás és a feszültségmentes izzítás között? Milyen hőmérséklet-tartományba esnek jellemzően?

3. feladat (B)
Egy főtengelyt süllyesztékes kovácsolással készítenek. Írd le a gyártási lépéseket a kovácsolástól a kész, edzett felületű alkatrészig, a hőkezelési lépéseket is beleértve.

4. feladat (B)
A táblázat alapján válaszd ki, melyik öntési eljárás a legalkalmasabb nagy sorozatú, vékony falú alumínium váltóház előállítására, és indokold.

5. feladat (C)
Egy betétedzett fogaskerék fogfelületén a keménység 61 HRC, a mag keménysége 35 HRC. Magyarázd el, miért nem lehet az egész fogaskereket edzéssel 61 HRC-re hozni, és miért előnyösebb a betétedzés.

6. feladat (D)
Egy használt főtengely csapjain a köszörülés során a felületi keménység a 20 HRC értéket sem éri el. A gyártói előírás szerint a minimális keménység 45 HRC kellene legyen. Milyen hibára következtetsz a gyártásban, és milyen következménye lehet a motornak?

8.1.11. Megoldások

8.1.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Az alumínium dugattyú jellemzően kokillaöntéssel vagy korszerű nagy sorozatnál nyomásos kokillaöntéssel készül.

2. A normalizálásnál a hűtés levegőn történik, tehát lassabb, mint az edzésnél, ahol gyors hűtőközeg (víz, olaj) éri a munkadarabot. A normalizálás finomszemcsés ferrit-perlites szövetet, az edzés martenzitet hoz létre.
3. Mert az edzés utáni martenzit rideg; a megeresztés csökkenti a belső feszültséget és ridegséget, így az anyag szívósabb lesz, a hőmérséklettől függően a keménység kismértékben csökkenhet.
4. A nitridálásnál nitrogén diffundál a felületbe alacsonyabb hőmérsékleten (500–550 °C), nem szükséges utólagos edzés; a betétedzésnél szén diffundál, és ezután edzés kell. A nitridált réteg nagyon kemény, kopás- és korrózióálló.
5. A süllyesztékes kovácsolás jobb szilárdsági és dinamikus tulajdonságot, valamint az erőfolyamhoz igazodó szálszerkezetet ad; a homoköntés olcsóbb, de porózusabb, kevésbé szilárd darabot eredményez.

8.1.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A)
- Homoköntés: hengerblokk, differenciálház.
- Precíziós öntés: turbófeltöltő-kerék, szelepvezető.
- Kokillaöntés: alumínium dugattyú, féknyereg.
- Nyomásos öntés: váltóház, motortartó konzol.
- Centrifugálöntés: persely, dugattyúgyűrű-alapanyag.

2. feladat (A)
A feszültségmentes izzításnál a hőmérséklet 550–650 °C körüli, az A1 átalakulási hőmérséklet alatt, célja a belső feszültségek csökkentése, szövetszerkezeti változás nélkül. A teljesen lágyító izzításnál ausztenitesítés (kb. 850–950 °C) után lassú kemencehűtés következik, így a lágy, jól forgácsolható szerkezet alakul ki. Az értékek irányadók, anyagfüggők (ellenőrizendő: anyagszabvány).

3. feladat (B)
Lépések: előgyártmány levágása → melegítés 1150–1250 °C-ra → előkovácsolás → készre kovácsolás süllyesztékben → sorjázás → normalizálás (ausztenitesítés levegőn hűtéssel) → előnagyolás forgácsolással → felületi edzés (pl. indukciós) a csapokon → megeresztés (ha az edzés után szükséges) → köszörülés → kiegyensúlyozás.

4. feladat (B)
A nyomásos öntés a legalkalmasabb, mert nagy sorozatban, vékony falú, pontos, nagy szilárdságú alumínium vagy magnézium alkatrészt ad; a váltóház bonyolult geometriájú, ezért a kokillaöntés vagy homoköntés kevésbé gazdaságos.

5. feladat (C)
Ha a teljes fogaskereket edzenénk, a mag is martenzites, rideg szerkezetű lenne, így az ütésszerű terheléskor törne. A betétedzéssel csak a felület széntartalma nő meg, edzés után kemény réteg jön létre, míg a mag alacsony széntartalmú marad, ezért szívós. Ez a kombináció a fogfelületen nagy kopásállóságot, a magban pedig ütésállóságot ad.

6. feladat (D)
A mérés arra utal, hogy a csapok felületi kérge lágy. Legvalószínűbb, hogy a köszörülés során eltávolították a csapok vékony edzett vagy nitridált rétegét (túl nagy aláméret), vagy a köszörülés túlhevítése megeresztette a felületet; ritkábban gyártási hiba (hiányos indukciós edzés). A gyártói előírás szerint ilyenkor újbóli felületkezelés (például nitridálás) szükséges, vagy a főtengelyt cserélni kell (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). A motorban a lágy csapok gyorsan kopnak, a csapágyhézag megnő, ami kopogó, olajnyomáseséssel járó üzemhez, végső soron főtengelycsapágy-tönkremenetelhez vezet.

8.1.12. Rövid összefoglaló

Az öntészet, a melegalakítás és a hőkezelés a járműalkatrészek alapvető gyártási technológiái. Az öntészeti eljárások közül a homok-, precíziós, kokilla-, nyomásos és centrifugálöntés különböző alkatrészekhez illik: a homoköntés nagy, bonyolult öntvényekhez, a nyomásos öntés vékony falú alumínium darabokhoz, a centrifugálöntés perselyekhez. A melegalakítás – különösen a süllyesztékes kovácsolás – szívós, szilárd alkatrészeket ad (főtengely, hajtórúd), mert a szálszerkezet az erőfolyamot követi. A hőkezelések célja a szilárdság, a szívósság és a kopásállóság szabályozása: a lágyítás megmunkálhatóságot javít, az edzés martenzitet hoz létre, a megeresztés szívóssá tesz, a nemesítés edzés + magas megeresztés. A felületi edzés és a kérgesítés (betétedzés, nitridálás) kopásálló felületet ad szívós maggal. **Továbbvitt eredmény.** A hőkezelések és a kérgesítő eljárások itt tanult céljait, hőmérséklet-tartományait és hatásait használjuk a Hidegalakítás és forgácsolás alfejezetben, amikor a megmunkálhatóság és a hidegalakítás anyagállapot-függését vizsgáljuk.

8.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) által átvett EN szabványok – például acélok jelölésére MSZ EN 10027, szerkezeti acélokra MSZ EN 10025, nemesíthető acélokra MSZ EN 10083, öntvények jelölésére EN 1560 (ellenőrizendő az aktuális szabványjelölés); gyártói javítási adatok és hőkezelési előírások. A fenti hőmérséklet- és keménységtartományok általánosan jellemző értékek, tanulási példák; a konkrét anyaghoz és alkatrészhez a gyártói adat és az anyagszabvány a mérvadó (ellenőrizendő). A járműipari alkatrészpéldák tájékoztató jellegűek, az aktuális gyártói technológia eltérhet.

8.2. Hidegalakítás és forgácsolás

8.2.1. Motiváció

A forgácsoló- és alakító műhelyben nemcsak gyártunk, hanem javítunk is: felújítunk kopott főtengelycsapot, felbővítjük a hengerfuratot, új hajlítási sugarat adunk egy fékcsőnek, vagy éppen kivágjuk a sérült karosszéria-lemezt. A hidegalakítás és a forgácsolás ismerete azért is fontos, mert a járműjavításban gyakran kell megbecsülni, hogy egy alkatrész hogyan készült, miért úgy kopik, és milyen eljárással állítható helyre úgy, hogy a tűrés, a felületi érdesség és az anyagszerkezet is megfelelő maradjon.

8.2.2. Szemléletes kép: kétféle anyagmegmunkálás

Képzelj el egy sík karosszéria-lemezt, amelyből ajtóbelsőt készítenek: a lemez alakot vált, de tömege nem csökken, forgács nem keletkezik. Ez a **hidegalakítás** lényege. Most nézd meg ugyanazt a lemezt, amikor lyukat fúrnak bele: a fúró éle benyomul, az anyag egy része leválik, és forgács formájában elhagyja a munkadarabot. Ez a **forgácsolás**. A két eljáráscsoport eltérő erőhatásokkal, hőfejlődéssel és pontossággal dolgozik, ezért a javítási technológia tervezésekor mindig tudni kell, melyikre van szükség.

8.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **hidegalakítás** (cold forming) olyan képlékeny alakító eljárás, amelynél az anyagot főleg a képlékenység tartományában, jellemzően szobahőmérsékleten vagy az átkristályosodási hőmérséklet alatt alakítjuk, anyagleválasztás nélkül. A fémeknél ilyenkor az anyag nem olvad, csak a szemcsék elnyíródnak és az alak megváltozik.

Definíció. A **forgácsolás** (machining) olyan anyagleválasztó megmunkálás, amelynél a szerszám éle az anyagot deformálja, elnyírja, és a fölös anyag **forgács** formájában leválik. A forgácsolás során a munkadarab és a szerszám között meghatározott mozgásokat hozunk létre: **főmozgást** (például a munkadarab forgása esztergáláskor) és **mellékmozgást** (például az előtolást).

A forgácsoló megmunkálás egyik legfontosabb mennyisége a **forgácsolósebesség** v_c, amely a szerszám és a munkadarab közötti főmozgás kerületi sebessége:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

ahol v_c a forgácsolósebesség (m/min), d a munkadarab vagy szerszám átmérője (mm), n a fordulatszám (1/min). Az átrendezett alak:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

Ezt használjuk például esztergálásnál és fúrásnál, amikor a gép fordulatszámát kell beállítani az ajánlott forgácsolósebességhez.

8.2.4. Hidegalakítás: vágás, hajlítás, mélyhúzás, zömítés, folyatás

A hidegalakítási eljárások közös előnye, hogy **anyagveszteség nélkül** dolgoznak, a szemcseszerkezetet az alakváltozás irányában rendezik, ezért gyakran jobb szilárdsági tulajdonságot adnak, mint a forgácsolás. A hidegalakított anyag az alakítási keményedés miatt szilárdabb, de ridegebb lesz (például az ismételten hajlított fékcső egy idő után elreped, ezért az újrahajlítás kerülendő). Hátrányuk, hogy nagy erő szükséges, és a túlzott alakváltozás repedéshez, szakadáshoz vezethet.

8.2.4.1. Lemezvágás: kivágás és lyukasztás

A lemezvágás a lemezt két vágóél között nyírja el. Amikor a leválasztott **munkadarab** a hasznos darab, kivágásról (blanking) beszélünk; amikor a **leválasztott rész a hulladék**, lyukasztásról (piercing). A tiszta, sorjamentes felület érdekében a vágórést a lemezvastagsághoz kell igazítani (jellemzően a lemezvastagság néhány százaléka – ellenőrizendő: anyag- és lemezvastagság-függő érték). A karosszériagyártásban a küszöb, a kerékjárati ív vagy az ajtópanelek kivágása, illetve a furatok lyukasztása is ilyen eljárással készül.

8.2.4.2. Hajlítás

A hajlítás során a lemezt vagy rudat egy hajlítóbélyeg és egy anyagágy segítségével hajlítjuk meg. A belső oldal nyomó-, a külső oldal húzófeszültséget kap. A **hajlítási sugár** nem lehet túl kicsi, különben a külső oldal megreped. A rugalmas tulajdonság miatt **visszarugózás** (springback) lép fel: a hajlítás után az anyag kissé visszanyílik, ezért a szerszámot nagyobb szögben kell zárni. A járműjavításban jellemző példa a fékcsövek és üzemanyagcsövek kézi vagy gépi hajlítása, a kipufogórendszer csöveinek hajlítása, valamint konzolok, tartólemezek hajlítása.

8.2.4.3. Mélyhúzás

A mélyhúzás (deep drawing) sík lemezből üreges, csésze alakú testet készít. A lemezt egy húzógyűrű és egy ráncgátló közé fogják, majd egy húzóbélyeg belenyomja az anyagot az üregbe. A karosszériában például ajtóbelsők, sárvédők, motorháztető-merevítők készülnek így. Mélyhúzásnál a legnagyobb veszély a **szakadás** és a **ráncosodás**, ezért a húzási viszonyt, a kenést és a ráncgátló erőt pontosan kell tartani.

8.2.4.4. Hidegzömítés és hidegfolyatás

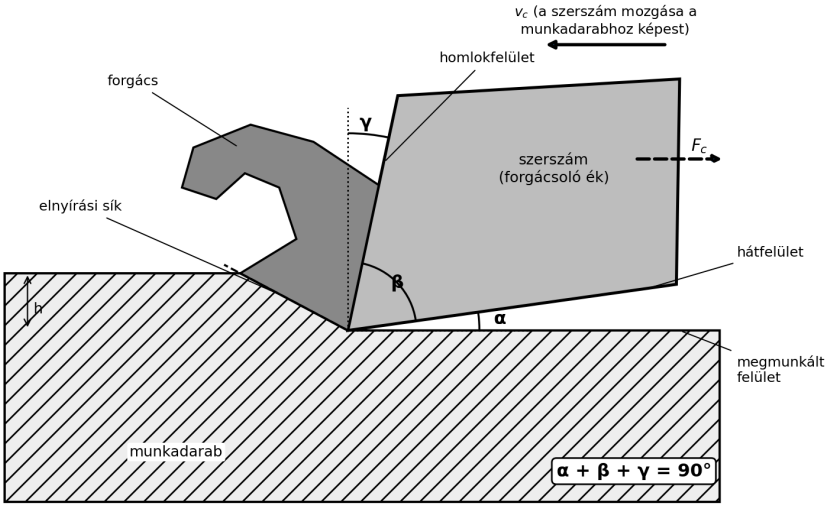
A **hidegzömítés** (upsetting) a rúdanyag végét tengelyirányban összenyomva vastagabb fejet képez. Így készül a csavarfej, a szegecsfej vagy a csapszegfej. A **hidegfolyatás** (extrusion) rúdanyagból csésze vagy tengely alakot hoz létre úgy, hogy az anyagot egy szerszámon átpréselik. A járműiparban így készülnek például csapszegek, tengelyek, üreges hidraulikus elemek. Ezeket az alkatrészeket a szerelő nem gyártja, de a javítás során találkozhat velük cserealkatrészként, és a gyártási nyomokból következtethet arra, hogy hidegalakítású alkatrészről van szó.

8.2.5. A forgácsolás elmélete

A forgácsolás során a szerszám élgeometriája meghatározza, hogyan válik le a forgács. A szerszám éle előtt az anyag először rugalmasan, majd képlékenyen deformálódik, végül az elnyíródási zónában leválik. A forgács alakja lehet **folyamatos**, **torzult** vagy **töredezett** attól függően, hogy milyen az anyag, a sebesség, a fogásmélység és a hűtés. A folyamatos forgácsnál a leválasztott anyag hosszú szalagként jön le, ami veszélyes is lehet, ezért gyakran forgácstörő élt alkalmaznak.

Élgeometria. A forgácsoló ék legfontosabb szögei:

- **homlokszög** (rake angle): a szerszám homlokfelülete és a megmunkált felületre merőleges sík közötti szög; nagyobb homlokszög kisebb forgácsolási erőt, de gyengébb élet ad;
- **hátszög** (clearance angle): a hátfelület és a megmunkált felület közötti szög; megakadályozza, hogy a szerszám dörzsölődjön;
- **ékszög**: a homlok- és hátfelület közötti szög; az él szilárdságát adja.



Ortogonális metszet; szemléltető szögek (α = 8°, γ = 12°, β = 70°). F_c: főforgácsolóerő a szerszámon, v_c-vel ellentétes; h: leválasztott réteg vastagsága.

8.3. ábra. A forgácsoló ék szögei és a forgácsleválás ortogonális metszetben (szemléltető szögek)

Az ábrán a hátszög (α) a hátfelület és a megmunkált felület, az ékszög (β) a homlok- és a hátfelület, a homlokszög (γ) a homlokfelület és a megmunkált felületre merőleges sík között van, ezért $\alpha + \beta + \gamma = 90°$. A forgács az elnyírási síkon válik le és a homlokfelületen fut le. A HTML-változatban a szögek csúszkával változtathatók, és a lent kidolgozott fordulatszám-számítás kalkulátorral gyakorolható.

A forgácsolóerők közül a legnagyobb a **főforgácsolóerő** F_c, amely a főmozgás irányába hat. Emellett előtolásirányú és fogásirányú erők is fellépnek. A forgácsolási teljesítmény közelítő összefüggése:

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

ahol P_c a forgácsolási teljesítmény, F_c a főforgácsolóerő, v_c a forgácsolósebesség. A gyakorlatban a gép teljesítményét a várható anyagleválasztási sebesség és a nyomaték alapján választjuk meg.

A forgácsolás hőt termel, mert az anyag deformációja és a szerszám súrlódása hővé alakul. A hő a szerszám élére jut, ezért **hűtő-kenőanyagot** (vágóolaj, emulzió) használunk. A hűtés nélküli forgácsolás gyors élkopáshoz, méretváltozáshoz és felületi hibákhoz vezet.

Szerszámkopás. A forgácsoló élen jellemzően **hátkopás**, **kráterkopás** és **élcsorbulás** jelentkezik. A kopás növekedésével a felületi érdesség és a méretpontosság romlik. Az **éltartam** az az idő vagy út, amíg a szerszám eléri a megengedett kopási határt; az éltartamot elsősorban a forgácsolósebesség befolyásolja – nagyobb sebesség rövidebb éltartamot jelent.

8.2.6. Forgácsoló eljárások és járműjavítási vonatkozásuk

8.2.6.1. Esztergálás

Az **esztergálás** (turning) során a munkadarab forog, a szerszám pedig hossz- vagy keresztszánon haladva fog egy vagy több irányban. Az esztergagépen készülnek külső hengerfelületek, homlokfelületek, beszúrások, kúpok és menetek. A járműjavításban jellemző példa a **fékdob** vagy

féktárcsa felületének esztergálása kopás után, a **generátor- vagy indítómotor-kollektor** esztergálása, valamint kisebb tengelyek, perselyek megmunkálása.

8.2.6.2. Fúrás

A **fúrás** (drilling) forgó szerszámmal, csigafúróval készít belső hengeres furatot tömör anyagba. A fúrás sebességét a fúró kerületi sebessége adja. A járműjavításban elengedhetetlen: furatkészítés csavarokhoz, menetfúráshoz, szakadt csavar kifúrása, csapágyak és perselyek leszedése után a furat ellenőrzése. A fúrógépen a munkadarabot mindig szorosan be kell fogni, kézzel stabilan tartani tilos.

8.2.6.3. Marás

A **marás** (milling) többélű forgó szerszámmal, maróval dolgozik. A maró egyaránt végezhet fő- és mellékmozgást; készíthet síkfelületet, hornyot, zsebet, lépcsőt. A járműiparban marják például a vezérlőhornyokat, ékszíjhornyokat, de a javítás során ritkább, inkább hengerfej- és egyéb felületek megmunkálásánál találkozunk vele.

8.2.6.4. Gyalulás, üregelés

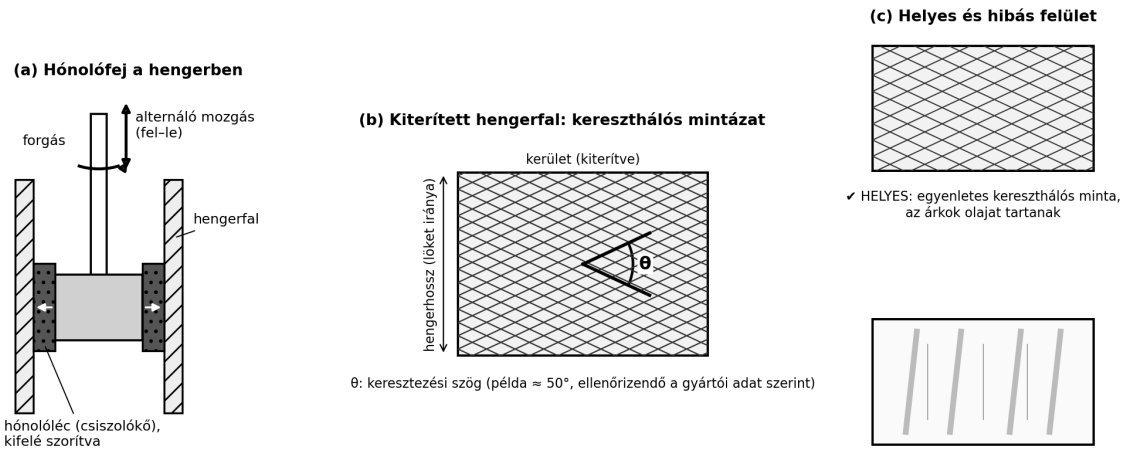
A **gyalulás** egyenes vonalú főmozgással, szakaszos előtolással dolgozik. A járműjavításban ma már kevésbé jellemző, elsősorban nagyméretű sík felületek készítésére használják. Az **üregelés** belső alakzatok készítésére való, például reteszhornyok, fogaskerék-alakok előgyártmányainak megmunkálására.

8.2.6.5. Köszörülés

A **köszörülés** (grinding) finom csiszolószemcséket tartalmazó köszörűkoronggal végzi az anyagleválasztást. Mivel egy-egy szemcse nagyon kis forgácsot vesz le, a köszörülés nagy pontosságot, jó felületi érdességet és pontosan meghatározott méretet eredményez. A járműjavításban a **főtengely csapjainak** és a **vezérműtengely csapjainak** köszörülése gyakori felújítási művelet. A kopott csapot a következő alulméretre köszörülik, majd ehhez illesztett csapágyhéjat szerelnek be.

8.2.6.6. Hónolás

A **hónolás** (honing) finom felületmegmunkáló eljárás, amely a hengerfuratban keresztben elhelyezkedő csiszolókövekkel dolgozik. A hónolás a furat méretét pontosítja, és jellegzetes kereszthálós felületet képez, amely a dugattyúgyűrűk kenését segíti. A motorfelújítás során a **hengerfurat** hónolása elengedhetetlen a furatfelújítás vagy a dugattyúcsere után.



8.4. ábra. Hónolófej a hengerben, a kiterített hengerfal kereszthálós mintázata, valamint helyes és hibás (üvegesedett) felület (sematikus rajz)

A hónolófej lécei a falhoz szorulnak, a fej egyszerre forog és fel-le mozog; ebből a két mozgásból alakul ki a keresztező karcok hálója. A helyes felületen egyenletes a kereszthálós minta, a tükrös, „üvegesedett” falon nincs olajmegtartó barázda.

8.2.6.7. Menetmegmunkálás és fogazás

A **menetmegmunkálás** lehet esztergálásos, fúrásos (menetfúró), marásos vagy képlékeny (menethengerelés). A járműjavításban leggyakoribb a **menetfúróval** és **metszővel** végzett menetkészítés, illetve a letört vagy rozsdás menet felújítása. A **fogazás** fogaskerekek, fogaskerékpárok gyártására szolgál, lefejtő marással, gyalulással, üregeléssel vagy köszörüléssel. A járműszerelő ritkán készít fogaskereket, de a hajtóműolaj cseréjénél fontos, hogy felismerje a fogaskerék sérülését, fogtőrepedését.

8.2.6.8. Különleges eljárások

A **szikraforgácsolás** (elektroerózió) a szerszám és a vezetőképes munkadarab közötti szikrakisülésekkel választ le anyagot, ezért keményített anyagot is megmunkál; a javításban például letört menetfúró vagy csavar kimunkálására használják. A **lézervágás** pontos vágást ad kis hőhatásövezettel, főként a karosszériaelemek gyártásában jellemző. A **plazmavágás** vastagabb lemez gyors vágására alkalmas, a karosszériajavításban bontásra is használják. A hőt és fényt keltő eljárásoknál szemvédő (a gyártó által előírt szűrőfokozattal), bőrvédelem, elszívás és tűzvédelem kötelező, az üzemanyag- és légzsák-rendszer közelében, illetve a nagyfeszültségű rendszeren tilos dolgozni (ellenőrizendő: gyártói utasítás, munkavédelmi előírás).

8.2.7. Számítási példák: forgácsolósebesség és fordulatszám

A fordulatszám beállítása előtt mindig a **szerszámgyártó által ajánlott forgácsolósebességet** keressük az anyaghoz és a szerszámhoz. A következő táblázat irányértékeket ad, de ezek tanulási példák, nem helyettesítik a gyártói adatot.

Művelet / anyag	Szerszám	Irányérték v_c (m/min)
Acél esztergálása	keményfém	120–250
Öntöttvas esztergálása	keményfém	80–140
Alumínium esztergálása	keményfém/gyémánt	200–600
Acél fúrása	gyorsacél (HSS) fúró	25–35
Alumínium fúrása	HSS fúró	80–150

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: szerszám- és anyaggyártói adat).

Számítás. Esztergáljunk egy $d = 50\,\text{mm}$ átmérőjű acéltengelyt keményfém lapkával, ha az ajánlott forgácsolósebesség $v_c = 150\,\text{m/min}$. Mekkora fordulatszámot állítsunk be?

Adott: $d = 50\,\text{mm}$, $v_c = 150\,\text{m/min}$.
Keresett: n.
Képlet:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

Behelyettesítés:

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 50} = \frac{150\,000}{157{,}08} \approx 955\,1/\text{min}$$

Eredmény: kb. $955\,1/\text{min}$. Ellenőrzés: $v_c = \pi \cdot 50 \cdot 955/1000 \approx 150\,\text{m/min}$. ∎

Számítás. Fúrjunk $d = 8\,\text{mm}$ átmérőjű furatot acélba HSS fúróval, ha a gyártó $v_c = 25\,\text{m/min}$ sebességet ajánl.

Adott: $d = 8\,\text{mm}$, $v_c = 25\,\text{m/min}$.
Keresett: n.

$$n = \frac{25 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = \frac{25\,000}{25{,}133} \approx 995\,1/\text{min}$$

Eredmény: kb. $995\,1/\text{min}$. Ellenőrzés: $v_c = \pi \cdot 8 \cdot 995/1000 \approx 25\,\text{m/min}$. ∎

Számítás. Köszörűkorong esetén a kerületi sebességet gyakran m/s-ban adják meg. Ha egy $d = 200\,\text{mm}$ átmérőjű korong kerületi sebessége $v_c = 30\,\text{m/s}$, mekkora fordulatszámot kell beállítani?

A m/s-os összefüggés:

$$n = \frac{v_c \cdot 60\,000}{\pi \cdot d}$$

Behelyettesítve:

$$n = \frac{30 \cdot 60\,000}{\pi \cdot 200} = \frac{1\,800\,000}{628{,}32} \approx 2\,865\,1/\text{min}$$

Eredmény: kb. $2\,865\,1/\text{min}$. Ellenőrzés: $\pi \cdot 200 \cdot 2865/60\,000 \approx 30\,\text{m/s}$. ∎

Biztonsági korlát. A számított fordulatszám nem lehet nagyobb a korongon jelölt legnagyobb megengedett fordulatszámnál (illetve a kerületi sebesség a jelölt m/s értéknél); kisebb átmérőjű vagy alacsonyabb megengedett fordulatszámú korong nem szerelhető nagyobb fordulatú gépre. A korongot felszerelés előtt szemrevételezéssel és hangpróbával ellenőrizzük, védőburkolat és szem-/arcvédő használata kötelező (ellenőrizendő: gyártói utasítás, munkavédelmi előírás). A korongtörés súlyos sérülést okozhat.

8.2.8. Minőségellenőrzés a forgácsolásnál

A forgácsolás minőségét a **méretek**, a **formai tűrések** és a **felületi érdesség** alapján ellenőrizzük. Az esztergált csapot tolómérővel, mikrométerrel, furatot tolómérővel vagy furatmérővel mérjük. A felületi érdesség meghatározásához rajzon előírt Ra értéket és érdességmérő etalont használunk. A szemrevételezés során a **forgácsolási nyomok** (barázdák, besimítások, rezgésnyomok) is sokat elárulnak a szerszámkopásról vagy a helytelen befogásról.

Ellenőrzőlista egy esztergált alkatrész átvételéhez:

1. A munkadarab szorosan legyen befogva, a tokmánykulcs nincs a tokmányban.
2. A gép védőburkolata, forgács- és csepegésvédelme a helyén van.
3. A szerszám éle nem csorbult, a hűtő-kenőanyag folyamatosan érkezik.
4. A méret az előírt tűrésen belül van (például $50 \pm 0{,}05\,\mathrm{mm}$ – ellenőrizendő: rajz/gyártói adat).
5. A felületi érdesség szemrevételezéssel és etalonnal egyenletes, nincs rezgésnyom.

8.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi személyautó motorja olajfogyasztást mutatott, és a hengerfal méréséből kiderült, hogy a furat kopása meghaladta a megengedett értéket. A műhely a **hengerfurat felújítása** mellett döntött. A furatot először hengerfuratoló géppel két lépésben felbővítették a következő javítási méretre, majd hónolóval alakították ki a végleges méretet és a felületi hálózatot. A folyamat közben ellenőrizték a furat alaktűrését, a dugattyúhézagot és a felületi érdességet. A hónolás után a furat megfelelő olajtartó képességgel rendelkezett, így az új dugattyú és gyűrűk hosszabb élettartammal dolgoztak. A munka során gondoskodtak a hűtő-kenőanyag gyűjtéséről, a fémforgács szelektív tárolásáról, és a méréseket dokumentálták. Ez az eset jól mutatja, hogy a **furatolás–hónolás** technológia a járműjavításban nemcsak gyártási, hanem felújítási lépés is.

8.2.10. Tipikus hibák

1. **Rossz fordulatszám beállítása.** A túl magas fordulatszám gyors szerszámkopást, a túl alacsony gyenge felületet és erőhatást okoz – mindig a gyártói v_c értékből számoljunk.
2. **A munkadarab kézzel tartása fúrásnál vagy esztergálásnál.** Ha a fúró beszorul, a munkadarab elrántja a kezet. A munkadarabot satuba vagy tokmányba kell fogni.
3. **Hűtő-kenőanyag elhagyása.** A forgács és a szerszám túlmelegszik, az alkatrész mérete megváltozik, a szerszám él gyorsan kopik.
4. **Túl kis hajlítási sugár vagy nem számolt visszarugózás.** A lemez megreped, vagy a kész munkadarab szöge nem megfelelő.
5. **Köszörűkorong használata repedésgyanúval vagy védőburkolat nélkül.** A korong szétrepülhet, és súlyos sérülést okoz.

8.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A hidegalakítás anyagleválasztással jár.
2. Mi a különbség a kivágás és a lyukasztás között a lemezvágásnál?
3. Számítsd ki a fordulatszámot, ha esztergálásnál $d = 40\,\text{mm}$, és az ajánlott $v_c = 120\,\text{m/min}$.
4. Miért fontos a hűtő-kenőanyag a forgácsolásnál?
5. Melyik eljárást választanád kopott hengerfurat felújításánál: esztergálást, fúrást, hónolást vagy mélyhúzást?

A válaszok a Megoldások szakasz elején találhatók.

8.2.12. Feladatok

1. feladat (A)
Nevezd meg, melyik eljárásra ismersz a leírásból: “sík lemezből üreges, csésze alakú testet készítünk”.

2. feladat (A)
Számítsd ki az esztergáláshoz szükséges fordulatszámot, ha a munkadarab átmérője $d = 80\,\text{mm}$, a megengedett forgácsolósebesség $v_c = 200\,\text{m/min}$.

3. feladat (B)
Fúráshoz 10 mm átmérőjű HSS fúrót használunk. Az anyag acél, az ajánlott $v_c = 30\,\text{m/min}$. Számítsd ki a fordulatszámot, majd ellenőrizd az eredményt a forgácsolósebesség képletébe visszahelyettesítve.

4. feladat (B)
Rakd sorrendbe a hengerfurat felújításának technológiai lépéseit:
a) hónolás
b) mérés és gyártói adat ellenőrzése
c) furatolás a javítási méretre
d) tisztítás, ellenőrzés, dugattyú illesztése

5. feladat (C)
Magyarázd meg, miért nem ajánlott a köszörülést hűtő-kenőanyag nélkül végezni, és miért fontos a köszörűkorong védőburkolata. Hozd összefüggésbe a hőfejlődéssel és a szerszámkopással.

6. feladat (D)
Egy szerelő esztergált fékdobot szeretne felújítani. A fékdob átmérője $d = 250\,\text{mm}$, a maximális megengedett javító méret 251 mm (például). A szerelő az első fogásnál 2 mm-t akar leszedni átmérőre, hogy egy fogással végezzen. Mi a hiba ebben a munkatervben? Mit kellene tennie a fogásmélység megválasztásakor, és miért?

8.2.13. Megoldások

8.2.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A hidegalakítás anyagleválasztás nélküli, képlékeny alakítás.
2. Kivágásnál a leválasztott lemezdarab a hasznos munkadarab, lyukasztásnál a leválasztott darab a hulladék.
3. $n = v_c \cdot 1000/(\pi d) = 120\,000/(\pi \cdot 40) \approx 955\,1/\text{min}$.
4. A hűtő-kenőanyag csökkenti a hőterhelést, a súrlódást és a szerszámkopást, javítja a felületminőséget.

5. Hónolást (furatolást követően), mert a hónolás ad pontos furatméretet és olajtartó felületet.

8.2.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
Mélyhúzás.

2. feladat
$n = 200 \cdot 1000/(\pi \cdot 80) = 200\,000/251{,}33 \approx 796\,1/\text{min}$.

3. feladat
$n = 30 \cdot 1000/(\pi \cdot 10) = 30\,000/31{,}416 \approx 954{,}9 \approx 955\,1/\text{min}$.
Ellenőrzés: $v_c = \pi \cdot 10 \cdot 955/1000 \approx 30\,\text{m/min}$, tehát helyes.

4. feladat
Helyes sorrend: b) mérés és gyártói adat ellenőrzése → c) furatolás a javítási méretre → a) hónolás → d) tisztítás, ellenőrzés, dugattyú illesztése.

5. feladat
A köszörülés nagyon nagy hőt termel, mert sok apró szemcse egyszerre dolgozik; hűtő-kenőanyag nélkül a felület megéghet, edzett alkatrésznél lágyulhat, a korong és a munkadarab túlmelegedhet. A védőburkolat arra való, hogy a nagy kerületi sebességű korong esetleges törésekor a szétrepülő darabokat felfogja, és a keletkező szikrákat, port a lehető legkisebb térre korlátozza. A biztonsági szabályok szerint védőburkolat nélkül köszörülni tilos.

6. feladat
A fő hiba: $250 + 2 = 252\,\text{mm}$, ami meghaladja a megengedett 251 mm-es maximális javítóméretet; a fékdob ezzel selejt, biztonsági okból tilos beépíteni. A megmunkálás előtt meg kell mérni a dob tényleges átmérőjét és a kopás/beütések mélységét; ha a sérülés eltávolítása a javítóméreten belül nem lehetséges, a dobot tengelyenként párban cserélni kell (ellenőrizendő: gyártói előírás). A másodlagos hiba az egyetlen, nagy fogásmélység: túlterheli a szerszámot, rezgést, rossz felületet és méretpontatlanságot okoz. A fogásmélységet kisebb lépésekre kell osztani, például 0,3–0,5 mm fogásonként (ellenőrizendő: szerszám- és gépgyártói adat), közben mérni kell az átmérőt, és a végső méretet finom fogással kell elérni. A fékdob javításánál mindig a gyártó által megadott max. javító méretet kell figyelembe venni.

8.2.14. Rövid összefoglaló

A hidegalakítás anyagleválasztás nélkül, képlékeny alakítással készít munkadarabot. A járműiparban a lemezvágás, hajlítás, mélyhúzás, hidegzömítés és hidegfolyatás a leggyakoribb; a javítás során főként hajlított csövekkel és hidegalakított cserealkatrészekkel találkozunk. A forgácsolás ezzel szemben anyagleválasztással dolgozik, a fölös anyagot forgácsként eltávolítja. A forgácsolás alapmennyisége a forgácsolósebesség: $v_c = \pi d n/1000$ (m/min), amiből a fordulatszám $n = v_c \cdot 1000/(\pi d)$ (1/min). Az eljárások közül az esztergálás, fúrás, marás, gyalulás, üregelés, köszörülés, hónolás, menetmegmunkálás és fogazás a fő csoport; járműjavítási szempontból kiemelkedik a főtengely-köszörülés és a hengerfurat hónolás. A különleges eljárások (szikraforgácsolás, lézer- és plazmavágás) elsősorban nehezen megmunkálható anyagoknál és sérült csavarok eltávolításánál hasznosak.

Továbbvitt eredmény. A forgácsolás és a hidegalakítás során megismert anyagkezelési, hőfejlődési és felületi tulajdonságok alapul szolgálnak a Kötések: hegesztés, forrasztás és ragasztás alfejezethez: a hegesztés hőhatásövezete, a forrasztás felület-előkészítése és a ragasztás érdességigénye csak akkor érthető, ha tudjuk, hogyan változik az anyag és a felület a megmunkáláskor.

8.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a fizikai, anyagtechnológiai és forgácsolástechnikai alapokra épül. A megadott v_c irányértékek, fogásmélységek, hajlítási sugarak és javító méretek **tanulási példák**, nem gyártói ajánlások. A szerszám- és gépgyártói adatok, a konkrét anyagokhoz tartozó forgácsolósebességek, valamint a javításhoz megengedett méretek minden esetben ellenőrizendők a gyártói dokumentáció és a hatályos műszaki előírások alapján. A szabványok közül a felületi érdesség és a rajzi jelképek az MSZ EN ISO szabványok szerint értelmezhetők (ellenőrizendő: a hatályos szabványkiadás).

8.3. Kötések: hegesztés, forrasztás és ragasztás

8.3.1. Motiváció

A járműjavító műhelyben gyakran találkozunk olyan sérüléssel, amelyet nem lehet csavarozással, szegecseléssel vagy egyszerű idomcserével megoldani. Kilyukadt a kipufogódob, korrodált a küszöb, meghajlott a segédkeret, elrepedt egy alumínium hűtőcső, vagy éppen egy műanyag lökhárítót kell javítani. Ilyenkor hegesztésre, forrasztásra vagy ragasztásra van szükség. A három eljárás közötti választás szakmailag meghatározó: rossz anyagpár, rossz hőbevitel vagy rossz előkészítés esetén a kötés repedni fog, a javítás nem lesz tartós, sőt a jármű elektronikája is károsodhat. Ebben az alfejezetben először a kötési eljárások alapelveit, majd az egyes hegesztő- és forrasztási technológiákat, végül a járművön végzett munka biztonsági és korrózióvédelmi kérdéseit tanuljuk meg.

8.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy karosszéria-javító műhelyrészt: az egyik munkaálláson egy sérült ajtólemez van rögzítve, és a szerelő éppen ellenállás-ponthegesztővel fogat össze két acéllemezt. A ponthegesztő fogójának két rézelektródája erősen összeszorítja a lemezeket, majd egy rövid, nagy áramerősségű impulzus hatására a lemezek között helyi ömledék képződik; az elektródák felnyitása után apró, kör alakú varratpont marad. A másik munkaálláson MIG/MAG hegesztővel kipufogót javítanak: a fogyóelektróda huzalát egyenletesen adagolja a gép, a védőgáz-fúvóka körül pedig enyhén sistergő ív látható, amely élénk fénnyel és fröcskölés nélküli varratképpel dolgozik. Az ilyen műhelykép segít megérteni, miért van szükség az eljárások pontos ismeretére.

8.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **hegesztés** olyan anyagzáró kötési eljárás, amelynél az összekötendő darabokat hővel, nyomással vagy mindkettővel egyesítjük. Ömlesztő hegesztésnél az alapanyag és a hozaganyag megolvad, majd újra megszilárdul; sajtoló hegesztésnél az anyagok képlékeny állapotban, nyomás alatt kötnek össze. A kötés általában nem oldható, és szükség szerint hozaganyagot, védőgázt vagy bevonatot alkalmazunk.

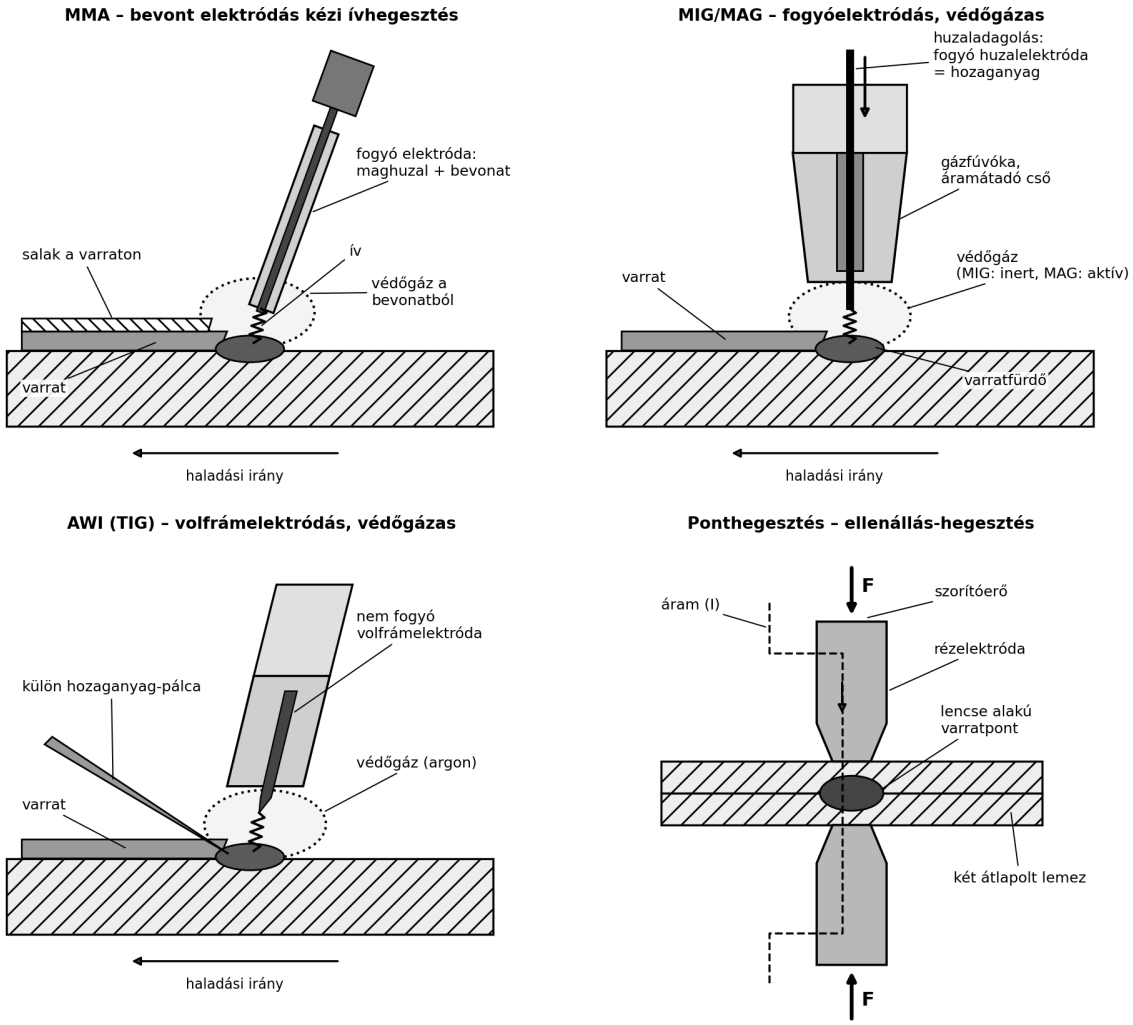
Definíció. A **forrasztás** olyan kötési eljárás, amelynél az alapanyag nem olvad meg. A két felületet egy alacsonyabb olvadáspontú fémötvözet, a forrasz kapcsolja össze, amely a résbe kapilláris erővel behatol, majd megszilárdul. Lágyforrasztásnál a forrasz olvadáspontja 450 °C alatt, keményforrasztásnál 450 °C felett van.

Definíció. A **ragasztás** nemfémes anyag, általában polimer ragasztó segítségével hoz létre kötést. A szilárdság az adhézióból (a ragasztó és a felület közötti tapadásból) és a kohézióból (a ragasztóréteg belső szilárdságából) származik.

Definíció. A **hegeszthetőség** annak a képessége, hogy egy anyag adott hegesztőeljárással, megfelelő előkészítés és technológiai paraméterek mellett repedésmentes, terhelhető kötést adjon. Acéloknál a széntartalom és az ötvözők (karbon-egyenérték) növekedése rontja a hegeszthetőséget; emellett a kén- és foszfortartalom, a szemcseszerkezet és a lemezvastagság is szerepet játszik (ellenőrizendő: anyagbizonyítvány és gyártói hegesztési utasítás).

Összefüggés. A kötési eljárás kiválasztásának sorrendje:
anyagpár → terhelés és üzemi hőmérséklet → elérhető hegesztő/forrasztó/ragasztó eljárás → előkészítési és utómunkálati lehetőségek → korrózióvédelem és biztonság.
Ugyanezt a kiválasztási logikát használjuk később a Felújítási technológiák alfejezetben, és a tanműhelyi kötéskészítés során a Kötések készítése és oldása alfejezetben.

8.3.4. Hegesztő eljárások



Pontozott körvonal: védőgáz; ferde sraffozás: alapanyag; fordított sraffozás: salak; sötét: varratfürdő, varratpont. Sematikus, nem méretarányos.

8.5. ábra. A négy fő hegesztő eljárás működési elve metszetvázlaton: MMA, MIG/MAG, AWI (TIG) és ponthegesztés (sematikus rajz)

Az ábra négy panelje azt mutatja, honnan jön a hozaganyag és a védelem: az MMA-nál a bevont elektródából (gáz és salak), a MIG/MAG-nál a folyamatosan adagolt huzalból és a fúvóka védőgázából, az AWI-nál külön pálcából, nem fogyó volfrámelektróda és argon mellett;

a ponthegesztés hozaganyag nélkül, árammal és szorítóerővel köt. Az eljárásokat az alábbi szakaszok részletezik.

8.3.4.1. Bevont elektródás ívhegesztés

A bevont elektródás kézi ívhegesztés (MMA, régebbi nevén kézi ívhegesztés) a legegyszerűbb és legrégebbi ívhegesztő eljárás. A hegesztő elektróda egy fém magból és egy vastag bevonatból áll. Az ív hőjének hatására a mag megolvad, és cseppek formájában átmegy a varratfürdőbe; a bevonatból védőgáz és salak képződik, amely megvédi az olvadt fémet a levegő oxigénjétől és nitrogénjétől. A salak később lehűlve ráfagy a varratra, és el kell távolítani.

Az eljárás előnye az egyszerű, robusztus berendezés, a kültéri használhatóság és az, hogy sokféle anyaghoz (acél, öntöttvas, korrózióálló acél) kapható elektróda. Hátránya a viszonylag durva varratkép, a lassú haladás, valamint a vékony lemezek (kb. 1,5 mm alatt, ellenőrizendő: gyártói adat) hegesztésének nehézsége. Járműjavításban régebbi vázszerkezetek, kipufogók és mezőgazdasági gépek javításánál találkozunk vele, korszerű önhordó karosszériánál ritkábban.

8.3.4.2. MIG/MAG hegesztés

A MIG/MAG (fogyóelektródás, védőgázas ívhegesztés) a modern járműjavítás egyik legelterjedtebb eljárása. A hegesztőhuzalt egy adagoló motor állandó sebességgel továbbítja a hegesztőpisztolyba; a huzal és a munkadarab között ív ég, a huzal folyamatosan leolvad, és hozaganyagként szerepel. A varratfürdőt védőgáz oltalmazza. Ha a védőgáz inert gáz (argon vagy hélium), akkor MIG-eljárásról beszélünk; ha aktív gáz (CO_2 vagy argon–CO_2 keverék), akkor MAG-eljárásról. Acélokhoz általában MAG, alumíniumhoz MIG használatos.

A MIG/MAG előnye a nagy termelékenység, a jó varratminőség, a viszonylag egyszerű géphasználat és az automatizálhatóság. Hátránya, hogy a védőgázt a huzathoz és az anyaghoz kell illeszteni, huzalelőtolási zavarok esetén fröcskölés és instabil ív keletkezik, és szélben a védőgáz elfújódhat. Járműjavításban karosszériaelemek, kipufogók, segédkeretek és tartóelemek hegesztésére alkalmazzák.

8.3.4.3. AWI (TIG) hegesztés

Az AWI (volfram elektródás, védőgázas ívhegesztés), más néven TIG-eljárás, nem fogyó volfrámelektródát használ. Az ív a volfrámelektróda és a munkadarab között ég, argon védőgáz alatt. A hozaganyagot külön pálcaként, kézzel vagy géppel adagoljuk a varratfürdőbe. Mivel az elektróda nem olvad le, a varratfürdőt pontosan lehet irányítani, és a hőbevitel nagyon jól szabályozható.

A TIG-eljárás kiválóan alkalmas vékony lemezek, rozsdamentes acél, alumínium és réz hegesztésére. Hátránya a lassúság, a nagy kézügyességi igény és a magasabb berendezésköltség. Alumínium hegesztésénél váltakozó áramot használnak, mert az oxidréteget a pozitív félhullám bontja, a negatív félhullám pedig beolvaszt (ellenőrizendő: hegesztőgép-gyártó beállítási táblázata). A járműjavításban hűtők, csővezetékek, vékony acél és alumínium elemek precíziós javításánál van jelentősége.

8.3.4.4. Lánghegesztés és lángvágás

A lánghegesztés acetilén–oxigén gázkeverék égéséből nyert lánggal olvasztja meg az alapanyagot és a hozaganyagot. A láng hőmérséklete és jellege (semleges, redukáló, oxidáló) az oxigén-acetilén aránytól függ. Az eljárás olcsó, mobil, és jól szabályozható hőbevitelű, de lassú, nagy gyakorlatot igényel, és vékony lemezeknél vetemedést okozhat. Régi karosszéria- és csőjavításnál, vékony acéllemez és réz hegesztésénél találkozunk vele.

A **lángvágás** nem kötési, hanem anyagleválasztási eljárás: a munkadarabot acetilén–oxigén lánggal előmelegítik, majd oxigénsugárral a vasat elégetik, és a salakot kifújják. Csak olyan anyagok vághatók így, amelyek oxidjának olvadáspontja alacsonyabb az alapanyagénál (elsősorban ötvözetlen acél). Alumínium, rozsdamentes acél lángvágása nem megoldható.

8.3.4.5. Ellenállás-hegesztés

Az ellenállás-hegesztés sajtoló eljárás: a munkadarabokat két elektróda közé fogják, majd nagy áramerősségű, rövid idejű áramimpulzust vezetnek át rajtuk. A Joule-hő az érintkezési ellenálláson megolvasztja a fémet, a mechanikai nyomás pedig összesajtolja. A legismertebb fajtája a **ponthegesztés**, amelyet a járműgyártásban és a karosszériajavításban használnak. A ponthegesztéshez speciális fogó vagy állványos gép, réz elektródák és megfelelő nyomás szükséges. A varratpontok száma, átmérője és helye a gyártói javítási utasítás szerint kötött (ellenőrizendő: gyártói karosszéria-javítási adat).

További ellenállás-hegesztő változatok: - **Vonalhegesztés**: görgős elektródák között folyamatos varrat keletkezik, például tartályoknál. - **Dudorhegesztés**: az egyik darabon előre kialakított dudorra koncentrálódik az áram, így több pont hegeszthető egyszerre. - **Tompahegesztés**: a munkadarabokat teljes keresztmetszetükön összenyomva hegesztik; például fémrudak, kerekek illesztésénél.

8.3.4.6. Egyéb ömlesztő eljárások

A plazmahegesztés az AWI-hez hasonló volfrámelektródát használ, de az ívet egy szűk fúvókán keresztül ionizált gázsugárba (plazmába) kényszeríti. A plazma nagyon magas hőmérsékletű, koncentrált hőbevitelű, ezért vékony lemezekhez és precíziós varratokhoz alkalmas.

A lézerhegesztés nagy energiasűrűségű fénysugárral olvaszt; keskeny, mély varratot, kis hőterhelést és nagy sebességet biztosít. Autógyárakban és automatizált karosszéria-javításban használják, de beruházási költsége magas.

Az elektronsugaras hegesztés vákuumkamrában gyorsított elektronokkal olvaszt; különleges alkatrészeknél (fogaskerekek, repülőgép-alkatrészek) van szerepe. A járműjavító tanműhelyekben általában nem elérhető.

8.3.5. Anyagok és előkészítés

Öntöttvas hegesztésekor a magas széntartalom és a grafit miatt az olvadékból hűlés közben kemény, rideg fázis válik ki, és repedésveszély áll fenn. A siker érdekében a munkadarabot elő kell melegíteni (jellemzően 200–300 °C-ra, ellenőrizendő: gyártói utasítás), nikkeltartalmú elektródát vagy hozaganyagot kell használni, és a lehűlést lassítani kell (homokban, hőszigetelő alatt). Járműjavításban főként öntöttvas kipufogócsonkok és régi motorblokkok javításánál fordul

elő (csak ha a gyártó megengedi). Fékdobot, féktárcsát és más fék- vagy futómű-biztonsági öntvényt hegeszteni tilos; repedés esetén cserélni kell.

Alumínium hegesztésekor a felületet borító alumínium-oxid (Al_2O_3) olvadáspontja jóval magasabb az alumíniuménál, ezért először az oxidréteget kell eltávolítani rozsdamentes kefével, majd zsírtalanítani. Az alumínium nagy hővezető képessége miatt nagyobb hőbevitel kell, és a vékony lemez könnyen vetemedik; ezért gyakran TIG- vagy MIG-eljárást használunk argon védőgázzal. Alumíniumot acélhoz közvetlenül ömlesztő hegesztéssel nem lehet jól kötni; ilyenkor ragasztást, szegecselést vagy speciális eljárást kell választani (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

Réz és sárgaréz hővezető képessége nagy, ezért a varrat környezetét elő kell melegíteni, és nagyobb hőteljesítményt kell alkalmazni. Hűtők, rézcsövek javításánál gyakran a forrasztás vagy a TIG-hegesztés a választandó.

Műanyagok közül a hőre lágyuló műanyagok (PP, PE, PA) hegeszthetők: a felületeket hőlégfúvóval, hegesztőtükörrel vagy ultrahanggal felmelegítik, majd hozaganyag-pálcával összeolvasztják. A hőre keményedő műanyagok (pl. poliészter gyanta) nem hegeszthetők, azokat ragasztani kell. Járműjavításban műanyag lökhárítók, tágulási tartályok és kerékdob-ívek javításánál van szerepe.

Előkészítés. Minden hegesztés előtt a felületről el kell távolítani a festéket, rozsdát, olajat, zsírt és nedvességet. A tompa varratoknál megfelelő éltompítást kell készíteni; a rés nagyságát a lemezvastagságnak megfelelően kell beállítani. A nem megfelelően előkészített felület zárványt, gázzárványt, beolvadási hibát és repedést okoz.

8.3.6. Forrasztás és fémragasztás

Lágyforrasztás. A lágyforrasztást 450 °C alatt végezzük, jellemzően ón–ólom (ma már gyakran ólommentes) forrasszal. A folyasztószer megtisztítja a felületet, megakadályozza az oxidációt és javítja a kapilláris behatolást. Elektronikai forrasztásnál gyantás folyasztószert használnak, mert a maradvány nem korrozív; bádogos munkáknál cink-klorid alapú folyasztószer fordul elő, amelyet a munkadarabról el kell távolítani. A lágyforrasztott kötés szilárdsága kisebb, ezért teherviselő járműszerkezetben nem alkalmazható; elektromos vezetékek, rézcsövek, kis rögzítőelemek javítására való.

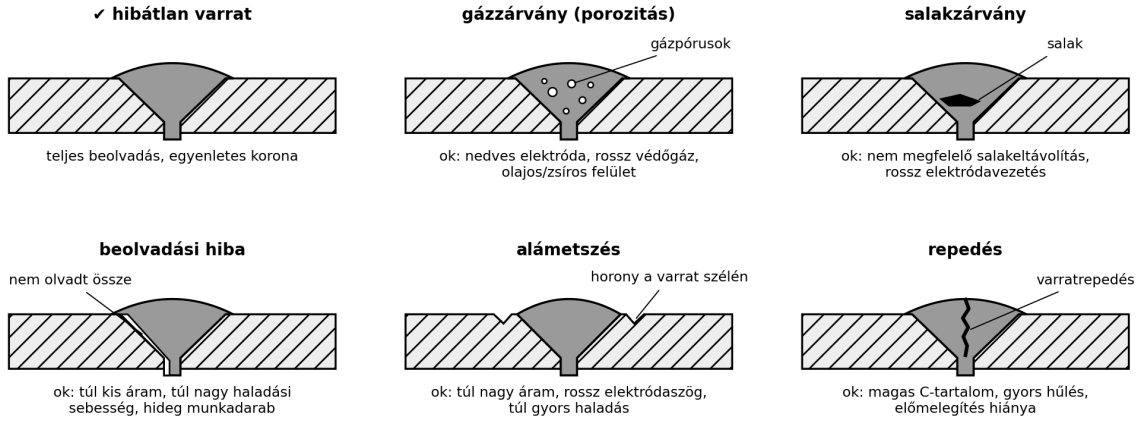
Keményforrasztás. A keményforrasztás 450 °C felett, általában ezüst- vagy sárgarézforrasszal történik. A kötés szilárdsága nagyobb, mint a lágyforrasztásé, de még mindig elmarad a hegesztett kötésétől. A keményforrasztáshoz kis hézag (0,05–0,2 mm, ellenőrizendő: gyártói adat) szükséges, hogy a kapilláris erő be tudja szívni a forraszt. Járműjavításban hűtők, klímaberendezések csövei, réz- és sárgaréz idomok javításánál alkalmazzák; fékcsövek javítására viszont a hatályos előírások miatt általában nem forrasztott toldást használnak, hanem peremezést és cserét (ellenőrizendő: gyártói és hatósági előírás).

Fémragasztás. A fémragasztáshoz epoxi, poliuretán vagy akrilát alapú ragasztókat használnak. Előnye, hogy a feszültségeloszlás egyenletesebb, a kötés rezgéscsillapító és korrózióvédő, és eltérő anyagok (pl. acél–alumínium, fém–műanyag) is köthetők. Hátránya a felületi előkészítésre való érzékenység és a korlátozott hőállóság. Korszerű karosszériajavításban gyakran kombinálják ponthegesztéssel vagy szegecseléssel, hogy a kötés azonnali szilárdságot és tartós tömítést adjon.

8.3.7. Hegesztési hibák és ellenőrzésük

A hegesztett kötés minőségének ellenőrzése a járműjavításban elsősorban szemrevételezéssel történik, esetenként repedésvizsgáló eljárással, tömörségi próbával vagy próbadarabbal.

Hiba	Jellemző megjelenés	Lehetséges ok
Gázzárvány (porozitás)	apró lyukak, gömbfelületek a varratban	nedves elektróda, nem megfelelő védőgáz, olajos/zsíros felület
Salakzárvány	salakdarabok a varrat belsejében	nem megfelelő salakeltávolítás, rossz elektróda-vezetés
Beolvadási hiba	a varrat nem olvad össze az alapanyaggal	túl kis áramerősség, túl nagy haladási sebesség, hideg munkadarab
Alámetszés	horony a varrat szélein	túl nagy áramerősség, rossz elektródaszög, túl gyors haladás
Repedés	látható hajszál- vagy nyílt repedés a varratban vagy a hőhatásövezetben	magas széntartalom, túl gyors hűlés, előmelegítés hiánya, nagy merevség
Vetemedés	a munkadarab elhajlik, csavarodik	egyenlőtlen hőbevitel, rossz sorrend, túl sok varrat egyszerre



Tompavarrat keresztmetszete; ferde sraffozás: alapanyag, szürke: varrat. Sematikus rajz; a megengedett hibahatárokat a hegesztési utasítás adja.

8.6. ábra. Hegesztési hibák tompavarrat-keresztmetszetben: hibátlan varrat, gázzárvány, salakzárvány, beolvadási hiba, alámetszés és repedés a valószínű okokkal (sematikus rajz)

Az ábra a táblázat varratban látható hibáit metszetben mutatja (a vetemedés az egész munkadarab alakváltozása, ezért nem szerepel). A HTML-változatban kvízzel gyakorolható, melyik metszet melyik hibát mutatja.

Az értékek tanulási példák, a konkrét hibahatárokat a gyártói műszaki rajz vagy a hegesztési utasítás adja meg (ellenőrizendő: gyártói adat).

Minőségellenőrzés. A varrat méretét, alakját, beolvadását és felületi hibáit szemrevételezéssel ellenőrizzük. Acél alkatrészeknél repedéskereső festékdiffúziós vizsgálatot vagy mágneses repedésvizsgálatot lehet végezni. A tömörséget nyomáspróbával vagy szappanos vízzel ellenőrzik. A karosszériajavításban a varratpontok számát és elhelyezkedését a gyártói javítási kézikönyvhöz kell hasonlítani (ellenőrizendő: gyártói adat).

8.3.8. Hegesztés a járművön: biztonság és korrózióvédelem

A járművön végzett hegesztés külön figyelmet igényel, mert a hegesztőáram és a hő károsíthatja az elektronikát, és tűzveszélyt okozhat.

Figyelem. A hegesztés és forrasztás magas hőmérséklettel, elektromos ívvel és nyílt lánggal jár. A munkavégzés során kötelező: ívhegesztésnél megfelelő védőfokozatú hegesztőpajzs vagy fejpajzs, lánghegesztésnél hegesztő védőszemüveg (ellenőrizendő: EN 169, EN 379), valamint lángálló kesztyű, lángálló ruházat és zárt cipő. A hegesztési füst rákkeltő anyagokat tartalmazhat, ezért csak megfelelő elszívás vagy légzésvédelem mellett dolgozz. Tűzveszélyes anyagokat (üzemanyag, olaj, akkumulátor, kárpit) a munkaterületről el kell távolítani, és tűzoltó készüléket kell készenlétben tartani. A járművön végzett hegesztés előtt az elektronikus vezérlőegységek védelméről és az akkumulátor lekötéséről a gyártói javítási utasítás szerint kell gondoskodni (ellenőrizendő: gyártói előírás). A hegesztés után a területet tűzveszély szempontjából legalább 30 percig meg kell figyelni (ellenőrizendő: műhelyi tűzvédelmi szabályzat).

Hibrid és elektromos jármű. Nagyfeszültségű (HV) rendszerrel szerelt járművön hegeszteni csak a gyártói eljárás szerinti feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése után, arra kiképzett, jogosult személy irányításával szabad; a HV-akkumulátort és a narancssárga HV-vezetékeket a hőtől és a hegesztőáram útjától védeni kell, szükség szerint a HV-akkumulátort ki kell szerelni (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

Légzsák, övfeszítő. A pirotechnikai egységek és vezetékeik közelében a gyártói előírás szerint ki kell szerelni őket, vagy a munkát kerülni kell.

Üzemanyag-rendszer. Az üzemanyagtartály és a vezetékek közelében hegeszteni csak azok kiszerelése vagy hővédelme után szabad (robbanásveszély; kipufogó- és küszöbjavításnál is).

Horganyzott lemez. A cinkfüst fémgőzlázat okoz: elszívás és légzésvédelem szükséges.

Az elektronika védelme érdekében a hegesztő testkábelét mindig közvetlenül a munkadarab közelébe kell csatlakoztatni, hogy az áram ne a jármű karosszériáján át, csapágyakon és elektronikus egységeken keresztül záródjon. A hegesztés előtt a jármű akkumulátorának negatív saruját le kell kötni, a nagyértékű vezérlőket (ECU, légzsák, adatbuszhálózat) pedig a gyártó utasítása szerint ki kell venni vagy leválasztani (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

A hegesztés után a varratot csiszolni kell, el kell távolítani a salakot és a fröcskölést, majd alapozóval, üregvédelemmel és tömítéssel kell ellátni, hogy a korrózió ne induljon meg a hőhatásövezetben.

8.3.9. Kidolgozott példák

Példa 1. Kipufogó acélcső javítása MAG-hegesztéssel.
Adott egy 1,2 mm falvastagságú acél kipufogócső, amelyen lyuk keletkezett. A lyuk környékét acélkefével és csiszolással fémtisztára munkáljuk, majd a lyukat illesztő darabbal vagy felhegesztett foltlemezzel zárjuk. A hegesztőgép MAG-üzemben, 0,8 mm átmérőjű acél huzallal, CO_2 védőgázzal dolgozik. Példaként beállítunk kb. 60–80 A áramerősséget és 16–18 V feszültséget (ellenőrizendő: gépgyártó paramétertáblázata). Az ív nyugodt, a varrat kissé ívelt, salakmentes. A varrat után

átnézzük: nincs lyuk, nincs fröcskölés, a lemez nem égett át. Az utómunkálatoknál hőálló festéket vagy korrózióvédő bevonatot viszünk fel.

Példa 2. Alumínium hűtőcső javítása TIG-eljárással.
Egy 1,5 mm falvastagságú alumínium cső repedt meg. A felületet rozsdamentes kefével megtisztítjuk, majd acetonnal zsírtalanítjuk. TIG-hegesztőn váltakozó áramot állítunk be, 1,6 mm átmérőjű volfrámelektródát és argon védőgázt használunk. A hozaganyag AlSi5 (1,6 mm). Az áramerősség kb. 40–60 A (ellenőrizendő: gépgyártó táblázat). A repedés két végét előfúrással megállítjuk, majd rövid, szakaszos varratokkal, kis hőbevitellel hegesztünk, hogy a cső ne vetemedjen. A javítás után a csövet nyomáspróbával ellenőrizzük.

8.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: egy személygépkocsi bal első kerékdob-ívén erős korrózió miatt a kerékjárati ív átrozsdált, a műszaki vizsgán emiatt elutasítást kapott.
Vizsgálat: a sérült lemezrészt csiszolás után megvizsgáljuk; a küszöb és a kerékdob találkozásánál átrozsdásodott zóna látható. A gyártói javítási utasítás előírja, hogy a korróziós zónát ki kell vágni, és új, gyári vagy engedélyezett javítólemezt kell beilleszteni.
Javítás: a jármű áramtalanítása után az érintett vezetékeket és elektronikus egységeket levédjük. A régi lemezt ponthegesztő fúróval kifúrjuk a gyári ponthegesztéseknél, az illesztési felületeket fémtisztára csiszoljuk, majd az új lemezt ellenállás-ponthegesztővel rögzítjük a gyártó által megadott pontszámmal és távolságokkal (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). A peremhez ragasztót is felviszünk, hogy a kötés tömör és korrózióvédő legyen. A varratokat csiszoljuk, alapozzuk, majd üregvédő viaszt fújunk a belső üregekbe.
Ellenőrzés: a javított lemez nem vetemedett, a varratpontok egyenletesek, a ragasztó kilépése folyamatos. Próbakézzel a lemez merev, nincs ropogás.
Tanulság: a karosszériajavításban a hegesztés és a ragasztás kombinációja ad tartós, gyárilag is elfogadott kötést; az elektronika védelme és a korrózióvédelem elengedhetetlen.

8.3.11. Tipikus hibák

1. **Nem megfelelő védőgáz vagy elektróda.** Acél MIG/MAG hegesztésnél rossz gázkeverék esetén porózus, lyukacsos varrat keletkezik. Helyes gyakorlat: a gép táblázata és a huzal gyártói adata szerint kiválasztani a gázt, és ellenőrizni a gáznyomást, áramlást.

2. **Előkészítés nélküli hegesztés.** Festékes, rozsdás, olajos felületen a varrat nem olvad be, zárványok keletkeznek, és a kötés gyenge lesz. Helyes gyakorlat: a felületet mindig fémtisztára csiszolni, zsírtalanítani, majd közvetlenül ezután hegeszteni.

3. **Az elektronika védelmének elmulasztása.** Ha a járművön hegesztenek anélkül, hogy az akkumulátort lekötnék és a testkábelt közvetlenül a varrat közelébe csatlakoztatnák, a hegesztőáram tönkreteheti a vezérlőegységeket. Helyes gyakorlat: a gyártó utasítása szerint áramtalanítás és védelem, a testkábel mindig a munkadarabon, minél közelebb a varrathoz.

4. **Túl nagy hőbevitel.** Vékony lemeznél a nagy áramerősség vagy a lassú haladás átégést és vetemedést okoz. Helyes gyakorlat: a lemezvastagsághoz illő paraméterek, szakaszos varrat, hűlési idő hagyása.

5. **Alumínium oxidréteg figyelmen kívül hagyása.** Az oxidréteg miatt az olvadék nem terül, a varrat nem tapad. Helyes gyakorlat: közvetlenül hegesztés előtt rozsdamentes kefével oxidmentesíteni, zsírtalanítani, és argon védőgázzal dolgozni.

8.3.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Forrasztáskor az alapanyag is megolvad. Indokolja.
2. Melyik hegesztőeljárás a legalkalmasabb vékony alumíniumlemez precíziós javítására?
3. Mi a lágyforrasztás és a keményforrasztás közötti hőmérséklethatár?
4. Miért kell a hegesztő testkábelét közvetlenül a varrat közelébe csatlakoztatni járművön?
5. Milyen hibát okoz a nedves bevont elektróda?
6. Mi a ponthegesztés szerepe a korszerű karosszériajavításban?

8.3.13. Feladatok

1. feladat (A)
Sorolja fel az ömlesztő és sajtoló hegesztőeljárásokat, és röviden foglalja össze a két csoport közötti alapvető különbséget.

2. feladat (A)
Milyen hőmérséklet felett beszélünk keményforrasztásról? Nevezzen meg egy anyagpárt, amelyhez keményforrasztást választana a járműjavításban.

3. feladat (B)
Adott három javítási feladat: (a) vékony acél kipufogócső lyukjavítása, (b) alumínium hűtőcső repedésjavítása, (c) műanyag lökhárító repedése. Válasszon mindegyikhez megfelelő kötési eljárást, és indokolja a választását az anyag, a hőbevitel és a szilárdság szempontjából.

4. feladat (B)
Egy varrat felületén apró lyukak (gázzárványok) láthatók. Nevezzen meg legalább három lehetséges okot, és mindegyikhez adjon meg egy javítási vagy megelőzési lépést.

5. feladat (C)
Hasonlítsa össze a MIG/MAG és a TIG eljárást vékony lemez hegesztésére: hőbevitel, sebesség, varratminőség, alkalmazható anyagok, kezelői igény. Táblázatos formában válaszoljon.

6. feladat (D)
Egy járművön végzett hegesztés után a motorvezérlő egység hibás működést mutat, és a diagnosztikai műszer kommunikációs hibát jelez. Milyen mulasztás történhetett a hegesztés előtt és közben? Adjon meg legalább négy megelőző intézkedést, amelyekkel a hiba elkerülhető lett volna.

8.3.14. Megoldások

8.3.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Forrasztáskor csak a forrasz olvad meg, az alapanyag szilárd marad.

2. A TIG (AWI) eljárás, argon védőgázzal, váltakozó árammal.

3. 450 °C.

4. Hogy a hegesztőáram ne a jármű karosszériáján, csapágyakon és elektronikus egységeken keresztül záródjon, mert az károsíthatja a vezérlőket.

5. Gázzárványt, porozitást, esetleg repedést.

6. A ponthegesztés a karosszériaelemek gyári és javító jellegű, gyors, hozaganyag nélküli sajtoló kötése, amely megfelelő szilárdságot és gyárilag reprodukálható varratpontokat ad.

8.3.14.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A)
Ömlesztő eljárások: bevont elektródás ívhegesztés, MIG/MAG, TIG, lánghegesztés, plazma, lézer, elektronsugár. Sajtoló eljárások: pont-, vonal-, dudor- és tompahegesztés (ellenállás-hegesztés). Az ömlesztő eljárásoknál az alapanyag megolvad, és a varratfürdő dermed meg; a sajtoló eljárásoknál az anyag képlékeny állapotban, nyomással egyesül, jellemzően rövid idejű, nagy áramú hevítéssel.

2. feladat (A)
Keményforrasztásról 450 °C felett beszélünk. Járműjavításban például réz- vagy sárgaréz hűtőcsövek, klímacsövek idomainak kötésére használható (ellenőrizendő: gyártói és hatósági előírás).

3. feladat (B)
(a) Vékony acél kipufogócső: MAG-hegesztés, mert acélhoz gyors, jó varratot ad, és a lemezvastagsághoz illő hőbevitellel dolgozható.
(b) Alumínium hűtőcső: TIG-hegesztés argon védőgázzal, mert az oxidréteget eltávolítja, a hőbevitel jól szabályozható, így a vékony fal nem ég át.
(c) Műanyag lökhárító: hőlégfúvóval vagy ultrahanggal történő hőre lágyuló műanyaghegesztés, vagy megfelelő poliuretán/akrilát ragasztó; a hőre lágyuló műanyag hegeszthető, a hőre keményedő csak ragasztható.

4. feladat (B)
Lehetséges okok és megelőzés: - Nedves elektróda vagy huzal: száraz helyen tárolni, felhasználás előtt szárítani. - Nem megfelelő védőgáz vagy gázáramlás: ellenőrizni a gáz típusát, nyomását, áramlását. - Olajos, zsíros felület: fémtisztára csiszolni, zsírtalanítani. - Túl nagy ívhossz: az ívhosszt a gyártói ajánlás szerint tartani.

5. feladat (C)

Szempont	MIG/MAG	TIG
Hőbevitel	közepes/nagyobb, gyorsabban	kisebb, jól szabályozható
Sebesség	nagy	kisebb
Varratminőség	jó, de lehet fröcskölés	kiváló, tiszta, precíz
Anyagok	acél, alumínium (megfelelő gázzal)	acél, rozsdamentes, alumínium, réz
Kezelői igény	könnyebben elsajátítható	nagy kézügyesség, tapasztalat

(Az értékek tanulási példák, ellenőrizendő: gépgyártó és anyaggyártó adatok.)

6. feladat (D)
A hegesztés előtti mulasztás lehetett, hogy nem kötötték le az akkumulátort, nem csatlakoztatták a testkábelt közvetlenül a varrat közelébe, vagy nem védték le az elektronikus vezérlőket. Megelőző intézkedések: 1. A jármű akkumulátorának negatív sarujját a javítás megkezdése előtt le kell kötni. 2. A hegesztő testkábelét minél közelebb kell csatlakoztatni a hegesztési helyhez. 3. A motorvezérlőt és más érzékeny egységeket a gyártó utasítása szerint ki kell venni vagy leválasztani. 4. A hegesztés környezetéből az elektromos vezetékeket és csatlakozókat el kell távolítani, vagy hőálló takarással védeni.

8.3.15. Rövid összefoglaló

A hegesztés, forrasztás és ragasztás a járműjavítás alapvető, nem oldható kötési eljárásai. Hegesztéskor az alapanyag megolvad; a bevont elektródás ívhegesztés, a MIG/MAG, a TIG, a lánghegesztés, az ellenállás-hegesztés, valamint a plazma- és lézerhegesztés közül az anyag, a lemezvastagság és a hozzáférhetőség szerint választunk. Forrasztáskor csak a forrasz olvad meg: lágyforrasztás 450 °C alatt, keményforrasztás 450 °C felett. Ragasztásnál polimer ragasztó hozza létre a kötést, sokszor hegesztéssel vagy szegecseléssel kombinálva. A helyes kötéskiválasztás és az előkészítés a tartósság alapja: a felületet fémtisztára kell csiszolni, zsírtalanítani, és a varratot ellenőrizni kell. Járművön végzett hegesztésnél a hegesztőáram és a hő kárt tehet az elektronikában, ezért az akkumulátort le kell kötni, a testkábelt a varrat közelébe kell tenni, és a vezérlőket védeni kell. A hegesztés után a varratot csiszolni és korrózióvédelemmel ellátni kötelező. **Továbbvitt eredmény.** A kötési eljárások kiválasztásának logikáját használjuk a Felújítási technológiák alfejezetben, valamint a Kötések készítése és oldása alfejezet tanműhelyi gyakorlataiban.

8.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a hegesztés, forrasztás és ragasztás általános technológiai alapjait a műszaki szakképzésben elfogadott elvek szerint tárgyalja. Konkrét gyártói javítási eljárás, hegesztési paraméter, hőmérséklet, nyomás, varratpontszám és hibahatár mindig a járműgyártó javítási utasításából vagy a hegesztőgép gyártójának táblázatából veendő; ezek a szövegben „ellenőrizendő: gyártói adat” jelzéssel szerepelnek. A járművön végzett hegesztésre vonatkozó műhelyi tűzvédelmi és munkavédelmi szabályokat a hatályos munka- és tűzvédelmi jogszabályok, valamint a műhely belső utasításai tartalmazzák (ellenőrizendő: hatályos szabályozás). A fékcsövek forrasztásával kapcsolatos korlátozásokat a gyártói előírás és a közúti járművek műszaki előírásai szerint kell ellenőrizni.

8.4. Felújítási technológiák

8.4.1. Motiváció

Egy műhelyben gyakori helyzet, hogy a vizsgálat során kopott alkatrész kerül elő: a főtengely egyik csapja karcos vagy a hajtóműtengely csapágycsapja méreten aluli. Ilyenkor a szerelőnek döntenie kell: **új alkatrészt épít be, vagy a régit felújíttatja**. A felújítás sokszor olcsóbb és gyorsabb, mint az új alkatrész beszerzése – különösen régebbi járműveknél, nagy értékű alkatrészeknél (főtengely, hengerfej, hajtóműház) vagy hosszú beszerzési idejű daraboknál. Ugyanakkor a felújítás csak akkor megbízható, ha a megfelelő technológiát választják, és az eljárás során betartják a gyártói vagy technológiai előírásokat. Ebben az alfejezetben a **térfogatnöveléses felújítási eljárásokat** mutatjuk be: felrakóhegesztést, fémszórást, galvanizálást, műanyag bevonatokat és fémkittelést.

8.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy kopott tengelycsapot, amelyre felrakóhegesztéssel visznek fel fémréteget. A hegesztés után a csap átmérője nagyobb lesz a kívántnál, ezért esztergálással vagy köszörüléssel kell visszamunkálni a névleges méretre. A felújított alkatrész metszetén jól látható a **alapanyag, a felrakott réteg és az átmeneti zóna**: az alapanyagot hőhatás érte, ezért a szemcseszerkezete megváltozik, a rárakott réteg pedig ötvözetileg kapcsolódik hozzá. Más eljárásoknál – például

fémszórásnál – a felvitt réteg részben mechanikai, részben diffúziós kötéssel tapad. A réteg jellemzőit mindig a tapadás, a porozitás és a megmunkálhatóság határozza meg.

8.4.3. Definíciók és fogalmi keret

Definíció. Felújítási technológia alatt olyan anyagmozgató és anyagátalakító eljárásokat értünk, amelyekkel egy kopott, sérült, de szerkezetileg még megfelelő alapanyagú alkatrész eredeti funkcióját részben vagy egészben helyreállítjuk. A **térfogatnöveléses felújítás** során az alkatrész megmunkált felületére **anyagot viszünk fel**, hogy a kopott, méreten aluli részt ismét a megengedett méretre növeljük, majd a felvitt réteget gépi megmunkálással a kívánt pontosságúra alakítjuk.

Összefüggés. A felújítás akkor gazdaságos és műszakilag indokolt, ha az alkatrész **alapanyaga** (a hordozó) még megfelelő szilárdságú, és a hiba csak a felületen, illetve korlátozott mélységben jelentkezik. Ha az alkatrész repedt, átmenő sérülése van, vagy biztonsági funkciót lát el, a felújítás sok esetben **tilos vagy csak különleges eljárással engedélyezett**.

8.4.4. A felújítási technológiák áttekintése

Az alábbi táblázat a leggyakoribb térfogatnöveléses eljárásokat foglalja össze. A megadott rétegvastagságok és hőmérsékletek **tájékoztató jellegűek**, a pontos adatot mindig a technológiai előírás és az anyagminőség határozza meg (ellenőrizendő: gyártói/technológiai adat).

Eljárás	Jellemző rétegvastagság (mm)	Hőhatás	Jellemző alkalmazás
Felrakóhegesztés	0,5–5	Nagy, alapelemet is hőkezeli	Tengelycsapok, fészek-furatok, kopófelületek
Fémszórás (láng, ív)	0,1–2	Kicsi–közepes	Házfuratok, tengelyvégek, siklófelületek
Galvanikus bevonat (Ni, Cr)	0,005–0,5	Szobahőmérséklet	Precíziós illesztések, dugattyúrudak, szelepszárak
Műanyag bevonat	0,05–2	Kicsi	Csúszófelületek, korrózióvédelem, kopásgátlás
Fémkittelés	0,1–3	Nincs	Kisebb felületi hibák, kimaródások, repedések kitöltése

8.4.5. Felújítási eljárások részletesen

8.4.5.1. Felrakóhegesztés

A felrakóhegesztés során hegesztő eljárással (általában ívhegesztéssel, védőgázos MIG/MAG, AWI vagy bevontelektródás eljárással) visznek fel fémet a kopott felületre. A felrakott réteg anyaga lehet az alapfémhez hasonló vagy attól eltérő, kopásálló ötvözet (pl. keményfém-szemcsés felrakó elektróda). Az eljárás előnye a nagy tapadószilárdság és a viszonylag vastag réteg (akár

több milliméter) felvitele. Hátránya, hogy az erős hőbevitel **hőfeszültségeket**, vetemedést és a hőhatásövezetben szilárdságcsökkenést okozhat, ezért az alkatrészt rendszerint utólag hőkezelni vagy feszültségmentesíteni kell. Az autójavításban felrakóhegesztéssel jellemzően nem biztonsági funkciójú tengelyek csapágycsapjait, fogaskerekek fészekfuratait, mezőgazdasági és munkagépek kopófelületeit újítják fel. Kerékagyat, kerékcsonkot, kormány- és fékalkatrészt felrakóhegesztéssel felújítani tilos, hacsak a gyártó kifejezetten meg nem engedi. A felrakás után az alkatrészt **köszörülni vagy esztergálni** kell a névleges méretre.

8.4.5.2. Fémszórás

A fémszórás olyan eljárás, amelynél az olvadt vagy meglágyult fémszemcséket nagy sebességgel a megmunkált alapfelületre szórják. A szemcsék becsapódáskor letapadnak, és réteget alakítanak ki. Két fő változat terjedt el: a **lángszórás**, amelynél fémhuzalt vagy porként adagolt fémet oxigén–acetilén lángban olvasztanak meg és sűrített levegővel porlasztanak, valamint az **ívszórás**, amelynél két huzalelektróda között húzott ív megolvasztja a huzalt, és sűrített levegő röpíti a szemcséket. A felvitt réteg **porózus**, ezért kenőanyagot jól megköt, de korrózió elleni védelme korlátozott. Fémszórással jól javíthatók hajtóműház furatok, tengelyvégek, siklócsapágyak fészkei. A tapadás alapfeltétele az **alapfelület alapos tisztítása és érdesítése** (pl. homokfúvás, menetes leszúrás), valamint az alkatrész előmelegítése.

8.4.5.3. Galvanizálás

A galvanizálás során elektrolitikus úton visznek fel fémes bevonatot. Az autójavításban leggyakrabban **kemény krómozást** és **nikkelezést** használnak (a króm(VI)-vegyületekkel dolgozó kemény krómozás egészségre veszélyes, uniós engedélyhez kötött; ellenőrizendő: REACH). A **foszfátozás** nem galvanikus fémleválasztás, hanem kémiai konverziós bevonat, térfogatnövelő felújításra nem alkalmas. A nikkelezés kopásálló, korrózióálló réteget ad; a krómozás nagyon kemény, alacsony súrlódású felületet biztosít (pl. munkahenger-dugattyúrudak, szelepszárak). A foszfátozás elsősorban korrózióvédő és kenőalapréteg. A **kadmiumozást** – amely korábban elterjedt korrózióvédelem volt – az EU-ban a környezet- és egészségvédelmi szabályok (például a REACH) miatt **szigorúan korlátozzák**, járműjavításban ma már gyakorlatilag nem alkalmazzák (ellenőrizendő: hatályos uniós vegyianyag-szabályozás). A galvanikus bevonat előnye, hogy **nem jár melegítéssel**, így nincs hődeformáció, a rétegvastagság pontosan szabályozható. Hátránya, hogy viszonylag vékony réteget ad, és a folyamat vegyszerek oldatait használja, ezért környezetvédelmi előírásokat kell betartani.

8.4.5.4. Műanyag bevonatok

Műanyag bevonatokat akkor használnak, ha kopásgátlásra, korrózióvédelemre vagy csúszófelület kialakítására van szükség, és a terhelés nem nagy. A leggyakoribb eljárások:

- **Lángszórás**: műanyag port fújnak át lángon, ahol megolvad és a felületre tapad.
- **Örvényporos eljárás**: az előmelegített alkatrészt műanyag porba mártják, a por a meleg felületen megolvad és összefüggő réteget alkot.
- **Porszórás (elasztikus porbevonat)**: elektrosztatikusan feltöltött port szórnak a felületre, majd hőkezelik.
- **Bemártásos eljárás**: folyékony műanyaggal való bevonás (pl. poliamid, epoxi).

Az autójavításban műanyag bevonatot elsősorban vezérlő-, fogaskerék- és csúszófelületeken, illetve korrózióvédelemre használnak. A réteg tapadásához itt is elengedhetetlen a felület **zsírtalanítása, érdesítése és előmelegítése**.

8.4.5.5. Fémkittelés

A fémkittelés **két- vagy háromkomponensű, műgyanta alapú** anyagokkal végzett felülethelyreállítás. A kitöltő anyag jellemzően epoxigyanta, fémpor (acél, alumínium, bronz) és térhálósító keveréke. A kittelés hidegen, szerszám nélkül, akár a helyszínen is elvégezhető. Jellemző alkalmazások: öntvényházak kisebb kimaródásai, repedések, furatok bővülése, passzított felületek. A fémkittelés azonban **nem alkalmas nagy mechanikai terhelésű vagy biztonsági funkciót ellátó alkatrész javítására**. Ilyen esetben a gyártói előírás szerinti hegesztés vagy csere szükséges. A fémkittelés előnye, hogy nem jár hővel, így nincs hődeformáció; hátránya a kisebb szilárdság és a hőtűrés korlátozottsága.

8.4.6. Minőségellenőrzés és a felújíthatóság kritériumai

A felújított alkatrész minőségét több lépésben ellenőrzik:

- **Tapadásvizsgálat**: a bevonat nem válhat le. A vizsgálat történhet ráccsal, hajlítással, vagy gyártói előírás szerinti módszerrel.
- **Rétegvastagság-mérés**: mágneses, örvényáramú vagy mikroszkópos módszerrel; a megengedett minimális vastagságot a felújítási előírás rögzíti.
- **Méret- és alakpontosság**: a felújítás után az alkatrészt gépi megmunkálással a rajz szerinti tűrésmezőbe hozzák.
- **Keménységvizsgálat**: a hőkezelt vagy felrakott réteg keménysége nem térhet el a megengedett értéktől.

Szabály. Biztonsági alkatrészt – kormány, fék, futómű, pirotechnikai elem, HV-rendszer – felújítani csak a gyártói felújítási utasítás szerint szabad. A gyártó által nem engedélyezett felújítás tilos, mert a baleset és a műszaki vizsga meghiúsulásának kockázata nagy.

8.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Egy idősebb dízel kisteherautó váltójából zaj szűrődött. A szétszerelésnél kiderült, hogy a hajtóműházban a csapágy fészke kopott, a csapágy külső gyűrűje lötyögött. Az új ház beszerzése drága és lassú lett volna. A műhely a házat fémszórással javíttatta: a furatot homokfúvással előkészítették, majd bronz alapú fémszórással feltöltötték, végül elsősorban furatköszörüléssel a csapágyillesztés tűrésére munkálták. A felújítás után a csapágy beszerelése a gyártói illesztés szerinti szorossággal történt, a próbaúton a zaj megszűnt, és a hőmérséklet is normális maradt. A tanulság: a fémszórás megfelelő előkészítéssel és utómunkálással gyakran gazdaságos megoldás, de a furat és a csapágy illesztését **gyártói adat szerint** kell ellenőrizni (ellenőrizendő: gyártói illesztési előírás).

8.4.8. Tipikus hibák

1. **Rossz felület-előkészítés.** Ha a felületen zsír, olaj vagy korróziós réteg marad, a bevonat gyengén tapad, és üzem közben leválik. **Helyes gyakorlat:** mindig tisztítás, zsírtalanítás, majd érdesítés (szükség szerint homokfúvás).

2. **Túl vastag réteg felvitele egy lépésben.** A felrakóhegesztésnél vagy műanyagozásnál egy menetben felvitt túl vastag réteg beégést, feszültségrepedést vagy porozitást okozhat. **Helyes gyakorlat:** több vékony rétegben dolgozni, és ellenőrizni az előírt rétegvastagságot.
3. **Biztonsági alkatrész nem szakszerű felújítása.** Például féknyereg dugattyújának fémkitteléssel való javítása. Ez tilos, mert a fékrendszer közvetlen baleseti kockázatot jelent. **Helyes gyakorlat:** biztonsági elemeknél mindig a gyártó utasítását követni, kétség esetén új alkatrészt beépíteni.
4. **A kadmiumozás alkalmazása.** Régi járműveknél esetleg találkozik a szerelő kadmiumozott alkatrésszel, ez azonban ma már környezetvédelmi okból nem választható felújítási eljárásként. **Helyes gyakorlat:** helyettesítő bevonatot (pl. cink-nikkel, passzivált bevonat) használni.

8.4.9. Önellenőrzés

1. Miben különbözik a felrakóhegesztés a fémszórástól a hőhatás szempontjából?
2. Miért fontos az alapfelület érdesítése a bevonatok felvitele előtt?
3. Milyen eljárást választana egy kisebb, házban lévő kimaródás kitöltésére, ha nem lehet hőt bevinni?
4. Milyen környezetvédelmi okból korlátozzák a kadmiumozást?
5. Miért kell gépi megmunkálás a felrakóhegesztés után?
6. Mi a teendő, ha egy féknyereg dugattyúbarázdája kopott?

8.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorolja fel a térfogatnöveléses felújítási eljárásokat, és mindegyikhez írjon egy-egy jellemző alkalmazási példát!

2. feladat (A). Magyarázza el, mi a különbség a lángszórásos és az ívszórásos fémszórás között!

3. feladat (B). Egy kopott tengelycsap névleges átmérője 40,0 mm. A kopás miatt a legkisebb átmérő 39,6 mm. Felrakóhegesztéssel javítják, majd köszörülik. Mekkora minimális rétegvastagságot kell felvinni ahhoz, hogy a köszörülés után a névleges méret elérhető legyen, ha a köszörülési ráhagyás 0,15 mm az átmérőre számítva? Fogalmazza meg a rétegvastagság és az átmérőnövekedés kapcsolatát!

4. feladat (B). Rendezze sorrendbe a következő technológiai lépéseket egy házfurat fémszórásos felújításánál: (1) fúvatás, (2) zsírtalanítás, (3) köszörülés a végleges méretre, (4) fémszórás, (5) előmelegítés. Indokolja is a sorrendet!

5. feladat (C). Adott egy hajtóműház illesztő furata, amelyen a csapágy fészke kimérten 0,2 mm-t kopott. A furat javítása után a csapágyat szorosan kell besajtolni: az illesztés előírt negatív átmérőtűrése 0,03–0,08 mm. Melyik eljárást választaná és miért? Milyen utólagos ellenőrzéseket végezne el?

6. feladat (D). Egy ügyfél kisteherautójának kormányösszekötő gömbcsuklóháza kopott, és a vizsgálat holtjátékot jelzett. Az ügyfél olcsó fémkittelést kér. Hogyan jár el? Indokolja a döntését a biztonsági és jogi követelmények alapján!

8.4.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A felrakóhegesztés erős hőbevitellel megolvasztja az alapanyagot is, ezért hőfeszültségek és hőhatásövezet alakul ki. A fémszórásnál az alapanyag lényegesen kisebb mértékben melegszik, mert a megolvadt szemcsék gyorsan lehűlnek, így a hődeformáció kisebb.
2. Az érdesítés növeli a tapadási felületet és mechanikai kapcsolódást biztosít a bevonat és az alapfém között, ezáltal javítja a tapadószilárdságot.
3. Fémkittelést, mert ez hidegen, hő nélkül alkalmazható, és alkalmas kisebb felületi hibák kitöltésére.
4. A kadmium és vegyületei mérgezőek, rákkeltőek, és a környezetben felhalmozódnak, ezért az uniós vegyianyag-szabályozás korlátozza használatukat (ellenőrizendő: hatályos REACH).
5. Mert a felrakott réteg felülete durva és túl vastag, ezért gépi megmunkálással kell elérni a pontos méretet, alakot és felületi minőséget.
6. A féknyereg biztonsági alkatrész, ezért a nem gyártói felújítási megoldások (pl. fémkittelés) tilosak. Új vagy gyártói felújított alkatrészt kell beépíteni a gyártói előírás szerint.

1. feladat megoldása.
Felrakóhegesztés – nem biztonsági funkciójú tengelycsapok felújítása; fémszórás – hajtóműház furatok; galvanizálás (krómozás, nikkelezés) – dugattyúrudak, szelepszárak; műanyag bevonatok – csúszófelületek, korrózióvédelem; fémkittelés – kisebb kimaródások a házon.

2. feladat megoldása.
A lángszórásnál a fémhuzalt vagy port éghető gáz (általában oxigén–acetilén) lángjában olvasztják meg, majd sűrített levegő porlasztja. Az ívszórásnál két huzalelektróda között húzott elektromos ív hője olvasztja meg az anyagot, és szintén sűrített levegő röpíti a szemcséket. Mindkettőnél a szemcsék nagy sebességgel csapódnak a felülethez.

3. feladat megoldása.
Adott: névleges átmérő $D_n = 40{,}0\,\text{mm}$; kopott átmérő $D_k = 39{,}6\,\text{mm}$; köszörülési ráhagyás $r = 0{,}15\,\text{mm}$ (átmérőre). Keresett: minimális felrakott rétegvastagság (oldalanként).
A köszörülés előtti minimális átmérő: $D_{min} = D_n + r = 40{,}0 + 0{,}15 = 40{,}15\,\text{mm}$. A jelenlegi átmérő $D_k = 39{,}6\,\text{mm}$, tehát az átmérőnövekedés: $\Delta D = D_{min} - D_k = 40{,}15 - 39{,}6 = 0{,}55\,\text{mm}$.
A rétegvastagság **oldalanként** ennek a fele: $0{,}275\,\text{mm}$.
Ellenőrzés: a felrakott anyag az egész kerületen egyenletesen oszlik el, ezért az átmérő növekedése a kétszeres rétegvastagságnak felel meg. A számított rétegvastagság reális, mert a felrakóhegesztésnél jellemzően 0,5 mm-nél vastagabb réteget is fel lehet vinni, de itt a minimális értéket adtuk meg.

4. feladat megoldása.
Helyes sorrend: (2) zsírtalanítás → (1) fúvatás (érdesítés) → (5) előmelegítés → (4) fémszórás → (3) köszörülés végleges méretre, azaz 2–1–5–4–3.
Indoklás: a zsírtalanítás eltávolítja az olajos szennyeződést; a fúvatás érdesíti a felületet, hogy a részecskék mechanikailag is kapcsolódhassanak; az előmelegítés csökkenti a hőfeszültséget és javítja a tapadást; a fémszórás felviszi a réteget; végül a köszörülés biztosítja a végső méret- és alakpontosságot.

5. feladat megoldása.
A megfelelő eljárás a **fémszórás**, mert a furatban lévő kopás 0,2 mm, ami egy viszonylag kis méret, és a fémszórás jól szabályozott, porózus réteget ad, ami kenőanyagot is tart. A felújítás után furatköszörüléssel kell a csapágyfészket a névleges átmérőre munkálni, majd ellenőrizni kell: (1) a furat átmérőjét és hengerességét mérőórával vagy belső mikrométerrel; (2) a felület érdességét; (3) az illesztés negatív tűrését a csapágyra vonatkoztatva (0,03–0,08 mm szorosságot

kell elérni); (4) a réteg tapadását (pl. vizuálisan, kopogtatóval vagy gyártói előírás szerint). A végső beépítés előtt a csapágyat próbanyomással kell ellenőrizni.

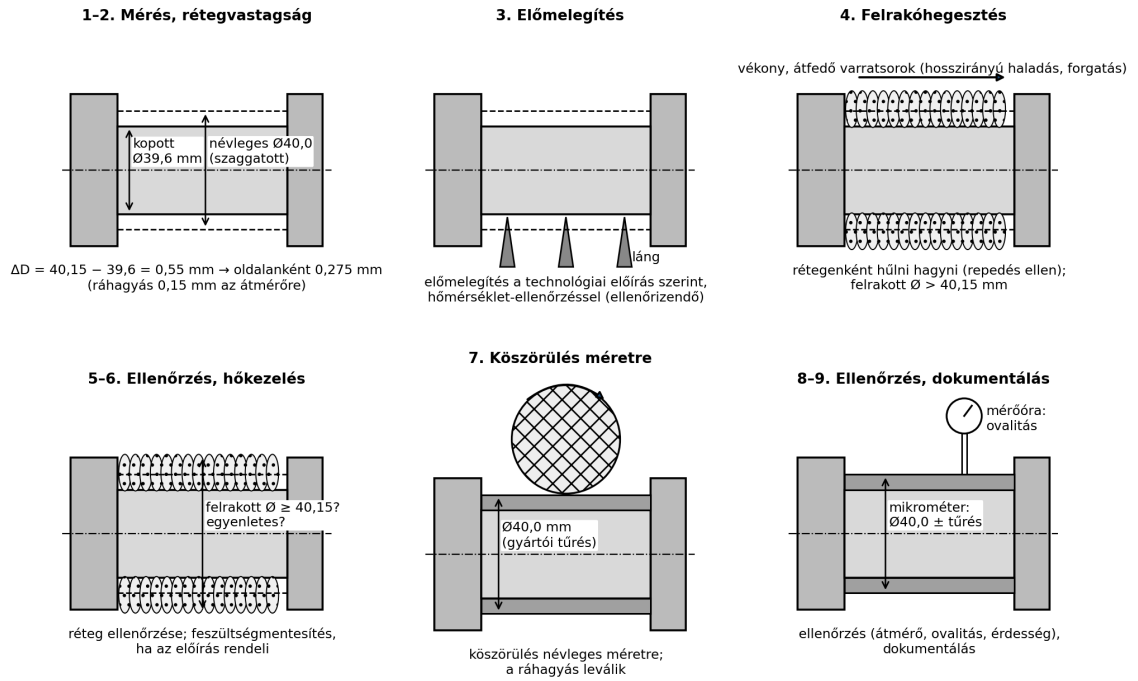
6. feladat megoldása.
A gömbcsuklóház a **kormányrendszer** része, tehát biztonsági alkatrész. A fémkittelés nem megengedett, mert a javított réteg nem bírja a dinamikus terhelést és a kopást, így a holtjáték hamar visszatérhet, és kormányozhatósági hibához, balesethez vezethet. A szerelőnek vissza kell utasítania a fémkittelést, és a gyártói előírás szerint **új gömbcsuklót vagy komplett kormányösszekötő elemet** kell beépíteni. Ezt a műszaki vizsga és a munkavédelmi szabályok is megkövetelik. A munkalapon dokumentálni kell az elvégzett cserét.

8.4.12. Gyakorlati útmutató – felrakóhegesztéssel felújított tengelycsap

Cél: Egy kopott, nem biztonsági funkciójú tengelycsap (például szivattyú- vagy hajtóműtengely) eredeti méretének visszaállítása felrakóhegesztéssel, majd köszörüléssel.
Jármű- és alkatrész-azonosítás: Az alkatrész rajzszáma, anyagminősége és a gyártói mérettűrések rögzítése a munkalapon.
Szükséges szerszámok, eszközök: hegesztő (MIG/MAG vagy AWI), huzal vagy elektróda, eszterga/köszörűgép, mérőeszközök (mikrométer, mérőóra, tolómérő), hőmérsékletmérő, egyéni védőeszközök (hegesztőpajzs, kesztyű, védőruha, elszívás).
Anyagok: felrakó hegesztőanyag (az alapanyaghoz előírt ötvözet), hűtőfolyadék, ha szükséges.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: - A hegesztéshez elszívó berendezést kell használni, a füstgázok nem lélegezhetők be. - A munkaterületet tűzveszélyes anyagoktól mentesíteni kell; tűzoltó készülék legyen a közelben. - A felrakóhegesztésnél keletkező salakot és fémport veszélyes hulladékként kell gyűjteni. - A hűtő- és köszörű folyadékot a hulladékkezelési előírás szerint kell tárolni és leadni (ellenőrizendő: hatályos hulladékjogszabály).



8.7. ábra. Tengelycsap felújítása felrakóhegesztéssel képsorban, a munkalépések számozásával és a 3. feladat méreteivel (sematikus rajz, a sugárirányú méretek túlnagyítva)

A képsor a lenti munkalépéseket követi: a kopott Ø39,6 mm-es csapra legalább Ø40,15 mm-ig kell felrakni (oldalanként 0,275 mm), hogy a köszörülés után a névleges Ø40,0 mm elérhető legyen. A HTML-változatban a lépések egyenként léptethetők.

Számozott munkalépések: 1. Az alkatrészt tisztítsa meg és mérje meg a kopott átmérőt; rögzítse az eltérést a névleges mérettől. 2. Határozza meg a szükséges felrakási vastagságot a köszörülési ráhagyással együtt (lásd a 3. feladat számítását). 3. Melegítse elő az alkatrészt a hegesztési előírás szerint (ellenőrizendő: gyártói/technológiai adat). 4. Végezze el a felrakóhegesztést vékony, átfedő sávokban; hagyja a réteget hűlni a repedések elkerülése érdekében. 5. Ellenőrizze a felrakott réteg méretét és egyenletességét; ha szükséges, ismételje meg a hegesztést. 6. Hőkezelje vagy feszültségmentesítse az alkatrészt, ha az előírás úgy rendeli. 7. Esztergálja vagy köszörülje a felrakott csapot a névleges méretre, a gyártói tűrés betartásával. 8. Ellenőrizze a végleges átmérőt mikrométerrel, az ovalitást mérőórával, és a felületi érdességet; a hőhatásövezetben végezzen repedésvizsgálatot (mágneses vagy festékdiffúziós). 9. Dokumentálja a munkát: felhasznált anyag, rétegvastagság, méretek, hőkezelés.

Jellemző hibák: túl vastag egy menetben felvitt réteg → repedés; nem megfelelő előmelegítés → tapadási hiba; a ráhagyás figyelmen kívül hagyása → a végleges méret nem érhető el.
Dokumentálás: munkalap, szervizkönyv vagy felújítási jegyzőkönyv, fotókkal.

8.4.13. Környezetvédelem

Környezetvédelem. A felújítási technológiák során veszélyes anyagok keletkezhetnek: hegesztési füst, fémpor, galvanizáló oldatok, műanyagpor, oldószerek. Minden hulladékot a veszélyes hulladékokra vonatkozó előírások szerint kell szelektíven gyűjteni, tárolni és leadni (ellenőrizendő: hatályos hulladékjogszabály). A galvanizáló fürdők oldatait különleges kezelésre kell leadni, a szennyvizet tilos a csatornába engedni. A kadmiumozás a környezet- és egészségkárosító

hatása miatt az EU-ban erősen korlátozott (ellenőrizendő: hatályos REACH). A fémszórásnál és műanyagozásnál a levegőbe kerülő port elszívással kell felfogni, a szűrőket veszélyes hulladékként kezelni.

8.4.14. Rövid összefoglaló

A térfogatnöveléses felújítási technológiák lehetővé teszik a kopott alkatrészek eredeti méretének és funkciójának helyreállítását anélkül, hogy az alapanyagot ki kellene cserélni. A leggyakoribb eljárások: **felrakóhegesztés** (nagy tapadás, erős hőhatás), **fémszórás** (kis hőhatás, porózus réteg), **galvanizálás** (hideg eljárás, vékony, pontos réteg; a kadmiumozás korlátozott), **műanyag bevonatok** (kopás- és korrózióvédelem) és **fémkittelés** (hideg kitöltés kisebb hibákra). A tapadás feltétele a felület tisztítása, zsírtalanítása és érdesítése. Biztonsági alkatrészt csak a gyártói felújítási utasítás szerint szabad javítani; kétség esetén az új alkatrészt kell választani. A felújított alkatrészt utómunkálással, méret- és tapadásvizsgálattal kell ellenőrizni. A felújítás vagy csere döntésének szempontjait az Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok alfejezetben tárgyaljuk tovább.

Továbbvitt eredmény. A felújítási eljárás kiválasztásában és a felújíthatóság megítélésében itt tanult szempontokat (hőhatás, rétegvastagság, tapadás, biztonsági korlát) használjuk fel az Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok alfejezetben, amikor egy hibás alkatrésznél mérésekkel és vizsgálatokkal döntjük el, hogy a felújítás vagy a csere a gazdaságosabb és biztonságosabb megoldás.

8.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a járműgyártók felújítási előírásai, hegesztéstechnológiai és fémszórási szakkönyvek, galvanizálási technológiai útmutatók, hulladék- és vegyianyag-jogszabályok (pl. REACH, hulladékkeret-irányelv – ellenőrizendő: pontos uniós és hazai szabályok). A kadmiumozás korlátozására vonatkozó uniós vegyianyag-szabályozás pontos rendeletszámát és hatályát ellenőrizni kell. A felrakóhegesztésnél és fémszórásnál használt anyagok, hőmérsékletek és rétegvastagságok a technológiai előírás szerint eltérhetnek; a táblázatban szereplő értékek tájékoztató jellegűek (ellenőrizendő). A gyakorlati útmutató lépései tanulási példák, a konkrét munkánál a gyártói javítási utasítás és a technológiai adatlap az irányadó.

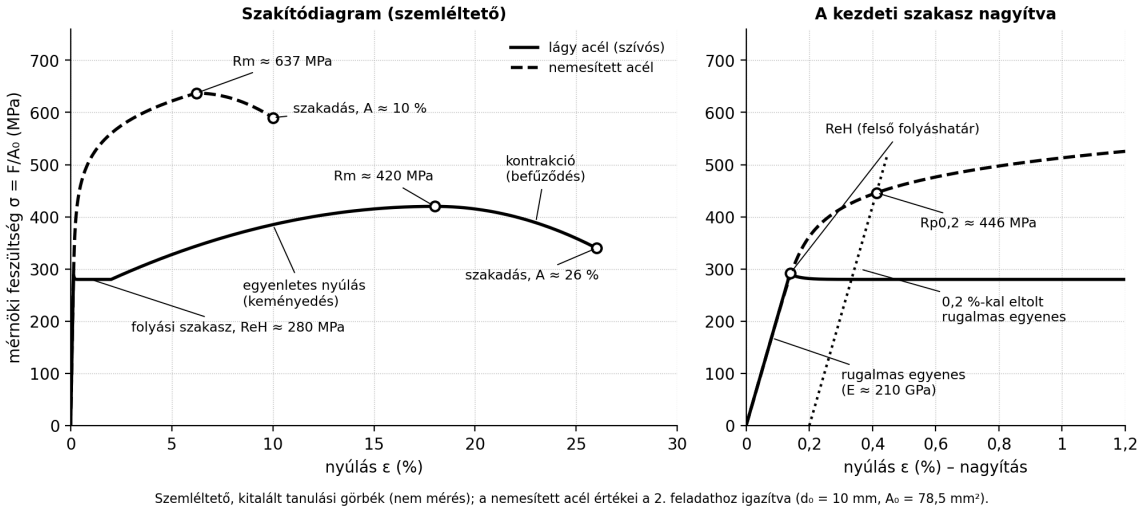
8.5. Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok

8.5.1. Motiváció

Amikor a műhelyben egy felújított hajtókar, egy hegesztett lengéscsillapító-tartó vagy egy használt alumínium keréktárcsa kerül a kezedbe, ugyanazt a kérdést kell feltenned: **elbírja-e az alkatrész a rá ható terhelést, és van-e benne olyan repedés, amely később töréshez vezet?** A szemrevételezés önmagában kevés. Az anyagvizsgálatok éppen arra valók, hogy a tönkremenetel kockázatát méréssel, reprodukálható módon csökkentsd. Ebben az alfejezetben a legfontosabb roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat tanulod meg, úgy, hogy a szakítódiagramot le tudd olvasni, és egy adott járműalkatrész repedésvizsgálatához ki tudd választani a helyes módszert.

8.5.2. Szemléletes kép: a szakítógép és a szakítódiagram

Képzelj el egy olyan mérőgépet, mint egy nagy asztali satu, amelyben egy kimunkált, szabványos próbatest van befogva. A gép hidraulikus vagy orsós hajtással egyre nagyobb húzóerőt fejt ki, és közben méri a próbatest megnyúlását. A műhelyben ilyen géppel ritkán találkozol, de az eredményét – a **szakítódiagramot** – szállítói tanúsítványban, anyagbizonylatban vagy javítási dokumentációban gyakran látod. A diagram vízszintes tengelyén a nyúlás, függőleges tengelyén a feszültség vagy az erő szerepel. Az alfejezetben szereplő szemléltető görbe (lásd az alábbi ábrát) egy lágy acélhoz hasonló anyag alakját mutatja: először közel egyenesen emelkedik, majd ellaposodik, végül elszakad. Ezt a képet kell „olvasnod”, amikor az anyag szilárdságáról döntesz.



8.8. ábra. Szemléltető szakítódiagram: lágy acél határozott folyással és nemesített acél folyási szakasz nélkül; jobbra a kezdeti szakasz nagyítva az Rp0,2 szerkesztésével (kitalált tanulási görbék, nem mérés)

A folytonos görbe (lágy acél) a rugalmas egyenes után vízszintes folyási szakaszt mutat (ReH ≈ 280 MPa), majd keményedik, Rm ≈ 420 MPa-nál tetőzik, a befűződés után kb. 26 %-os nyúlásnál szakad. A szaggatott görbe (nemesített acél) folyási szakasz nélkül hajlik el, ezért folyáshatára a 0,2 %-kal eltolt egyenessel szerkesztett Rp0,2 ≈ 446 MPa; Rm ≈ 637 MPa, a nyúlás csak kb. 10 %. A HTML-változatban a görbén kurzor futtatható, és az erő- és a feszültségtengely között lehet váltani.

8.5.3. Szakítóvizsgálat: próbatest, diagram, folyáshatár, szakítószilárdság, nyúlás

A szakítóvizsgálat az egyik legalapvetőbb roncsolásos anyagvizsgálat. A vizsgálathoz szabványos méretű, jellemzően hengeres vagy lapos próbatestet használnak, amelyen egy L_0 kezdeti mérőhosszt és egy d_0 kezdeti átmérőt jelölnek meg (lapos próbatestnél a keresztmetszetet a szélességből és a vastagságból számítják). A gép egyenletesen növekvő húzóerőt ad, és regisztrálja a ΔL megnyúlást.

Definíció. A mérnöki feszültség a pillanatnyi F erő és az **eredeti** A_0 keresztmetszet hányadosa:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

A **szakítószilárdság** R_m a maximális erőhöz tartozó mérnöki feszültség:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0}$$

A **folyáshatár** $R_{p0,2}$ az a feszültség, amelynél a maradó nyúlás 0,2 %-ot ér el (praktikus egyezményes folyáshatár; a pontos jelölés ellenőrizendő a szabvány szerint). A **szakadási nyúlás** A a szakadás után mért maradó nyúlás az eredeti mérőhosszhoz képest:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\,\%$$

ahol L_u a szakadás utáni mérőhossz.

A szakítódiagramon ezeket a pontokat olvashatod le: a kezdeti rugalmas egyenes szakasz meredekségéből a rugalmassági modulus közelíthető, a folyásjelenség környékén a folyáshatár, a görbe csúcsánál R_m, a görbe végén pedig a szakadási nyúlás. A diagram alakja anyagfüggő: lágy acélnál határozott folyási jelenség és nagy nyúlás látszik, edzett vagy öntött anyagnál a görbe gyakran kisebb nyúlásnál törik.

A szakítógépek ma már digitálisan rögzítenek, de a kiértékelési elv ugyanaz. A vizsgálatot szabványos körülmények között (hőmérséklet, próbatest-méret, terhelési sebesség) végzik; a tanúsítványon szereplő számértékek csak így hasonlíthatók össze.

Előírás. A szakítóvizsgálatot szabványosított próbatesteken és szabványos módon kell elvégezni; a kapott jelölések és a mérési feltételek a vonatkozó nemzetközi szabvány szerint értelmezendők (pl. ISO 6892 sorozat – ellenőrizendő: pontos, hatályos szabvány). **Megjegyzés.** A fenti R_m, $R_{p0,2}$, A jelölés a mai európai gyakorlatban elterjedt; a régi anyagvizsgálati jegyzőkönyvekben σ_B, $\sigma_{0,2}$ vagy δ jelöléssel is találkozhatsz.

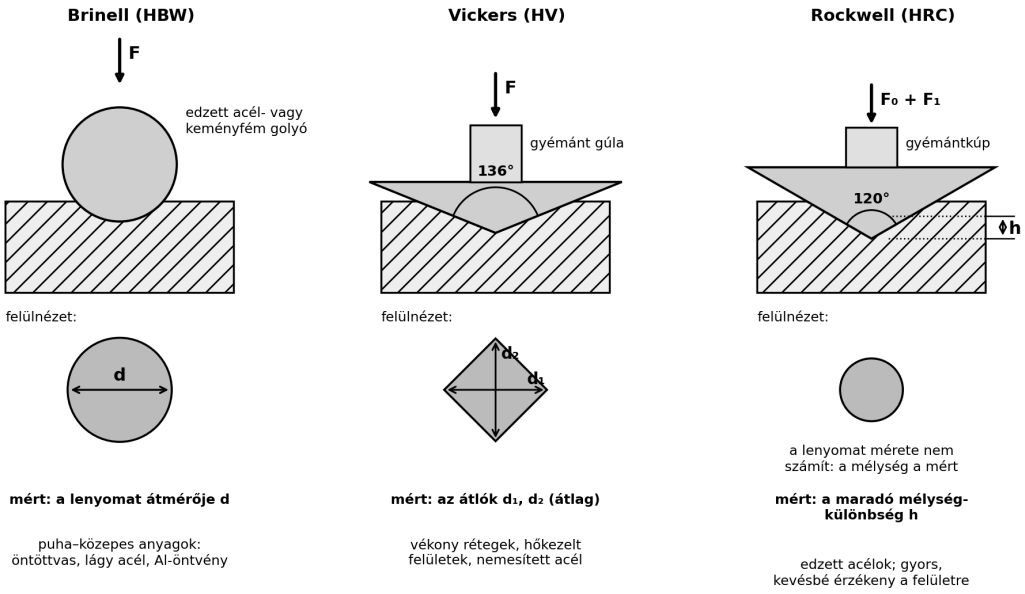
8.5.4. Keménységmérés: Brinell, Vickers, Rockwell és dinamikus módszerek

A keménységmérés azt mutatja meg, hogy az anyag felülete mekkora ellenállást fejt ki egy benyomódó testtel szemben. A módszer gyors, viszonylag kismértékben roncsol, és a szakítószilárdsággal sok anyagnál empirikus kapcsolatban van.

Brinell-keménység (HBW): keményfém golyót nyomnak meghatározott erővel a felületbe; a benyomódás átmérőjéből számolják a keménységet. Durvább, nagyobb benyomódást hagy, puha és közepes keménységű anyagokhoz, például öntöttvasakhoz, lágy acélokhoz, alumíniumöntvényekhez jól használható.

Vickers-keménység (HV): gyémánt gúla alakú benyomótestet használ; a benyomódás átlóját mérik. Vékony rétegek, hőkezelt felületek, nemesített acélok vizsgálatára alkalmas.

Rockwell-keménység (HRC, HRB): a benyomódás mélységét méri, gyors és kevésbé érzékeny a felület előkészítésére. Edzett acélokhoz gyakran a **HRC** változatot használják. A mérési eljáráshoz tartozó terhelés és benyomótest a Rockwell-skálától függ.



Felső sor: oldalmetszet (benyomótest a felületben); alsó sor: a lenyomat felülnézete. Sematikus, nem méretarányos.

8.9. ábra. Brinell-, Vickers- és Rockwell-benyomótest a felületben és a lenyomat felülnézete a mért mennyiséggel (sematikus rajz)

Az ábrán látszik a lényegi különbség: a Brinell-mérés a golyó kerek lenyomatának átmérőjét, a Vickers-mérés a 136°-os gúla négyzetes lenyomatának két átlóját, a Rockwell-mérés (HRC) a 120°-os gyémántkúp maradó benyomódási mélységét méri.

Dinamikus módszerek: például Leeb-keménység (HL), ahol egy ütőtest visszapattanásából becsülik a keménységet. Hordozható kivitelben sok műhelyben használják, de kalibrálás és tapasztalat nélkül az eredmény csak tájékoztató jellegű. A pontos értékeket a szabványos eljárással kell ellenőrizni.

8.5.5. Ütve hajlító, fárasztó, nyíró és nyomó vizsgálatok; technológiai próbák

Egy alkatrész nem csak lassú, egytengelyű húzásnak van kitéve. A járműben jellemző a dinamikus terhelés (ütés, lüktetés), a többtengelyű igénybevétel és a gyártási vagy javítási technológia okozta alakváltozás.

Ütve hajlító vizsgálat (Charpy): bemetszett próbatestet ütőkalapáccsal törnek el. Az elnyelt energia (J) a szívósságot jellemzi; hidegben, nagy sebességgel végzett vizsgálat megmutatja az anyag elridegedésre való hajlamát.

Fárasztó vizsgálat: próbatestet ciklikus, jellemzően hajlító vagy húzó-nyomó igénybevételnek vetnek alá. A Wöhler-görbe (S–N görbe) mutatja, hogy adott feszültségszintnél hány terhelési ciklust bír az anyag. A járműben ez azért kritikus, mert a menet közbeni rezgések és terhelési ciklusok fáradásos repedést indíthatnak meg.

Nyíró és nyomó vizsgálat: a húzóvizsgálathoz hasonló elven mérik a nyírószilárdságot vagy a nyomószilárdságot. A nyomóvizsgálat rideg anyagoknál (öntöttvas) jellemzőbb, míg a nyíróvizsgálatot szegecs- vagy ragasztókötés minősítésére is használják.

Technológiai próbák azt vizsgálják, hogy az anyag a tényleges megmunkálást vagy alakítást elviseli-e: hajlító próba, mélyhúzó próba, csőtágító próba, reszelési próba, szikrapróba. A reszelési

próba például a felületedzettség gyors műhelyi ellenőrzésére szolgál — ha a reszelő „csúszik” a felületen, az kemény, edzett felületre utal; ha „fog”, akkor lágyabb anyagra.

8.5.6. Roncsolásmentes vizsgálatok: festékdiffúziós, mágnesporos, ultrahangos, örvényáramos, röntgen

A javításban a legnagyobb gyakorlati értéke a **roncsolásmentes vizsgálatoknak** van, mert az alkatrészt tönkretétel nélkül vizsgálhatod, és megfelelő eredmény esetén beépíthető marad. Kormány- és fékrendszeri biztonsági alkatrésznél a vizsgálat eredménye alapján a további felhasználásról csak a gyártói előírás keretében szabad dönteni.

Festékdiffúziós vizsgálat: a folyadék a nyitott, felületi repedésbe kapilláris úton behatol, majd a fehér előhívó a repedésből kiszívódó festéket kirajzolja. Alkalmas nem porózus, szilárd anyagokra (acél, alumínium, kerámia, egyes műanyagok). Gyors, egyszerű, de csak a felületre nyíló repedéseket észleli.

Mágnesporos vizsgálat: ferromágneses anyagot (acél) felmágnesezünk, és finom mágneses port viszünk fel. A repedés körüli szórt mágneses térnél a por összegyűlik, láthatóvá téve a hiba helyét. Csak ferromágneses anyagokhoz használható, és utána demagnetizálásra lehet szükség.

Ultrahangos vizsgálat: nagyfrekvenciás hanghullámot juttatnak az anyagba; a hiba, a hátsó fal és a felületek visszaverik a hullámot. Mélyebben fekvő hibák, rétegesedések, hegesztések vizsgálatára is alkalmas. Csatolóanyagot és képzett vizsgálót igényel.

Örvényáramos vizsgálat: váltakozó elektromágneses teret hoznak létre; az anyagban indukált örvényáram a hiba vagy anyageltérés miatt megváltozik. Vezető anyagok (alumínium, acél) felületi hibáira érzékeny, gyakran sorozatvizsgálatra használják.

Röntgenvizsgálat: ionizáló sugárzással áttűnő képet készítenek. Az öntvények belső üregei, folytonossági hibái, nemesacél hegesztések vizsgálhatók. Szigorú sugárvédelmi előírások vonatkoznak rá, csak képzett személyzet végezheti.

Táblázat.

Módszer	Elv	Vizsgálható anyag	Járműjavítási példa	Előny	Korlát
Festékdiffúziós	Kapilláris behatolás	Nem porózus fém, kerámia, egyes műanyagok	Alumínium felni repedése	Olcsó, egyszerű	Csak felületi, alapos tisztítás kell
Mágnesporos	Mágneses szórt tér	Ferromágneses acél	Hajtókar, főtengely, rugó	Gyors, érzékeny	Csak mágneses anyag, demagnetizálás
Ultrahangos	Hanghullám-visszaverődés	Sok fémes és nemfémes anyag	Hegesztett tartó, tengely	Nagy behatolási mélység	Csatolóanyag, szakértelem
Örvényáramos	Elektromágneses indukció	Vezető anyagok	Alumínium futóműelem	Érzékeny, sorozatvizsgálatra jó	Elsősorban felületi hiba

Röntgen	Ionizáló sugárzás	Szinte minden anyag	Öntvény, hegesztett kerék	Belső hibák látszanak	Sugárvédelmi költség, személyi feltétel

A táblázat módszerválasztási tájékoztató; az adott alkatrész vizsgálatához a gyártói előírást és a hatályos szabványt kell követni (ellenőrizendő).

8.5.7. Minőségellenőrzés

A vizsgálat akkor ér valamit, ha az eredményt dokumentálod, és a mért értéket a megfelelő követelményhez hasonlítod. A szakítóvizsgálatnál az anyagtanúsítványban megadott $R_{p0,2}$ és R_m értékek mellett a nyúlást is ellenőrzöd. Keménységmérésnél a módszernek megfelelő skálát kell feltüntetni (például `HRC 32`), és a mérési bizonytalanságot is ismerni. Roncsolásmentes vizsgálatnál a jelzés elhelyezkedését, alakját és méretét a vizsgálati utasítás szerint értékelik.

8.5.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy használt autó eladás előtti átvizsgálásakor az ügyfél kéri, hogy a szerelő ellenőrizze a kovácsolt alumínium keréktárcsákat, mert az egyiken tompa ütésnyom látszik. A tárcsát lemosva, zsírtalanítva festékdiffúziós vizsgálattal ellenőrzöd. A penetráló vörös festéket felviszed, a felesleget eltávolítod, majd fehér előhívót fújsz rá. Tíz perc múlva az ütésnyom közelében vékony, vörös indikáció jelenik meg. A tárcsát nem polírozzák ki, hanem selejtezik, mert a repedés a kerék ismételt hajlító igénybevétele alatt tovaterjedhet.

Egy másik esetben egy felújított hajtókart mágnesporos vizsgálatnak vetünk alá. A hajtókart hordozható járommal felmágnesezzük, fehér kontrasztalapot, majd fekete mágneses szuszpenziót viszünk fel rá, és jó megvilágításban szemléljük (fluoreszcens változatnál fluoreszkáló szuszpenziót használunk, sötétített térben UV-A lámpa alatt, ahol a repedés világító vonalként látszik). A csapágyfészek környékén a por egy vékony, éles vonal mentén gyűlik össze: repedés. A darabot visszaselejtezik.

8.5.9. Gyakorlati útmutató: repedésvizsgálat festékdiffúziós eljárással

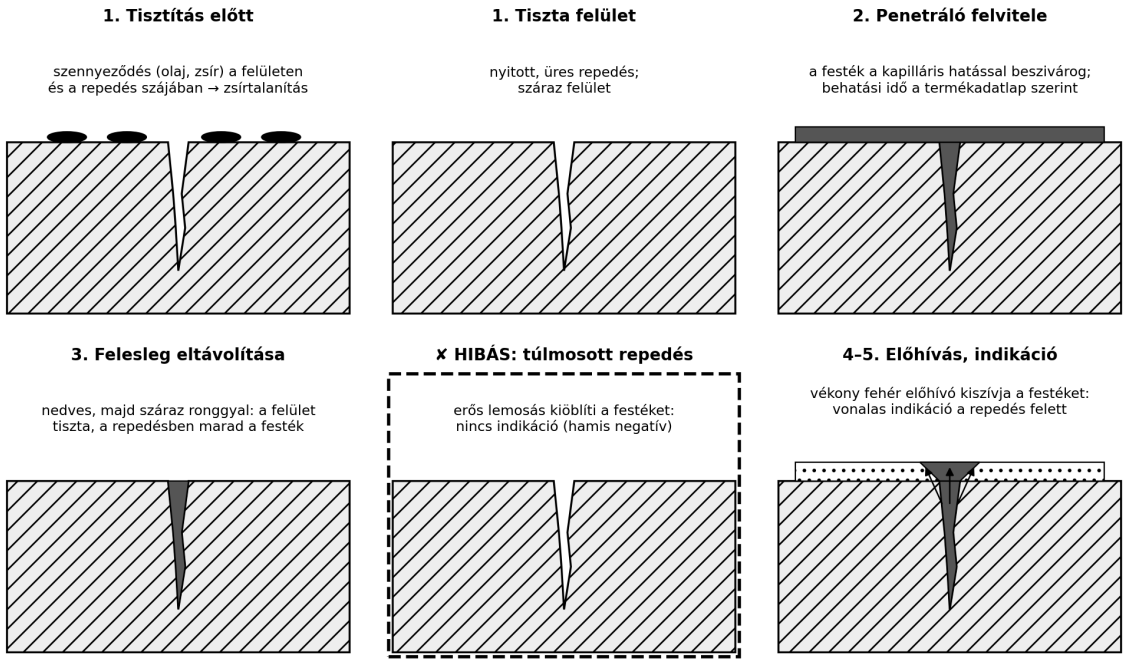
Cél: felületre nyíló repedés kimutatása egy járműalkatrészen.

Jármű- és adatazonosítás: típus, alvázszám, alkatrészazonosító; vizsgálati utasítás.

Szerszámok, eszközök, anyagok: tisztító/zsírtalanító, festékdiffúziós penetráló, előhívó, tiszta rongy, védőkesztyű, UV-A lámpa (fluoreszcens penetráns esetén; a vörös–fehér kontrasztos rendszer látható fényben értékelhető), nagyító, munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: munkaterület szellőztetése; vegyszerálló kesztyű; a festék, tisztító és előhívó biztonsági adatlapjának ismerete; a használt törlőrongyot és maradék vegyszert veszélyes hulladékként gyűjteni.



8.10. ábra. Festékdiffúziós repedésvizsgálat fázisai egy felületi repedés nagyított metszetén, a munkalépések számozásával; a hibás, túlmosott eset külön kockában (sematikus rajz)

A képsor megmutatja, miért nem szabad a repedést kimosni: a 3. lépés után a felület tiszta, de a repedésben bent marad a festék, és ezt szívja ki az előhívó; túlmosott repedésnél nincs mit kiszívni, ezért indikáció sem lesz.

Számozott munkalépések: 1. Az alkatrészt zsírtalanítószerrel alaposan tisztítsd meg; hagyd megszáradni. 2. A penetráló folyadékot ecsettel vagy spray-vel vidd fel a vizsgálandó felületre; hagyd a gyártói behatási időt, jellemzően kb. 5–10 percig (ellenőrizendő: termékadatlap). 3. A felesleges penetrálót nedves ronggyal, majd szárazzal távolítsd el; ne mosd ki a repedésből a behatolt festéket. 4. Fújj fel egyenletes, vékony előhívó réteget; ne folyasd meg. 5. Várj a gyártói előhívási időt; figyeld a vörös indikációk megjelenését. 6. Jelöld az indikáció helyét, készíts fényképet, és az eredményt rögzítsd a munkalapon. 7. Az eljárás után a vizsgált darabot a műhelyi előírás szerint tisztítsd meg.

Ellenőrzési pontok: a felület tiszta-e; az indikáció hossza, alakja és iránya; a termék hőmérsékleti tartománya (pl. 10–40 °C – termék szerint); az UV-A lámpa fénye és a védőszemüveg. **Tipikus hiba:** a túlzott penetráló mennyiség vagy a rövid behatási idő hamis negatív eredményt adhat; a felesleg eltávolítása előtti túl erős lemosás pedig kiöblítheti a repedésből a festéket.

8.5.10. Tipikus hibák

1. **A szakítódiagramról a feszültséget az erővel keverik.** A diagram függőleges tengelye lehet F [N] vagy σ [MPa]; ha F szerepel, a feszültséghez osztani kell A_0-val. Helyes gyakorlat: mindig ellenőrizd a tengelyfeliratot.
2. **A keménységmérési értéket módszer nélkül hasonlítják.** A `HBW 180`, `HV 210` és `HRC 45` nem csereszabatos; meg kell adni a mérési módszert is. Helyes gyakorlat: a mérési jegyzőkönyvben a módszert és a skálát rögzítsd.

3. **Roncsolásmentes vizsgálatot szennyezett, zsíros felületen végeznek.** A festékdiffúziós és mágnesporos vizsgálat hibás jelet adhat, vagy éppen elfedheti a repedést. Helyes gyakorlat: a vizsgálat előtti tisztítás az eljárás része, nem „külön extra”.
4. **A mágnesporos vizsgálat után nem demagnetizálnak.** A visszamaradt mágnesesség fémrészecskét vonz, ami később a csapágyfelületet vagy a kenőanyagot szennyezheti. Helyes gyakorlat: a mérési utasítás szerinti leolvasás után demagnetizálás és ellenőrzés.

8.5.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a R_m szakítószilárdság az eredeti keresztmetszettel számolható?
2. Melyik keménységmérési módszer hagy nagyobb benyomódást: a Brinell vagy a Vickers?
3. Egy ferromágneses acél hajtókar felületi repedését milyen roncsolásmentes módszerrel vizsgálnád? Miért?
4. Mi a különbség a folyáshatár és a szakítószilárdság között a szakítódiagramon?
5. Miért kell a festékdiffúziós vizsgálatnál a penetráló folyadék után a felesleget óvatosan eltávolítani?

8.5.12. Feladatok

1. feladat (A). Egy 10 mm átmérőjű hengeres próbatestet szakítóvizsgálatnak vetünk alá. A maximális erő 50 000 N. Számítsd ki a szakítószilárdságot.

2. feladat (A). Ugyanannál a próbatestnél a 0,2%-os egyezményes folyáshatárhoz tartozó erő 35 000 N. Mekkora a folyáshatár $R_{p0,2}$?

3. feladat (B). A próbatest kezdeti mérőhossza 50 mm, szakadás után 63 mm. Számítsd ki a szakadási nyúlást százalékban.

4. feladat (B). Egy szakítódiagramon a függőleges tengely erőben van megadva. A próbatest átmérője 8 mm. A maximális erő a diagramról 40 000 N. Hogyan számítod ki a szakítószilárdságot? Végezd el a számítást.

5. feladat (C). Két anyag szakítódiagramját hasonlítod össze: az egyik görbe rövid nyúlással, magas csúccsal törik; a másik nagy nyúlással, alacsonyabb csúccsal. Melyik a ridegebb, és melyik a szívósabb? Hol lehet ilyen különbség a járműben alkatrészválasztás szempontjából?

6. feladat (D). Egy javítás során egy használt alumínium kormányösszekötő gömbcsuklóházat akarsz repedésmentesség szempontjából ellenőrizni. Milyen roncsolásmentes módszert választanál? Indokold, és mondd el a vizsgálat fő lépéseit.

8.5.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz; a mérnöki feszültség az eredeti A_0 keresztmetszettel számol, ezért $R_m = F_m / A_0$.
2. A Brinell hagy nagyobb benyomódást, mert általában nagyobb golyót és nagyobb erőt használ; a Vickers kisebb, érzékenyebb benyomódást ad.
3. Mágnesporos vizsgálatot, mert az acél ferromágneses, és a módszer felületi repedések kimutatására nagyon érzékeny.
4. A folyáshatár az a feszültség, ahol a maradó alakváltozás megindul; a szakítószilárdság a maximális erőhöz tartozó feszültség, a görbe csúcsánál.

5. Mert a repedésből kimosott penetrálóval hamis negatív eredményt kapnánk; csak a felületi felesleget szabad eltávolítani.

1. feladat megoldása.

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot (10{,}0\,\mathrm{mm})^2}{4} = 78{,}5\,\mathrm{mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{A_0} = \frac{50\,000\,\mathrm{N}}{78{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 637\,\mathrm{MPa}$$

Ellenőrzés: ez közepes széntartalmú vagy nemesíthető acélra jellemző érték (lágy szerkezeti acélnál kb. 360–510 MPa; ellenőrizendő: anyagszabvány), a nagyságrend reális. ∎

2. feladat megoldása.

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{A_0} = \frac{35\,000\,\mathrm{N}}{78{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 446\,\mathrm{MPa}$$

Ellenőrzés: a folyáshatár kisebb a szakítószilárdságnál, ami szívós acélra jellemző. ∎

3. feladat megoldása.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\,\% = \frac{63\,\mathrm{mm} - 50\,\mathrm{mm}}{50\,\mathrm{mm}} \cdot 100\,\% = 26\,\%$$

Ellenőrzés: a 26% nyúlás szívós szerkezeti acélra jellemző. ∎

4. feladat megoldása.
Először kiszámítjuk a keresztmetszetet:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot (8{,}0\,\mathrm{mm})^2}{4} = 50{,}3\,\mathrm{mm}^2$$

Majd a szakítószilárdságot:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0} = \frac{40\,000\,\mathrm{N}}{50{,}3\,\mathrm{mm}^2} = 795\,\mathrm{MPa}$$

Ellenőrzés: az egységek $\mathrm{N/mm^2} = \mathrm{MPa}$, és az érték egy erősebb acélra jellemző. ∎

5. feladat megoldása.
A rövid nyúlás, magas csúcsú görbe rideg anyagra utal (pl. öntöttvas, edzett, de nem szívós acél); a nagy nyúlás, alacsonyabb csúcsú görbe szívós anyagra jellemző (pl. lágy acél, alumíniumötvözet). A járműben ez a választás kulcsa: például a biztonsági öv rögzítőcsavarja szívós acélt igényel, mert túlterheléskor inkább alakuljon képlékenyen, mint hirtelen törjön.

6. feladat megoldása.
Alumínium alkatrésznél a mágnesporos vizsgálat nem működik, mert az alumínium nem ferromágneses. A festékdiffúziós vizsgálat megfelelő, ha a repedés a felületre nyílik; felszín közeli hibára örvényáramos vizsgálat, mélyebben fekvő hibára ultrahangos vagy röntgenvizsgálat jöhet szóba (szakszolgáltatóval). A festékdiffúziós vizsgálat lépései: tisztítás, penetráló felvitel, behatási idő, felesleg eltávolítás, előhívó, megjelenés, értékelés, dokumentálás.

8.5.14. Rövid összefoglaló

A roncsolásos anyagvizsgálatok közül a szakítóvizsgálat adja a legfontosabb szilárdsági jellemzőket: a folyáshatár ($R_{p0,2}$) a maradó alakváltozás kezdetét, a szakítószilárdság (R_m) a maximális erőhöz tartozó feszültséget, a szakadási nyúlás (A) pedig a képlékeny alakváltozó képességet mutatja. A keménységmérés Brinell-, Vickers-, Rockwell- és dinamikus módszerekkel gyors, tájékoztató értéket ad, de a mérési módszert mindig rögzíteni kell. A járműjavításban a roncsolásmentes vizsgálatok alapvetők: a festékdiffúziós eljárás alumínium és más nem ferromágneses anyagok felületi repedéseit mutatja ki, a mágnesporos vizsgálat acél alkatrészek felületi hibáit, az örvényáramos vizsgálat a felszín közeli, az ultrahangos és a röntgenvizsgálat pedig a mélyebben fekvő hibákat is jelzi. A vizsgálat csak akkor megbízható, ha a felületet előkészíted, az értékeket dokumentálod és a gyártói vagy szabványos követelményhez hasonlítod.

Továbbvitt eredmény. A szakítódiagram jellemző pontjainak leolvasása, a keménységmérés értelmezése és a roncsolásmentes repedésvizsgálati módszer kiválasztása a későbbi anyagválasztási és hibakereső döntések alapja; különösen a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés alfejezet mintafeladataiban használjuk ezeket az eljárásokat.

8.5.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: anyagvizsgálati szakképzési tankönyvek, nemzetközi szabványok (ISO 6892, Brinell/Vickers/Rockwell-szabványok), roncsolásmentes vizsgálati szabványok, munkavédelmi és környezetvédelmi előírások, gyártói vizsgálati utasítások. Kifejezetten ellenőrizendő állítások: a szabványok pontos, hatályos jelölése és száma; a szakítóvizsgálati jelölési konvenció; a festékdiffúziós és mágnesporos behatási, előhívási idők és hőmérséklet-tartományok (termék- vagy szabványfüggők); a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazhatósági határai a konkrét anyagra és alkatrészre.

9 Kézi és gépi megmunkálás, mérés és szerelés a tanműhelyben

9.1. Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek

9.1.1. Motiváció

Egy műhelyben a leggyakoribb diagnosztikai kérdés nem az, hogy „van-e hiba”, hanem az, hogy „mekkora a hiba”. A féktárcsa vastagsága, a hengerfurat kopása, a csapágyhézag vagy a tengelycsap átmérője csak akkor ítélhető meg felelősséggel, ha pontosan megmérjük. A tűréshatárok gyakran század- vagy ezredmilliméterben vannak megadva, ezért a szerelőnek nem elég ránézésre vizsgálnia az alkatrészt. Ebben az alfejezetben a műhelyi hossz- és szögmérés alapműszereit tanuljuk meg: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, furatmérő és idomszerek. Az itt szerzett biztonságos leolvasási tudást a Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás alfejezetben az előrajzolásnál és a méretellenőrzésnél közvetlenül használjuk.

9.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy féktárcsát a munkapadon. A szerelő egy kengyeles mikrométerrel a tárcsa vastagságát méri négy ponton. Az üllő és az orsó közé fogja a tárcsát, és a racsnis kuplunggal éppen addig húzza az orsót, amíg a racsni át nem csúszik. A dob peremén a főskála milliméterosztása látható, a dob kerületén pedig 50 osztás, így minden osztás 0,01 mm-nek felel meg. A mérőóra mágneses állványon áll, tapintója a tárcsa homlokfelületére támaszkodik, és a tárcsa lassú forgatásakor a mutató kitérése a felület ütését mutatja. Ez a „mérés – jármű – rajz” hármas: az alkatrészrajzon megadott méretet és tűrést a járművön vagy a munkapadon mérőeszközzel ellenőrizzük.

9.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **mérés** egy fizikai mennyiség összehasonlítása egy ismert nagyságú etalonnal vagy mérőeszközzel, és az eredmény számértékkel és mértékegységgel való megadása.

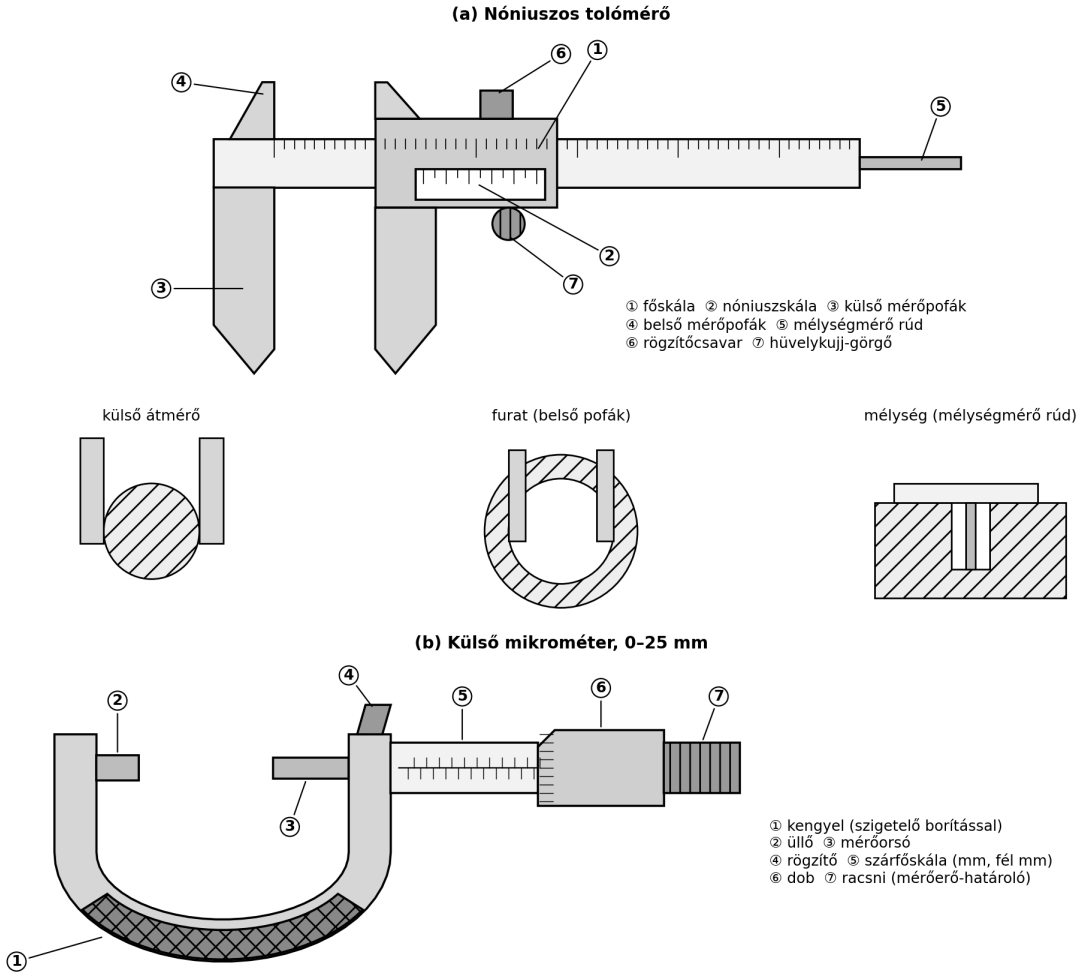
Definíció. Az **ellenőrzés** annak eldöntése, hogy a mért érték egy előírt méret-, tűrés- vagy kopási határon belül van-e. Az ellenőrzés tehát nem feltétlenül ad pontos számértéket, hanem „jó” vagy „nem jó” döntést.

Összefüggés. A mérőeszköz **felbontása** (beosztási értéke) a legkisebb, közvetlenül leolvasható változás. A **leolvasási hiba** ennél kisebb lehet, ha interpolálunk (például mikrométernél 0,001 mm-t becsülünk), de a becslés bizonytalansága megnő.

Szabály. A mérési eredményt mindig úgy adjuk meg, hogy a mért értéket, az egységet és a mérési bizonytalanságot is jelezzük. Például: „a féktárcsa vastagsága 22,35 mm ± 0,01 mm” (az érték tanulási példa).

9.1.4. Felépítés és működés

9.1.4.1. Tolómérő (nóniuszos tolómérő)



9.1. ábra. A nóniuszos tolómérő és a 0–25 mm-es mikrométer részei számozott megnevezéssel, valamint a tolómérő három mérési módja (sematikus rajz)

Az ábrán a tolómérő ①–⑦ (főskála, nóniuszskála, külső és belső mérőpofák, mélységmérő rúd, rögzítőcsavar, hüvelykujj-görgő) és a mikrométer ①–⑦ (kengyel, üllő, mérőorsó, rögzítő, szárfőskála, dob, racsni) részei láthatók; a lenti szöveg ezek szerepét írja le.

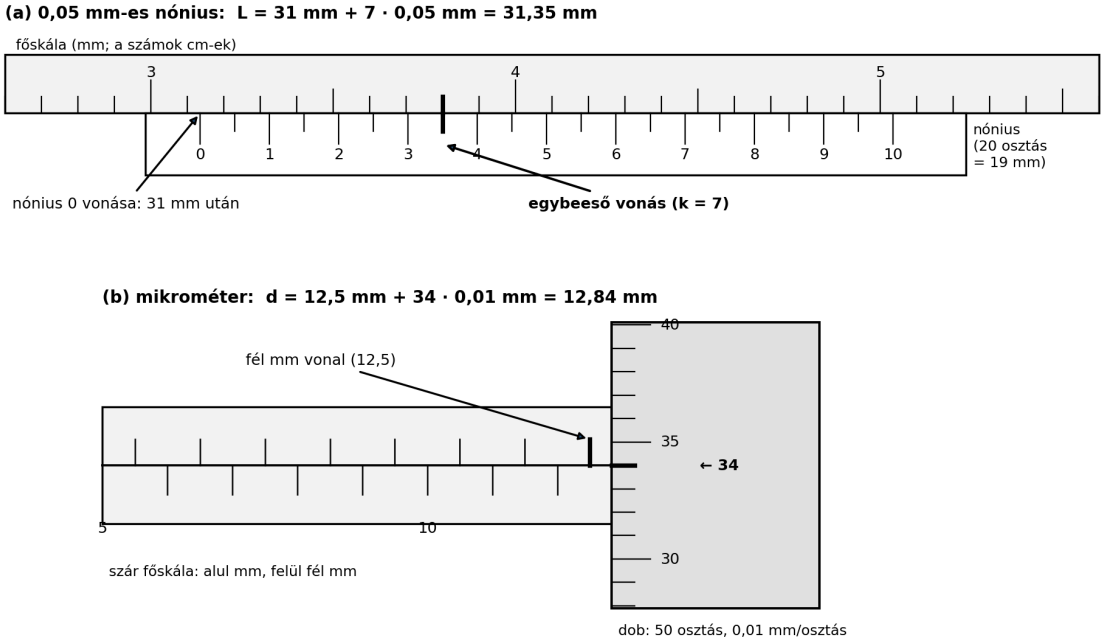
A tolómérő fő részei: a főskála (mm beosztással), a rajta csúszó nóniusz skála, a külső mérőpofák (külső méret mérésére), a belső mérőpofák (furatok mérésére) és a mélységmérő pálca (mélységekhez). A nóniusz elve: a nóniuszskála hossza például 19 mm, és 20 részre van osztva, így egy osztása 0,95 mm. A főskála 1 mm-es és a nóniusz 0,95 mm-es osztása közötti különbség 0,05 mm. Amikor a tolómérő pofái érintkeznek, a nóniusz 0 vonása a főskála 0 vonásával esik egybe.

Leolvasás 0,05 mm-es nóniusszal: először megkeressük, hogy a nóniusz 0 vonása a főskála melyik milliméter-értéke után áll (egész mm). Ezután megkeressük, hogy a nóniusz melyik vonása esik egybe pontosan egy főskála-vonással; ezt a sorszámot megszorozzuk 0,05 mm-rel, és az egész milliméterhez adjuk.

Példa. A nóniusz 0 vonása a főskála 31 mm-es vonása után áll, és a nóniusz 7. vonása egybeesik egy főskála-vonással. Az érték:

$$L = 31\,\text{mm} + 7 \cdot 0{,}05\,\text{mm} = 31{,}35\,\text{mm}.$$

0,02 mm-es nóniusz: itt a nóniusz 49 mm-t 50 részre oszt, így egy osztás 0,98 mm, a különbség 0,02 mm. A leolvasás azonos elvű.



Kiemelés vastag vonallal: az egybeeső nóniuszvonás, a fél mm vonal és a dob alapvonalhoz igazodó osztása.

9.2. ábra. Nónius- és mikrométer-leolvasás: 0,05 mm-es nónius 31,35 mm-es állásban (a 7. vonás egybeesik) és mikrométer 12,84 mm-es állásban

Az (a) részen a nónius 0 vonása a 31 mm-es vonás után áll, és a 7. nóniuszvonás esik egybe egy főskála-vonással: 31,35 mm. A (b) részen a szárfőskálán a 12,5 mm-es fél milliméteres vonal még látszik, a dob 34. osztása áll az alapvonalnál: 12,84 mm (2. feladat). A HTML-változatban a méret csúszkával állítható, a 0,02 mm-es nónius és a mikrométer is választható, kvízmóddal.

9.1.4.2. Mikrométer

A mikrométer (mikrométercsavar) merev kengyelen alapul. Az üllő (fix mérőfelület) és az orsó (mozgó mérőfelület) között a mérendő darabot fogjuk be. A mérőorsó emelkedése pontosan 0,5 mm egy fordulatra. A dob kerületén 50 osztás van, így egy osztás 0,5 mm / 50 = 0,01 mm-nek felel meg. A dob pereme és a szár főskálája együtt mutatja a méretet: a szárfőskála felső vonalai a fél millimétereket, az alsó a millimétereket jelzik. A dob peremén az osztásokat 0,01 mm-re olvassuk le.

Leolvasás: A szárfőskálán leolvassuk a látható milliméter- és fél milliméter értéket. Ezután a dob peremén megkeressük, hogy a vízszintes alapvonal melyik osztáshoz igazodik; ezt megszorozzuk 0,01 mm-rel, és hozzáadjuk. A racsnis kuplung biztosítja az állandó mérőerőt, így elkerüljük a túlhúzásból adódó téves méretet.

9.1.4.3. Mérőóra

A mérőóra (indikátoróra) fogaslécfogaskerék áttétellel nagyítja a mérőtapintó elmozdulását. A leggyakoribb mérőóra felbontása 0,01 mm, mérési tartománya például 10 mm. A nagymutató egy körbefordulása általában 1 mm-nek felel meg, a kis mutató a millimétereket számolja. A mérőórát mágneses állványra vagy mérőhídra rögzítjük, és a mérendő felülethez érintjük, majd a skálát nullázzuk. Az ütés mérésénél a darabot lassan forgatjuk, és a mutató maximális és minimális kitérésének különbségét olvassuk le.

9.1.4.4. Hézagmérő

A hézagmérő egymásra hajtogatott, különböző vastagságú (például 0,05–1,00 mm) vékony acéllemez-lamellákból áll. A kívánt hézagba egy vagy több lamellát próbálunk behelyezni. A megfelelő vastagság az, amelyik éppen befér, de nem lazán. A hézagmérőt szelephézag, gyertyahézag, holtjáték és hasonló kis rések mérésére használjuk.

9.1.4.5. Csapágyhézag mérése plastigage-zsel

A plastigage kalibrált átmérőjű műanyag szál, amely összenyomva szétlapul. A szálat a zsírtalanított csapra (vagy csapágycsészére) helyezzük, a csapágyfedelet előírt nyomatékkal meghúzzuk, miközben a főtengelyt nem fordítjuk el. Bontás után a szétlapult szál szélességét a csomagoláson levő skálával összevetve kapjuk a hézagot (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

9.1.4.6. Furatmérők

A furatok belső átmérőjének mérésére belső mikrométert vagy furatmikrométert használunk. A furatmikrométer három, rugóval feszített mérőpofája központosít a furatban, és a leolvasás a hagyományos mikrométerhez hasonló, de itt a mérőerőt a belső rugó biztosítja. A pontos értéket gyakran egy gyűrűs etalonnal kalibráljuk. A hárompontos furatmikrométer önközpontosító, a racsni állandó mérőerőt ad, ezért nem billegtetjük.

A motorjavításban a hengerfurat mérésének alapműszere a furatmérő óra (belső mérőóra): beállítógyűrűn vagy mikrométerrel beállított méretre nullázzuk, majd a furatban a tengely irányában billegtetve a mutató fordulópontját, a legkisebb értéket olvassuk le. A hengerfuratot több magasságban és két egymásra merőleges irányban mérjük (ovalitás, kúposság).

9.1.4.7. Szögmérők

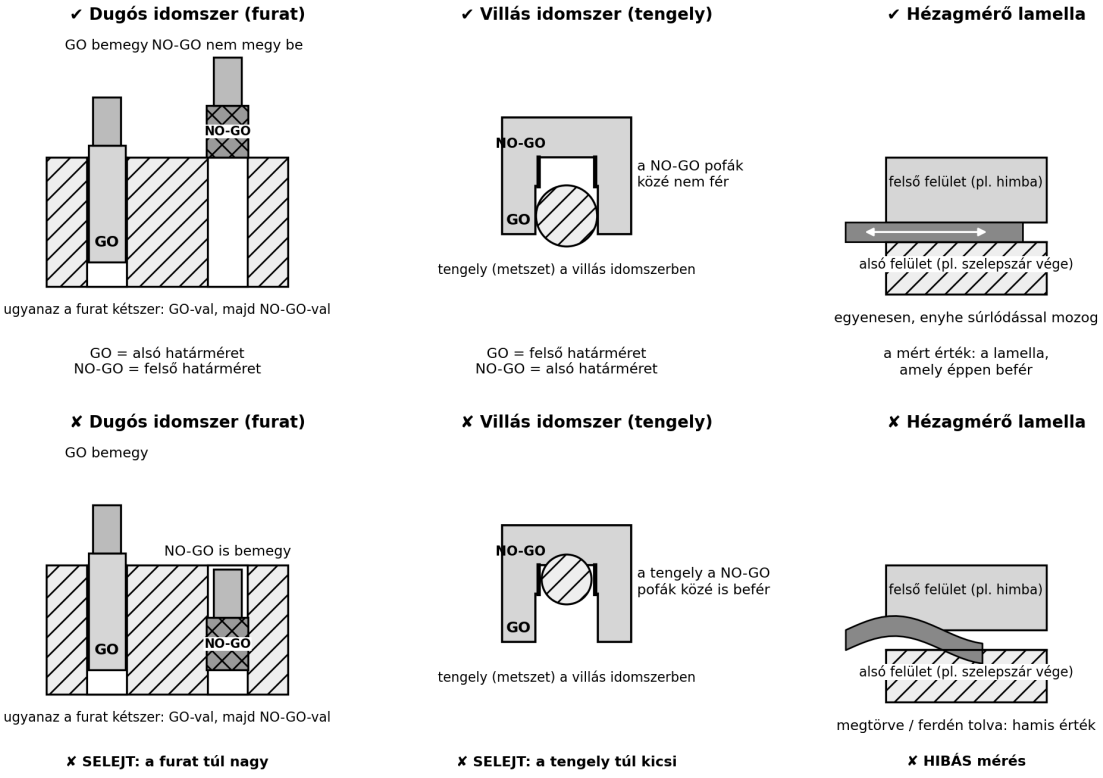
A mechanikus (nóniuszos) szögmérő egy állítható szárpárból és egy szögskálából áll. A főskála fokbeosztású, a nóniusz segítségével 5 ívperces (5′) vagy annál finomabb felbontás érhető el (ellenőrizendő: az adott műszer adata). A járműjavításban alkatrészek élszögének, lemezhajlításnak, fazonok és sablonok ellenőrzésére használjuk; a kormánygeometriai szögeket futóműbeállító berendezéssel mérjük.

9.1.4.8. Idomszerek

Az idomszer nem méretet ad, hanem megfelelőséget vizsgál. Két oldala van: a **GO** („megy”) oldal a megengedett maximális anyagméretet, a **NO-GO** („nem megy”) oldal a minimális anyagméretet képviseli. Ha az idomszer GO oldala rácsúszik a darabra (vagy behelyezhető a furatba), és a NO-GO oldala nem, akkor a méret a tűrésmezőn belül van.

- **Dugós idomszer** furatok ellenőrzésére: a GO oldal a furat alsó határméretének megfelelő átmérőjű csap, a NO-GO oldal a felső határméretnek megfelelő.
- **Villás idomszer** tengelyek ellenőrzésére: a GO oldal a tengely felső határméretének megfelelő nyílás, a NO-GO oldal az alsó határméretnek megfelelő.
- **Menetidomszer**: a GO oldal a teljes menetprofilt ellenőrzi (menetes dugó vagy gyűrű), a NO-GO oldal pedig azt, hogy a menet nem lett-e túl laza.
- **Sugáridomszer (sablon)**: az alkatrész lekerekítésének, horonyméretének vagy menet emelkedésének gyors ellenőrzésére szolgál.

Szabály. Az idomszer használatánál a GO oldalnak önerővel vagy enyhe nyomással fel kell mennie/be kell mennie; a NO-GO oldalnak nem szabad felmennie/be mennie. Ha a NO-GO oldal is ráfér, az alkatrész túl laza, ha a GO oldal sem fér fel, akkor túl szoros.



Keresztsraffozott: NO-GO oldal; ferde sraffozás: munkadarab. Sematikus rajz; a határméreteket a rajz tűrése adja.

9.3. ábra. Dugós és villás idomszer GO/NO-GO oldallal, valamint a hézagmérő lamella helyes (felső sor) és hibás vagy selejtet jelző (alsó sor) használata (sematikus rajz)

A dugós idomszernél a GO oldal az alsó, a NO-GO oldal a felső határméretnek felel meg; a villás idomszernél fordítva. Ha a NO-GO oldal is bemegy a furatba, a furat túl nagy; ha a tengely a villás idomszer NO-GO pofái közé is befér, a tengely túl kicsi. A hézagmérő lamellát egyenesen, enyhe súrlódással kell a résben mozgatni.

9.1.5. Kidolgozott példák

9.1.5.1. 1. kidolgozott példa: furatmérés tolómérővel

Adott: Egy persely belső átmérőjét mérjük durva méretmeghatározásként 0,05 mm-es nóniuszos tolómérővel. A belső mérőpofákat behelyezzük, a nóniusz 0 vonása a főskála 76 mm-es vonása után áll, a nóniusz 8. vonása esik egybe.

Keresett: a furat átmérője.

Képlet: $L = n + k \cdot b$, ahol n az egész mm, k a nóniusz egybeeső vonásának sorszáma, b a nóniusz felbontása (0,05 mm).

Behelyettesítés: $L = 76\,\text{mm} + 8 \cdot 0{,}05\,\text{mm} = 76{,}40\,\text{mm}$.

Eredmény: 76,40 mm.

Ellenőrzés: A persely névleges furata például 76,00 mm; a 0,40 mm eltérés a tolómérő 0,05 mm-es felbontásánál már jól kimutatható, de a tolómérő erre csak tájékoztató mérést ad. Hengerfurat kopásának és ovalitásának megítélésére nem tolómérőt használunk: a kopást furatmérő órával, legalább három magasságban és két egymásra merőleges irányban mérjük (lásd a Furatmérők részt és a Tipikus hibák 5. pontját).

9.1.5.2. 2. kidolgozott példa: tengelycsap mérése mikrométerrel

Adott: Egy főtengely-csap átmérőjét mérjük 50–75 mm-es mikrométerrel (a nullapontot az 50 mm-es beállítóidommal ellenőriztük). A szárfőskála 54,5 mm-t mutat, a dob 27. osztása igazodik a vízszintes alapvonalhoz.

Keresett: a csap átmérője.

Képlet: $d = s + k \cdot r$, ahol s a szárfőskála leolvasott értéke mm-ben, k a dob osztása, $r = 0{,}01\,\text{mm}$.

Behelyettesítés: $d = 54{,}5\,\text{mm} + 27 \cdot 0{,}01\,\text{mm} = 54{,}77\,\text{mm}$.

Eredmény: 54,77 mm.

Ellenőrzés: A gyártói javítási kézikönyv szerint a csap minimális mérete például 54,75 mm a köszörülési határ; a mért érték tehát még éppen használható, de a csapágyhézagot plastigage-zsel is ellenőrizni kell.

9.1.6. Minőségellenőrzés és a mérőeszköz kiválasztása

Táblázat. Gyakori műhelyi mérőeszközök összehasonlítása.

Eszköz	Jellemző felbontás	Tipikus mérési tartomány	Alkalmazás a járműjavításban
Tolómérő nóniuszos	0,05–0,02 mm	0–150 mm, 0–300 mm	külső/belső méret, mélység
Mikrométer	0,01 mm (becslés 0,001 mm)	0–25, 25–50, 50–75 mm stb.	tengelyátmérő, féktárcsa vastagság
Mérőóra	0,01 mm (finom: 0,001 mm)	1–10 mm	ütés, fedés, holtjáték

Eszköz	Jellemző felbontás	Tipikus mérési tartomány	Alkalmazás a járműjavításban
Hézagmérő	– (lamellavastagság)	0,05–1,00 mm	szelephézag, gyertyahézag
Dugós/villás idomszer	– (jó/nem jó)	a tűrésmező szerint	tömeges alkatrész-ellenőrzés

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a konkrét mérőeszköz gyári adata).

Szabály. A mérés előtt ellenőrizzük a műszer nullázását: tolómérőnél a pofák összezárásakor a nóniusz 0 vonása a főskála 0 vonására esik; mikrométernél az üllő és orsó érintkezésekor a dob 0 osztása az alapvonalra esik. Ha nem, akkor a műszert kalibrálni kell, vagy az eltérést korrekcióként figyelembe kell venni.

Előírás. A mérőeszközöket rendszeresen ellenőrizni kell etalonnal (például mérőhasáb vagy kalibrálógyűrű). A hitelesítés és kalibrálás gyakoriságát a műhely minőségbiztosítási előírása és a gyártói utasítás adja meg; a járműjavításban a gyártói javítási adat az elsődleges (ellenőrizendő: a hatályos minőségbiztosítási előírás).

9.1.7. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Környezetvédelem. A mérés során a féktárcsáról leváló fékport nem fújjuk le sűrített levegővel, mert az azbeszt is lehet benne (régebbi járműveken); nedves ruhával vagy zsírtalanítóval tisztítunk, az olajos hulladékot a veszélyeshulladék-gyűjtőbe tesszük.

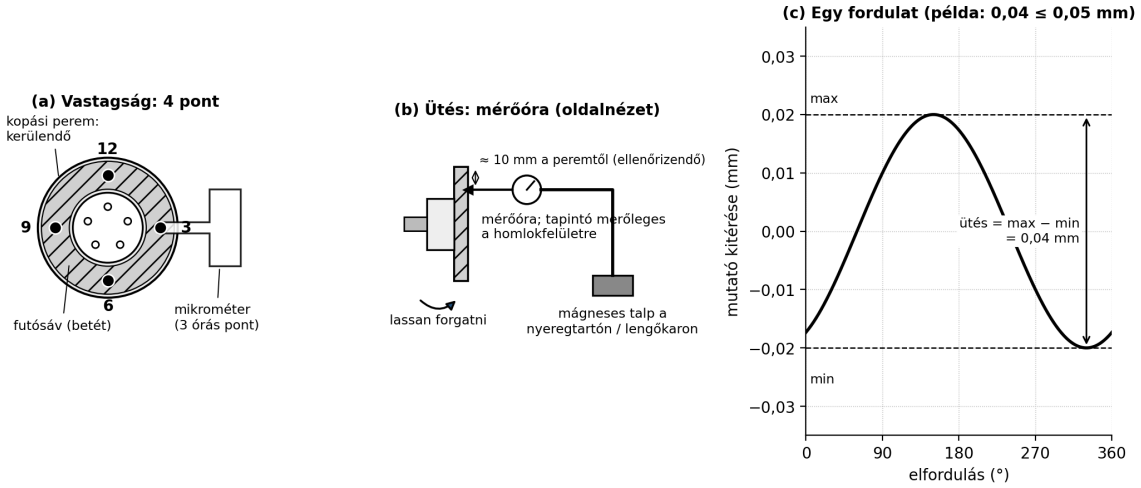
9.1.7.1. Féktárcsa vastagság- és ütésmérés munkalap

Cél: annak eldöntése, hogy a féktárcsa vastagsága a gyártói kopáshatár felett van-e, és felületi ütése nem haladja-e meg az előírt értéket.

Jármű- és adatazonosítás: járműazonosító (VIN), típus, futásteljesítmény, a gyártói javítási utasításban megadott újkori vastagság, minimális vastagság és megengedett ütés (például 24,0 mm újkori, 22,0 mm minimum, 0,05 mm ütés – ellenőrizendő).

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: kerékemelő, bakok, kerékcsavar-oldó, 0–25 mm-es mikrométer, mérőóra mágneses állvánnyal, féktisztító, védőkesztyű, védőszemüveg, munkalap.

Figyelem. A jármű alá csak a gyártói emelési pontokon, bakra támasztva szabad bemenni; pusztán kocsiemelővel tartott jármű alatt tilos dolgozni. A féktárcsa forró lehet a próbaút után – várjuk meg a lehűlést.



A határértékek (min. vastagság, megengedett ütés, tapintóhelyzet) gyártói adatok – ellenőrizendők. Sematikus rajz.

9.4. ábra. Féktárcsa vastagság- és ütésmérése: a négy mérési pont a futósávban, a mérőóra elhelyezése és a mutató kitérése egy fordulat alatt (sematikus rajz, példaértékek)

Az ábra az 5. lépés négy mérési pontját (12, 3, 6, 9 óra a fékbetét futósávjában, a kopási perem kikerülésével) és a 8–9. lépés mérőóra-beállítását mutatja: a tapintó merőlegesen, a külső perem közelében érinti a homlokfelületet, a fordulat alatti legnagyobb és legkisebb kitérés különbsége az ütés. A HTML-változatban a tárcsa forgatható, és a mérőóra mutatója követi a beállított ütést.

Lépések:

1. Rögzítsük a járművet, húzzuk be a rögzítőféket, és a még felemelés előtt lazítsuk meg a kerékcsavarokat.
2. Emeljük meg a járművet a gyártói emelési ponton, majd helyezzünk alá bakot.
3. Szereljük le a kereket; jegyezzük fel a kerékcsavarok meghúzási nyomatékát (például 120 Nm – ellenőrizendő).
4. Tisztítsuk meg a féktárcsa mérési felületét féktisztítóval.
5. Nullázzuk a mikrométert, majd mérjük meg a tárcsa vastagságát legalább négy ponton (12, 3, 6 és 9 óra helyzetben, a fékpofa által futott sávban).
6. Írjuk fel minden mért értéket; a legkisebb érték a mérvadó.
7. Hasonlítsuk össze a minimális vastagsággal. Ha a mért érték kisebb, a tárcsa cserére szorul; ha közel van a határhoz, a gyártói előírás szerint döntsünk.
8. Rögzítsük a tárcsát a kerékcsavarokkal és távtartó alátétekkel (vagy anyákkal) az agyhoz a gyártó által előírt nyomatékkal (ellenőrizendő: gyártói adat), hogy mérés közben ne mozduljon.
9. Állítsuk fel a mérőórát úgy, hogy a tapintó a tárcsa homlokfelületére, a külső peremtől néhány mm-re (ellenőrizendő: gyártói adat) támaszkodjon, és nullázzuk.
10. Forgasuk lassan a tárcsát. Olvassuk le a maximális és minimális kitérést; a különbség a felületi ütés.
11. Hasonlítsuk össze a megengedett ütéssel (például 0,05 mm – ellenőrizendő). Ha nagyobb, mérjük meg az agy homlokütését is; a tárcsa elfordítása az agyon (áthelyezés) csökkentheti az eredő ütést. Ha így is nagyobb, a tárcsa esztergálása vagy cseréje szükséges a gyártói utasítás szerint.
12. Szereljük vissza a kereket, húzzuk meg a csavarokat a megadott nyomatékkal keresztben, majd a kocsiemelő leengedése után húzzuk után.
13. Dokumentáljuk a mért értékeket a munkalapon; jegyezzük be a szervizkönyvbe.

Ellenőrzési pontok: a mikrométer nullázása, a mérési pontok száma és helyzete, a minimális vastagság, az ütés maximális értéke.

Tipikus hiba: a tárcsa vastagságát csak egy ponton mérik, így a kopottabb pontot nem veszik észre; az ütésméréshez túlságosan rezgő állványt használnak.

9.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél arra panaszkodik, hogy fékezéskor a kormány rezeg, és a fékút hosszabb. A szerelő kiolvassa a hibakódot – nincs tárolt hiba. A szervizben a féktárcsákat megmérik. A bal első tárcsa vastagsága 22,4 mm, a gyártói minimum 22,0 mm (ellenőrizendő), tehát még a határ felett van. Az ütésmérés azonban 0,12 mm-t mutat, míg a megengedett 0,05 mm. A tárcsa tehát nem vastagsági kopás, hanem felületi ütés miatt selejt. A szerelő új tárcsát és új fékbetéteket szerel be, a fékpedál érzése és a kormányrezgés megszűnik. Tanulság: a vastagságmérés önmagában nem elegendő – az ütést is mérni kell.

9.1.9. Tipikus hibák

1. **Ferde befogás (koszinuszhiba)** – ha a műszer nem merőleges a mérendő felületre, külső méretnél nagyobbat, furatnál kisebbet mérünk. **Abbé-hiba** – a tolómérő skálája nem esik a mérendő méret vonalába, ezért túl nagy pofanyomásnál a pofák megbillennek; a mikrométer ezt az elvet teljesíti, ezért pontosabb. A mérőpofákat mindig pontosan a mérendő felületre merőlegesen kell beállítani, és egyenletes, kis mérőerővel kell mérni.
2. **Túl nagy mérőerő** – a mikrométert a racsnis kuplung nélkül húzva eltorzítjuk az alkatrészt, és kisebb méretet olvasunk le. Mindig a racsnit használjuk.
3. **Nullázás elmulasztása** – ha a mikrométer vagy a mérőóra nincs nullázva, az összes mért érték szisztematikus hibát szenved. Minden mérés előtt nullázni kell.
4. **Hőmérsékleti hiba** – a meleg motoron mért hengerátmérő nagyobb lehet, mint hidegen. A gyártói javítási adat általában szobahőmérsékletre vonatkozik; várjuk meg a lehűlést.
5. **Nem megfelelő eszköz kiválasztása** – a fékbetét-szög hézagát mikrométerrel lehetetlen mérni, a hengerfuratot pedig hézagmérővel nem. A feladathoz illő műszert kell választani: külső mérethez tolómérő vagy mikrométer, kis hézaghoz hézagmérő, furathoz furatmikrométer, ütéshez mérőóra.

9.1.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a mérés és az ellenőrzés között?
2. Egy 0,05 mm-es nóniuszos tolómérőn a nóniusz 0 vonása a főskála 31 mm-es vonása után áll, és a nóniusz 7. vonása egybeesik a főskála egy vonásával. Hány mm a mért érték?
3. Mit jelent az idomszer GO és NO-GO oldala?
4. Mikor használunk mérőórát, és miért nem elég a tolómérő?
5. Mi a plastigage, és milyen járműjavítási feladathoz használjuk?

9.1.11. Feladatok

9.1.11.1. 1. feladat (A)

Nevezd meg a tolómérő részeit, és írd le, milyen mérésekre alkalmas!

9.1.11.2. 2. feladat (A)

Egy mikrométerrel a szárfőskála 12,5 mm-t mutat, a dob 34. osztása igazodik az alapvonalhoz. Hány mm a mért érték?

9.1.11.3. 3. feladat (B)

Egy féktárcsa újkori vastagsága 24,0 mm, kopáshatára 22,0 mm. A szerelő megmérte a tárcsát, és 22,4 mm-t kapott. Mennyi a kopás? Használható-e a tárcsa a gyártói adat szerint (ellenőrizendő)?

9.1.11.4. 4. feladat (B)

Egy 0,02 mm-es nóniuszos tolómérőn a főskála 45 mm-es vonása után a nóniusz 9. vonása egybeesik. Add meg a mért értéket!

9.1.11.5. 5. feladat (C)

Magyarázd el, miért okoz hibát a tolómérő ferde állása! Nevezd meg az elvet, és mondj egy járműjavítási példát, ahol ez a hiba súlyos következménnyel járhat.

9.1.11.6. 6. feladat (D)

Egy hengerfurat átmérője 76,50 mm, a hozzá tartozó dugattyú átmérője 76,42 mm. Számítsd ki a játékot! Ez egy laza illesztés-e? Milyen mérőeszközzel ellenőriznéd a furatot és a dugattyút?

9.1.12. Megoldások

9.1.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A mérés számértéket ad (például 22,4 mm), az ellenőrzés döntést: megfelel-e a tűrésnek vagy kopáshatárnak.
2. $31\,\text{mm} + 7 \cdot 0{,}05\,\text{mm} = 31{,}35\,\text{mm}$.
3. A GO oldal a megengedett maximális anyagméretet, a NO-GO oldal a minimális anyagméretet képviseli; a GO-nak fel kell mennie, a NO-GO-nak nem szabad.
4. Mérőórát ütés, holtjáték, kis elmozdulás mérésére használunk; a tolómérő erre alkalmatlan, mert merev pofái nem tudják folyamatosan követni a forgó alkatrész felületét.
5. A plastigage kalibrált átmérőjű, összenyomva szétlapuló műanyag szál, amelyet a csapágyhézag mérésére használunk: a zsírtalanított csapra helyezzük (a tengelyt nem fordítjuk el), a csapágyfedelet előírt nyomatékkal meghúzzuk, majd a szétnyomódott szál szélességét a mellékelt skála szerint leolvassuk.

9.1.12.2. 1. feladat megoldása

A tolómérő részei: főskála, nóniusz, külső mérőpofák, belső mérőpofák, mélységmérő pálca, rögzítőcsavar. Külső méreteket (például tengelyátmérő), belső méreteket (furat) és mélységet mérhetünk vele.

9.1.12.3. 2. feladat megoldása

$d = 12{,}5\,\text{mm} + 34 \cdot 0{,}01\,\text{mm} = 12{,}84\,\text{mm}$.

9.1.12.4. 3. feladat megoldása

Kopás = újkori vastagság − mért vastagság = 24,0 mm − 22,4 mm = 1,6 mm. A mért érték 22,4 mm, ami a 22,0 mm-es kopáshatár felett van, tehát a tárcsa a vastagság szempontjából használható, de az ütést is ellenőrizni kell.

9.1.12.5. 4. feladat megoldása

$L = 45\,\text{mm} + 9 \cdot 0{,}02\,\text{mm} = 45{,}18\,\text{mm}$.

9.1.12.6. 5. feladat megoldása

A ferde állás ferdeségi (koszinusz-) hibát okoz: ha a tolómérő pofái nem merőlegesek a mérendő felületre, a mért hossz a ferde átfogó lesz, ami külső méretnél nagyobb a tényleges méretnél (furatnál kisebb). Az Abbé-elv azt mondja ki, hogy a mérendő méretnek és a skálának egy egyenesbe kell esnie; a tolómérő ezt felépítéséből adódóan sérti, ezért a pofák megbillenése is hibát okoz (Abbé-hiba), a mikrométer viszont teljesíti az elvet. Járműjavítási példa: ha egy féktárcsa vastagságát ferdén mérjük meg, a mért érték nagyobb lehet, mint a tényleges, és így egy kopott tárcsa is megfelelőnek tűnhet – ezért kell a tolómérő pofáit pontosan a tárcsa homlokfelületére merőlegesen tartani, és a vastagságot több ponton mérni.

9.1.12.7. 6. feladat megoldása

Játék = furat − dugattyú = 76,50 mm − 76,42 mm = 0,08 mm. Ez laza illesztés (a dugattyúnak játéka van a hengerben). A furatot furatmikrométerrel vagy belső idomszerrel, a dugattyút külső mikrométerrel ellenőrizhetjük. A játék megengedett értékét a gyártói javítási adat adja meg (ellenőrizendő).

9.1.13. Rövid összefoglaló

A műhelyi mérés lényege: a mért értéket mindig etalonnal vagy hiteles mérőeszközzel hasonlítjuk össze, és az eredményt a gyártói tűréssel vagy kopáshatárral vetjük egybe. A tolómérő a nóniusz elvén működik: a főskála egész millimétereit a nóniusz egybeeső vonásának sorszáma szorozva a felbontással adjuk hozzá; a gyakori felbontások 0,05 mm és 0,02 mm. A mikrométer a csavarorsó emelkedését használja, a dob 50 osztása 0,01 mm-es leolvasást tesz lehetővé. A mérőóra kis elmozdulásokat, például féktárcsa ütését méri 0,01 mm-re, a hézagmérő pedig kis réseket ellenőriz. Az idomszerek nem méretet, hanem „jó/nem jó” döntést adnak: a GO oldalnak rá kell mennie, a NO-GO oldalnak nem szabad. **Továbbvitt eredmény:** a műhelyi mérési technikákat és a leolvasás pontosságát a Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás alfejezetben az előrajzolásnál és a kész darabok ellenőrzésénél alkalmazzuk. A mérési hibák elkerülésének kulcsa a műszer nullázása, az állandó mérőerő és a megfelelő eszköz kiválasztása.

9.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: méréstechnikai szabványok (például ISO 13385 a tolómérő és mikrométer fogalmaira – ellenőrizendő), gyártói javítási kézikönyvek (féktárcsa vastagság, kopáshatárok, csapágyhézagok), műszaki mérés tankönyvek, gyártói mérőeszköz-katalógusok.

Ellenőrizendő állítások: a konkrét mérőeszköz felbontása, a féktárcsa újkori és minimális vastagsága, a megengedett ütés, a kerékcsavar-meghúzási nyomaték, a henger- és dugattyújáték határértéke, a szögmérő nóniuszának felbontása.

9.2. Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás

9.2.1. Motiváció

Egy autószerelő műhelyben gyakran kell gyári alkatrész helyett vagy mellett egyszerű illesztőlemezt, tartókonzolt, takarólemezt, kábelrögzítőt készíteni, mert az adott járművön a sorozatgyártású elem nem fér el, vagy a régi elkorrodált. Ilyenkor a munkadarabot nem szabad „szemre” levágni és úgy fúrni, hogy a furat ferdén álljon. Ha a furat nem merőleges, a csavar ferde, a menet beszorul, a kötés nem fekszik fel, és a rezgés miatt később meglazul. Ugyanez a helyzet akkor is, ha egy sérült belső menetet kell javítani: ha rossz átmérőjű fúróval készíted elő a menetbetét furatát, a javított menet nem tartja majd a csavart a gyártó által előírt szorítóerővel. Ebből a fejezetből megtanulod azokat a kézi megmunkálási műveleteket, amelyekkel egy egyszerű lemez- vagy rúd-alkatrészt méretpontosan, balesetmentesen le tudsz gyártani és ellenőrizni.

9.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy satuba fogott, 3 mm vastag acéllemezt. A felületén vékony, éles vonalak jelölik a levágandó külső kontúrt, egy pontozóütés pedig a fúrandó furat középpontját. A munkadarab előtt egy sor szerszám fekszik: előrajzoló tű, acél vonalzó, pontozó, fémfűrész, lapos- és félgömbölyű reszelő, süllyesztőfúró, kézi menetfúrókészlet és egy doboz vágóolaj. A tanuló először a lemez szélét választja bázisfelületnek, ahhoz méri a furatok helyét, és a satuban úgy állítja be a munkadarabot, hogy a fúró pontosan a pontozott középpontba süllyedjen. Ez a „rajz–munkadarab–szerszám” hármas ugyanazt a logikát követi, mint később a járművön végzett mérés és javítás: először tájékozódsz, azután vágni, fúrni, alakítani csak akkor kezdesz.

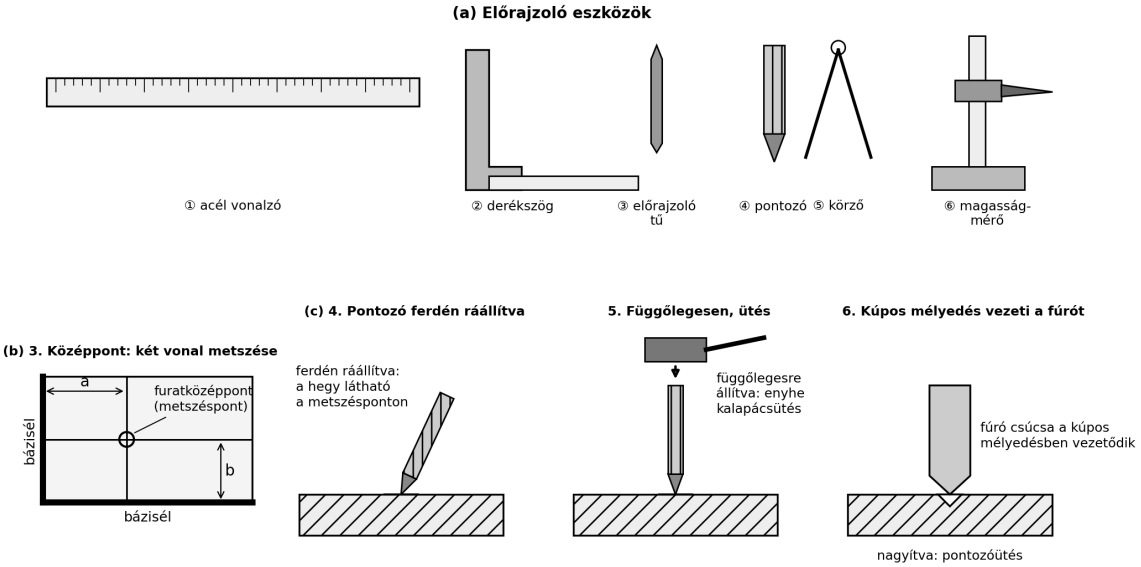
9.2.3. Előrajzolás: bázisfelület, pontozás, rajzolóeszközök

Definíció. Az **előrajzolás** olyan kézi jelölési művelet, amelynek során a munkadarab felületére a rajz méretei alapján felvisszük a megmunkálás határait, a furatok középpontját és a hajlítási vonalakat.

A jó előrajzolás alapja a **bázisfelület** vagy bázisél kijelölése: ez egy olyan sík, él vagy furat, amelyből a többi méretet mérjük. A bázisfelületre mindig merőlegesnek vagy párhuzamosnak kell lennie a munkadarab felfekvő síkjának. Ha például a lemez egyik hosszabbik élét választod bázisnak, minden furatközéppontot ettől az éltől mérj; ha a levágott él ferde, akkor a rossz élhez mért „pontos” furatok is rossz helyre kerülnek.

A gyakori eszközök: acél vonalzó, derékszög, előrajzoló tű, pontozó, körző, mérőhasáb. A pontozóütés azért fontos, mert a fúró hegye a kis kúpos mélyedésben megvezetődik, így a

fúró nem „vándorol el” a kívánt középpontból. A rajzolóvonalka mentén a pontozást enyhe kalapácsütéssel, a pontozó hegyét a vonal metszéspontjára helyezve végezzük.



Sematikus vonalrajz; a lépések a szöveg szerinti munkamenetet követik.

9.5. ábra. Előrajzoló eszközök, jelölés a bázisélről derékszöggel és pontozás a furatközéppontban (sematikus rajz)

A furatközéppont a báziséltől derékszöggel felvett két vonal metszéspontja. A pontozót előbb ferdén ráállítjuk, hogy a hegye látható legyen a metszésponton, majd függőlegesre állítva enyhe kalapácsütéssel kis kúpos mélyedést ütünk, amely a fúró csúcsát megvezeti. A HTML-változatban a lépések egyenként léptethetők.

9.2.4. Vágás, harapás, vésés, nyírás, lyukasztás

A lemezek és rudak darabolására több kézi eljárás létezik; a választás az anyagvastagságtól és a darab alakjától függ.

- **Lemezollóval** (kéziollóval) vékony, jellemzően 1–2 mm-es acél- vagy alumíniumlemezt vágnak. Az olló pengéi nyírják az anyagot, a vágott él sorjás lesz, ezért utána reszelni kell.
- **Harapófogóval** kisebb lemezdarabok, szegek, csapok vághatók; a vágott felület durvább, ezért ahol pontos illesztés kell, ott inkább fémfűrészt vagy ollót használunk.
- **Vésővel** és kalapáccsal vastagabb lemezt, rudat vagy csavart lehet átvágni, illetve sérült anyagot leválasztani. A véső élét mindig a vágásirány felé döntve tartsuk, és a munkadarabot satuban rögzítsük. Satuban vágáskor a vágási vonal a satupofa élének síkjába essen, a vésőt a fix pofa felé irányítva üssük, hogy az erőt a satu felfogja.
- **Lyukasztóval** vékony lemezen kerek vagy alakos furat készíthető, főleg olyankor, amikor a fúrás nem célszerű. A lyukasztás vágógyűrű és bélyeg között történik, ezért nagyon vékony anyagnál a furat széle tiszta, de az átmenő nyílás mérete a szerszámtól függ.

Figyelem. Vésővel dolgozva a lepattanó forgács és az elrepülő anyagdarab szemsérülést okozhat. Mindig viselj zárható védőszemüveget, és ellenőrizd, hogy a kalapács nyele épen rögzül-e a fejben.

A lemezolló vágott éle is vágási sérülést okozhat, ezért a munkadarabot a vágás után azonnal sorjázd.

9.2.5. Kalapácsolás, nyújtás, egyengetés, hajlítás

A lemezalakítás célja gyakran egy meghatározott szögbe hajlított tartó vagy fedél elkészítése. A hajlítás előtt az anyagot **egyengetni** kell: a hullámos, elgörbült lemezt sima felületen, műanyag- vagy ólomkalapáccsal ütögetjük, hogy a további műveletekhez sík felületet kapjunk. Acéllemezt acélkalapáccsal is egyengethetünk, de óvatosan, mert a túl erős ütések helyi nyúlást okoznak.

A hajlítás közben az anyag külső oldala megnyúlik, a belső oldala összenyomódik. A két szélső réteg között húzódik a **semleges szál**, amelynek hossza hajlításkor közelítőleg változatlan marad. Ezért a lemez **kiterített hosszát** nem a külső méretekből, hanem a semleges szál ívéből kell számolni.

Összefüggés. Ha egy s vastagságú lemezt r_{i} belső sugárral, 90°-ban hajlítunk, a semleges szál sugarát közelítőleg az

$$r_{\mathrm{m}} = r_{\mathrm{i}} + \frac{s}{2}$$

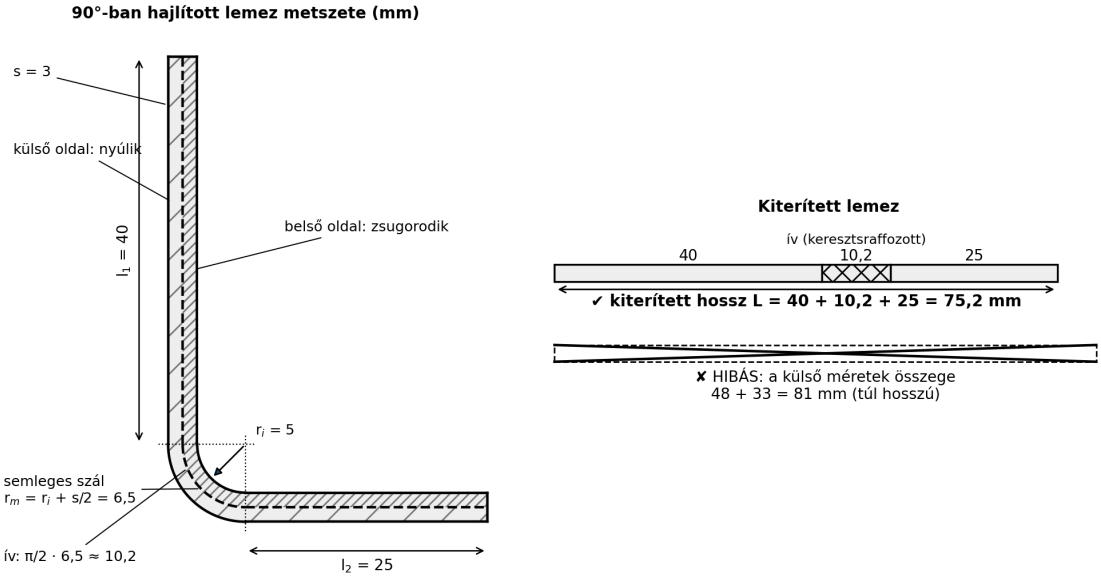
képlettel vehetjük fel. A 90°-os ív hossza a teljes kör kerületének negyede:

$$L_{\mathrm{ív}} = \frac{\pi}{2}\left(r_{\mathrm{i}} + \frac{s}{2}\right).$$

A teljes kiterített hossz:

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}\left(r_{\mathrm{i}} + \frac{s}{2}\right),$$

ahol l_1 és l_2 a semleges szál egyenes szakaszai a hajlítási ív kezdetéig, illetve végétől a darab végéig. Ez tanulási közelítés; a gyártási gyakorlatban a semleges szál helyzetét anyagminőség és hajlítási sugár szerint pontosító tényezővel korrigálják (ellenőrizendő: az adott anyagra és szerszámra vonatkozó táblázat).



9.6. ábra. 90°-ban hajlított 3 mm-es lemez metszete a semleges szállal és a kiterített lemez: 40 + 10,2 + 25 = 75,2 mm, szemben a hibás, külső méretekből számolt 81 mm-rel

Az ábra az alábbi 1. kidolgozott példa adatait mutatja ($s = 3$ mm, $r_\mathrm{i} = 5$ mm, $l_1 = 40$ mm, $l_2 = 25$ mm): a semleges szál sugara 6,5 mm, az ív hossza kb. 10,2 mm, a kiterített hossz 75,2 mm, míg a külső méretek összege ($48 + 33 = 81$ mm) túl hosszú darabot adna. A HTML-kalkulátorban a vastagság, a belső sugár, a hajlítási szög és az egyenes szakaszok állíthatók.

A kézi hajlítást leggyakrabban satuban, hajlítóék vagy hajlítóvas segítségével végezzük. A hajlítási vonalat pontosan előrajzoljuk, a munkadarabot úgy fogjuk be, hogy a hajlítási él a satupofa élére essen, majd egyenletes erővel hajlítunk. A rugalmas visszarugózás miatt a kívánt szöget általában kissé túl kell hajlítani; az ellenőrzést derékszöggel vagy szögmérővel végezzük.

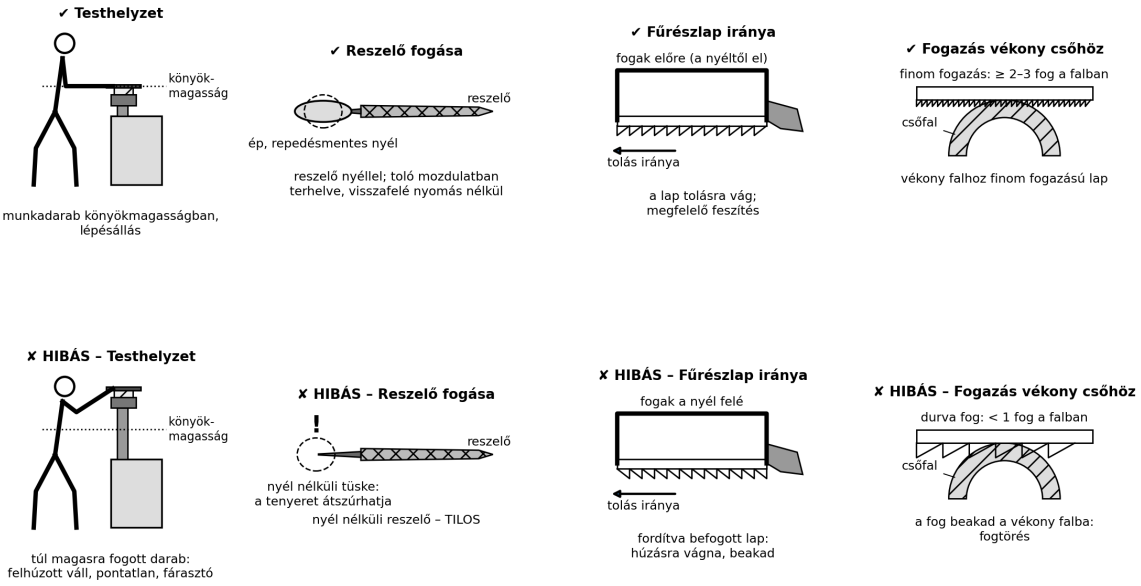
9.2.6. Reszelés és fűrészelés

Reszelés alatt a felesleges anyag vékony rétegben, apró forgácsok leválasztásával történő leválasztását értjük kézi reszelővel. A reszelő alakja szerint lapos, félgömbölyű, kerek, háromszögletes; fogazása lehet durva, közepes, finom és nagyon finom. A fogazás kiválasztása: nagy anyagleválasztáshoz durva, készre munkáláshoz finom fogazás.

A reszelő használatának alapvető munkaszabályai:

- A reszelőnek mindig legyen ép, repedésmentes nyele, mert a nyél nélküli tüske a tenyeret átszúrhatja.
- A munkadarabot a satuban olyan magasságba fogjuk, hogy a könyök természetes helyzetben maradjon.
- A reszelőt toló mozgás közben terheljük, visszahúzáskor emeljük el vagy engedjük nyomás nélkül.
- A felületet időnként derékszöggel, acélvonalzóval és hézagmérővel ellenőrizzük, mert a hosszú, csak egy irányban végzett húzások könnyen domborúra reszelik a felületet.
- A reszelőt kefével tisztítsuk; az olajos, kréta nélküli felületen a fogak eltömődnek.

Fűrészelés fémfűrésszel a leggyakoribb kézi daraboló művelet. A fűrészlapot úgy választjuk meg, hogy a falvastagságban mindig legalább 2-3 fog essen egyidejűleg a vágásba. Vékony lemezhez tehát finom fogazású lapot használj; vastag rúdhoz durvábbat is lehet. A fűrészlap fogai előrefelé vágjanak; a lapot a keretben annyira feszítsük meg, hogy ne hajoljon el, de ne is pattanjon el. A vágást enyhe, egyenletes nyomással, hosszú húzásokkal végezzük, és a vágás végén csökkentsük a nyomást, hogy a lap ne csípődjön be.



9.7. ábra. Reszelés és fűrészelés helyes (felső sor) és hibás (alsó sor) munkafogásai: testhelyzet, reszelőfogás, fűrészlap iránya, fogazás vékony csőhöz (sematikus rajz)

A felső sor a fenti munkaszabályokat mutatja: munkadarab könyökmagasságban, reszelő ép nyéllel, a fűrészlap fogai előre (a nyéltől el) mutatnak, vékony falhoz finom fogazás kell; az alsó sor a megfelelő hibákat.

9.2.7. Fúrás, süllyesztés, dörzsárazás

A fúrás a kézi megmunkálás legnagyobb baleseti kockázatú művelete, mert forgó szerszámmal dolgozunk. A fúrógépen a munkadarabot satuban vagy fúróbefogóban rögzítsük; kis alkatrészt soha ne tartsunk kézzel.

Definíció. A fúrás forgácsoló eljárás, amelynek során kétélű, spirálhornyú **csigafúróval** hengeres furatot készítünk. A fúró csúcsa **központozó** hatást fejt ki, a főforgácsoló élek a csúcs mellett, a mellékvágó él a palást on dolgozik. A furat pontosabb, ha a végső átmérő előtt kisebb fúróval előfúrunk.

A fúrási fordulatszám a forgácsolósebességtől és a fúró átmérőjétől függ:

$$n = \frac{v_{\mathrm{c}}}{\pi\, D},$$

ahol n a fordulatszám 1/min-ben, v_{c} a forgácsolósebesség m/min-ben, D pedig a fúró átmérője méterben.

A következő táblázat tájékoztató értékeket ad HSS fúróval végzett munkához:

Anyag	Forgácsolósebesség, v_c (m/min)
Szerkezeti acél	20–30
Ötvözött acél	10–20
Öntöttvas	15–25
Alumínium	40–80
Sárgaréz, réz	30–60

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a felhasznált fúró és anyag gyártói adatai).

Mélyebb furatnál a fúrót többször húzzuk vissza, hogy a forgács kihulljon, és a hűtő-kenő anyag a vágási zónába jusson. Acél fúrásakor kenőfolyadékot, alumíniumnál petróleumot vagy megfelelő emulziót is használhatunk; a választást a szerszám- és anyaggyártói utasítás szerint kell elvégezni.

Süllyesztés alatt a furat kúpos vagy hengeres bővítését értjük, például süllyesztett fejű csavarok felfekvő felületének kialakítására. **Dörzsárazással** a fúrt furat mérettűrését és felületi minőségét finomítjuk: a dörzsár kis anyagréteget vág le, és a furatot pontos hengeres alakra hozza. A dörzsár furatból történő kihúzása közben ne forgassuk visszafelé, mert ez a vágóél csorbulását okozhatja.



9.8. ábra. Furat készítés és belső menetvágás alapfolyamata - Tanulási sorrend; anyagtól és a furat rendeltetésétől függően módosulhat.

A folyamatábra azt mutatja, hogy a pontozott középpont, a központfúró és a méretre fúró furat egymásra épül. Ha bármelyik lépést kihagyod, a menetfúró ferde, szoruló vagy szakadt menetet adhat.

9.2.8. Belső és külső menet vágása, menetjavítás

A belső menet készítése háromrészes **menetfúrókészlettel** történik: elő-, közép- és simítófúróval. Az előfúró erősen kúpos, a simító állítja be a végső menetprofilt. A menetfúrót kézi menetfúróhajtóval forgatjuk, és acélban, rozsdamentes acélban vágóolajat használunk.

A **menetfúró-méret**, vagyis a belső menet előtti furat átmérője közelítőleg:

$$d_{\mathrm{f}} \approx D - P,$$

ahol D a menet névleges átmérője, P a menetemelkedés. Például M10x1,5 esetén $d_{\mathrm{f}} \approx 10 - 1{,}5 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$. Ez tanulási közelítés; a pontos furatméretet az anyag és a szabványos menet szerint a szerszámgyártói táblázatból kell kikeresni.

Külső menetet **menetvágó** (gömbvas) készít: a rúd átmérőjét a menet névleges átmérőjénél kissé kisebbre választjuk (közelítőleg $D - 0{,}1P$, például M10x1,5-höz kb. 9,85 mm; ellenőrizendő: a szerszámgyártói táblázat). A rúd végét letörjük, a menetvágót merőlegesen indítjuk, és fél fordulatonként visszaforgatjuk forgácstörésre.

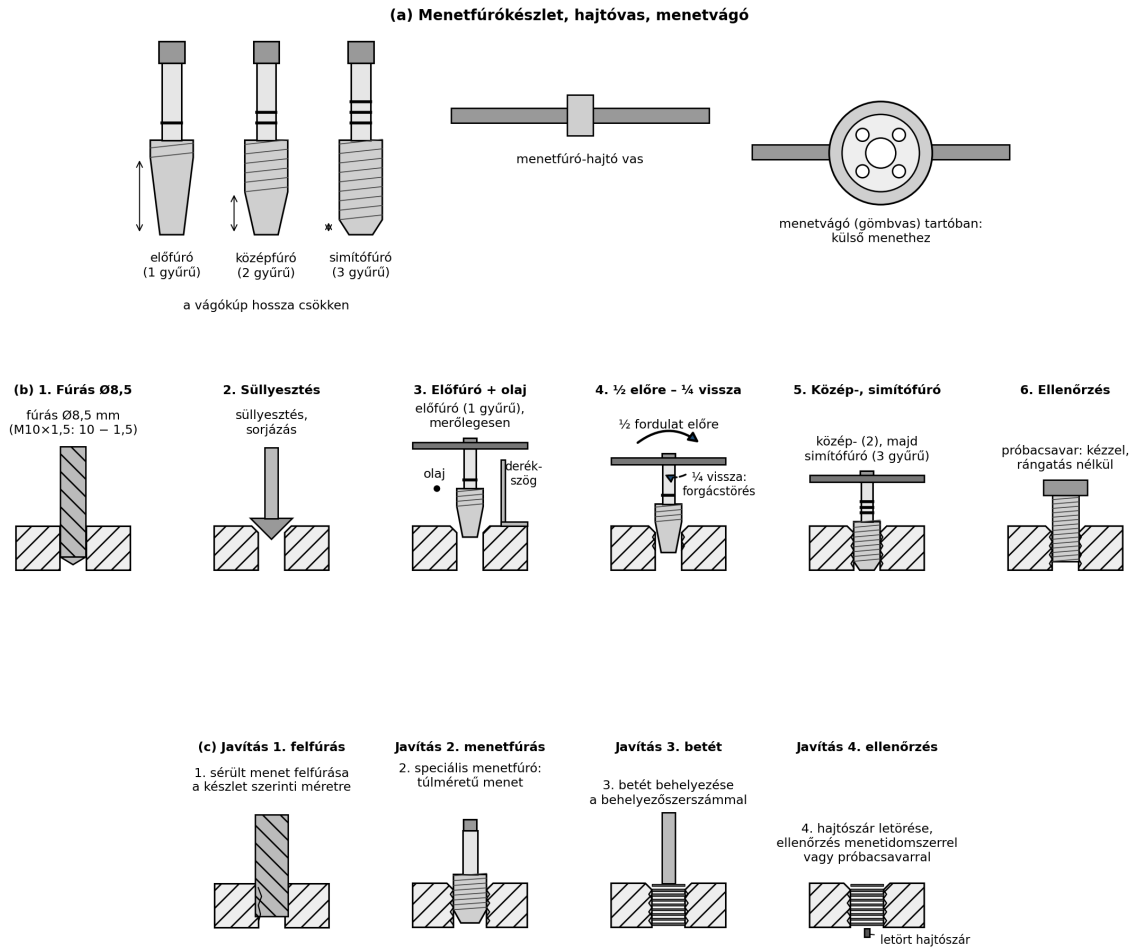
Sérült belső menet javítása menetbetéttel (például típus szerint „huzalbetét” vagy „javítóbetét”, a gyártó neve szerint változik) a következő logikával történik:

1. A sérült menetet fúróval, a gyártói javítókészletben megadott méretre bővítjük.
2. A furatot a készlethez tartozó speciális menetfúróval új, túlméretű menetre vágjuk.
3. A menetbetétet a hozzá tartozó behelyezőszerszámmal becsavarjuk a furatba, és a felesleges hajtószárat letörjük.
4. A végeredményt menetidomszerrel vagy próbacsavarral ellenőrizzük.

Recept – belső menet vágása kézi menetfúróval.

1. Válaszd ki a megfelelő fúróátmérőt: $D - P$ alapján, majd egyeztesd a szerszámgyártó táblázatával.
2. Fúrd ki a furatot, a fúrót tartsd merőlegesen a felületre, és a furat szélét süllyeszd le.
3. Fogd be a menetfúrót a hajtószerszámba úgy, hogy az előfúró legyen az első.
4. Kenj vágóolajat a menetfúróra és a furat belső falára.
5. Helyezd a menetfúrót a furat tengelyébe, és enyhe nyomással indítsd el.
6. Fél fordulat előre, majd negyed fordulat vissza: így a forgács megtörik, és a horony nem tömődik el.
7. Ha a vágás során erősödő ellenállást érzel, állj meg, forgasd vissza, tisztítsd meg a forgácsot, és csak ezután folytasd.
8. Cseréld a menetfúrót közép-, majd simítófúróra, mindegyiknél ismételve a kenést és forgácstörést.
9. Ellenőrizd a menetet: a próbacsavarnak vagy menetidomszernek kézzel, rángatás nélkül kell becsavarodnia.

A menetfúró könnyen eltörik, ha ferde, ha túl kicsi a furat, ha hajlító- vagy csavaró igénybevétel éri, vagy ha kenés nélkül dolgozunk. A törött menetfúró eltávolítása nehéz, ezért a megelőzés fontosabb.



Metszet; ferde sraffozás: munkadarab. M10×1,5 példa; a pontos fúróméret a szerszámgyártói táblázat szerint. Sematikus rajz.

9.9. ábra. Menetfúrókészlet, kézi menetvágás M10×1,5 példán hat lépésben és menetbetétes javítás négy lépésben (sematikus metszetek)

Az ábra felső sora a háromrészes készletet (a vágókúp az előfúrótól a simítófúróig rövidül; jelölésük 1–3 gyűrű), a menetfúró-hajtót és a menetvágót, középső sora a recept lépéseit (Ø8,5 mm-es furat, süllyesztés, előfúró merőlegesen, ½ fordulat előre – ¼ vissza, közép- és simítófúró, próbacsavar), alsó sora a menetbetétes javítás négy lépését mutatja. A HTML-változatban a lépések a recept szövegével léptethetők.

Továbbvitt eredmény. Az itt megtanult derékszögű, lapos és méretpontos felületképzést, valamint a furat–menet illesztést a Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás alfejezetben használjuk fel: a csavarkötést csak akkor tudod megbízhatóan meghúzni, ha a furat merőleges, a menet tiszta, és a felfekvő felületek síkban illeszkednek.

9.2.9. Kidolgozott példák

1. példa – kiterített hossz hajlításhoz.
Egy 3 mm vastag acéllemezt 90°-ban kell hajlítani. A belső hajlítási sugár $r_\mathrm{i} = 5\,\mathrm{mm}$. A semleges szál mentén mért egyenes szakaszok $l_1 = 40\,\mathrm{mm}$ és $l_2 = 25\,\mathrm{mm}$. Számítsd ki a kiterített hosszat.

Megoldás:

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}\left(r_\mathrm{i} + \frac{s}{2}\right)$$

$$L = 40 + 25 + \frac{\pi}{2}\left(5 + \frac{3}{2}\right) = 65 + \frac{\pi}{2}\cdot 6{,}5$$

$$\frac{\pi}{2}\cdot 6{,}5 \approx 10{,}2\,\mathrm{mm}$$

$$L \approx 65 + 10{,}2 = 75{,}2\,\mathrm{mm}.$$

Ellenőrzés: az eredmény a két egyenes szakasz összegénél nagyobb, de a külső méretekkel nem egyenlő; nagyságrendben reális.

2. példa – fúrófordulatszám és menetfúró-méret.
M12x1,75 belső menethez kell furatot készíteni.
a) Menetfúró-méret: $d_\mathrm{f} \approx D - P = 12 - 1{,}75 = 10{,}25\,\mathrm{mm}$, gyakorlatban 10,2 mm-es fúrót használunk.
b) A kiválasztott $D = 10{,}2\,\mathrm{mm}$ fúróval, szerkezeti acélban $v_\mathrm{c} = 22\,\mathrm{m/min}$ értékkel számolva a fordulatszám:

$$n = \frac{v_\mathrm{c}}{\pi\, D} = \frac{22}{\pi \cdot 0{,}0102} \approx 686\,1/\mathrm{min}.$$

A gépen ehhez legközelebb eső beállítható értéket választjuk, például 700 1/min (ellenőrizendő: a fúrógép fokozatszáma). Az eredmény szempontjából fontos, hogy a fúró a menetfúró-méretnek megfelelő legyen, mert a 10,0 mm-es furat még éppen szűk, a 10,5 mm-es pedig már gyengíti a menetet.

3. példa – hibás megoldás.
Egy tanuló M10x1,5 menethez 8,0 mm-es fúróval fúr, mert „úgyis vág a menetfúró”. A menetfúró az első fél fordulatnál erős ellenállást mutat, az acél felülete felküremkedik, majd a szerszám eltörik. A hiba: a furat átmérője $10 - 1{,}5 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$ helyett kisebb, így a menetfúró a furat falát a megengedettnél jobban gyötri. A helyes gyakorlat a menetfúró-méret előzetes kiszámítása és a szerszámgyártói táblázat ellenőrzése.

9.2.10. Minőségellenőrzés

A kézi megmunkálás ellenőrzése ugyanazt a logikát követi, mint a járműjavításban: mérd, hasonlítsd, és ha eltér, javítsd. A leggyakoribb ellenőrzések:

- **Méretpontosság:** tolómérővel ellenőrizd a külső méreteket, a furatok távolságát és az átmérőt.
- **Síklapúság:** a reszelt vagy csiszolt felület és egy acélvonalzó közé hézagmérővel nézz be; a rés legfeljebb a rajzon megadott érték lehet.
- **Derékszögűség:** a hajlított lemez szárát derékszöggel vagy szögmérővel hasonlítsd a rajzhoz.
- **Furat merőlegessége:** a fúrt furatba illesztett hengeres tüske vagy csavar ne dőljön láthatóan; a dőlés mértékét hézagmérővel becsülheted.
- **Menetminőség:** a kész menetet menetidomszerrel vagy ismert jó állapotú próbacsavarral ellenőrizd. A csavarnak kézzel, egyenletesen, oldalirányú lötyögés nélkül kell becsavarodnia.

A mérési technikák részleteit a Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek alfejezet tartalmazza.

9.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy idősebb személygépkocsi generátortartó konzolján az egyik M8-as menet kisimul, a csavar nem húzható meg. A szerelő nem akar komplett konzolt cserélni, ezért menetbetétes javítást végez. A munkalapra feljegyzi a jármű azonosítóját, a konzol anyagát és a javítókészlet típusát. A sérült menetet a készlet előírása szerint 8,3 mm-es fúróval bővíti (ellenőrizendő: a javítókészlet adata), a furatot speciális menetfúróval előkészíti, majd a betétet behelyezi. A végén próbacsavarral megbizonyosodik arról, hogy a menet a teljes hosszon egyenletesen fog. A tanulság: a menetbetét javításkor a fúró és a menetfúró méretét nem a régi menetből, hanem a javítókészlet dokumentációjából kell venni.

9.2.12. Gyakorlati útmutató

Munkalap – sarokmerevítő készítése: előrajzolás, hajlítás, fúrás, M6 menet vágása.

Cél: 2 mm vastag acéllemezből 90°-os sarokmerevítő készítése, egyik szárán két Ø5,0 mm-es furattal, amelyekbe gyakorlásként M6-os belső menet készül. A vékony lemezbe vágott M6-os menet csak kb. 2 menetfordulatot ad, ezért nem terhelhető kötés; valódi tartókonzolon átmenő csavart anyával, szegecsanyát vagy hegesztett anyát használunk.

Munkadarab-azonosítás: lemez anyaga S235 acél (ellenőrizendő: a tényleges anyagminőség a rajzon); méretek a műhelyrajz szerint.

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: előrajzoló tű, pontozó, kalapács, acél vonalzó, derékszög, fémfűrész, lemezolló, lapos reszelő, fúrógép, központfúró, Ø5,0 mm-es csigafúró, süllyesztőfúró, M6-os kézi menetfúrókészlet, menetfúróhajtó, vágóolaj, satubefogó, tolómérő, hézagmérő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: zárt cipő, testre simuló munkaruha; fúrásnál védőszemüveg; kesztyűt csak anyagmozgatáskor viselj, a fúrógép mellett tilos; a hajat, hosszú ujjat takard vagy rögzítsd; a fémforgácsot a kijelölt gyűjtőbe, az olajos rongyot veszélyes hulladék gyűjtőbe tedd; az emulziót és vágóolajat ne öntsd a csatornába.

Munkalépések:

1. Olvasd le a műhelyrajzról a méreteket, és jelöld ki a lemez egyik hosszú, ép élét bázisélnek.
2. Rajzold fel a külső kontúrt, a hajlítási vonalat és a két furat középpontját. A furathelyeket pontozd be.
3. Vágd le a lemezt a rajzolt méretnél 0,5–1 mm-rel hosszabbra, hogy reszelés után legyen anyag a pontos méretre.
4. Reszeld a vágott éleket a rajz szerinti méretre; ellenőrizd tolómérővel és derékszöggel.
5. Fogd be a lemezt a satuba, a hajlítási vonalat a satupofák éléhez igazítva, és hajlítsd meg közel 90°-ra.
6. Ellenőrizd a hajlítási szöget, és szükség szerint igazítsd ki.
7. A furatokat a pontozott helyen központfúróval fúrd meg, majd fúrd át Ø5,0 mm-rel.
8. Süllyeszd le a furatok szélét, és sorjázd mindkét oldalt.
9. Vágj M6-os belső menetet a két furatba a fent leírt recept szerint, vágóolajjal.
10. Tisztítsd meg a munkadarabot, ellenőrizd a méreteket és a meneteket, majd dokumentáld az elvégzett munkát.

Ellenőrzési pontok: a lemez mérete a rajz szerint; a hajlítási szög 90° ± 1°; a furat távolsága a báziséltől a rajzon megadott tűrésen belül; a furatok merőlegesek; a menetbe a próbacsavar kézzel, rángatás nélkül becsavarható.

Tipikus hibák ebben a feladatban: a pontozás elmaradása miatt a fúró elvándorol; a fúró fordulatszáma túl nagy, ezáltal gyorsan túlmelegszik; a menetfúrót elindításkor nem tartják merőlegesen, így ferde a menet; a hajlításnál a belső sugár túl kicsi, és a lemez megreped.

9.2.13. Tipikus hibák

1. Nyél nélküli reszelő használata. A reszelő nyelét letörve vagy kihúzva a szerszám tüskéje a toló mozgásnál a tenyerbe fúródhat. **Helyes gyakorlat:** a reszelőt mindig ép, repedésmentes nyéllel használd, és soha ne rögtönözz nyél nélkül.

2. A fúró fordulatszámát „szemre” választják. Kis átmérőjű fúrónál túl alacsony fordulatszám, nagy átmérőjűnél túl magas fordulatszám is rossz: az előbbi lassú és sorjázik, az utóbbi túlhevíti, kiégetteti a fúró élét. **Helyes gyakorlat:** számolj a $n = v_c/(\pi D)$ képlettel, és a gépen válaszd a legközelebbi fokozatot.

3. A menetfúrót egy menetben, forgácstörés és kenés nélkül akarják levágni. A horony feltömődik, a menet szakad, a fúró eltörhet. **Helyes gyakorlat:** fél előre, negyed vissza, kenés, tisztítás.

4. A hajlítandó lemez méretét a külső élekből számítják vissza. Ezzel a kiterített darab hosszabb lesz a szükségesnél, mert a semleges szál hossza kisebb, mint a külső kontúr hossza; hajlítás után a szár túllóg (az 1. példa adataival 81 mm helyett 75,2 mm kellene, 5,8 mm többlet). **Helyes gyakorlat:** a kiterített hosszat a semleges szál sugarával, a belső sugár és a lemezvastagság fele figyelembevételével határozd meg.

9.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A vésőt és kalapácsot használva a munkadarabot szabad kézzel is lehet tartani, ha kicsi. (Indokold!)

2. Számítsd ki a menetfúró-méretet M12x1,75 menethez. Milyen fúrót választasz, ha a készletben 10,0 mm, 10,2 mm és 10,5 mm van?

3. Miért kell a fúrót mély furatnál visszahúzogatni?

4. Mi a hiba ebben a mondatban: „A kiterített hossz a hajlított lemez két külső méretének összege.”

5. Melyik fűrészlapot választod 2 mm falvastagságú acélcső kézi fűrészeléséhez: finom vagy durva fogazásút? Miért?

6. Menetvágás közben a menetfúró beszorul. Mi az első három teendő?

9.2.15. Feladatok

1. feladat (A)
Határozd meg a bázisfelület/bázisél fogalmát, és mondd el egy mondatban, miért fontos az előrajzolásnál.

2. feladat (A)
Egy 1,5 mm vastag acéllemezt kell fémfűrésszel méretre vágni. Milyen fogazású fűrészlapot választasz, és miért?

3. feladat (B)
M18x2,5 belső menethez kell furatot készíteni.
a) Számítsd ki a menetfúró-méretet.
b) A kiválasztott fúróval, $v_c = 20\,\text{m/min}$ mellett számítsd ki a fordulatszámot.

4. feladat (B)
Egy 2 mm vastag alumíniumlemezt 90°-ban hajlítasz. A belső hajlítási sugár $r_i = 3\,\text{mm}$, a semleges szál mentén mért egyenes szakaszok $l_1 = 30\,\text{mm}$ és $l_2 = 18\,\text{mm}$. Számítsd ki a kiterített hosszat.

5. feladat (C)
Miért veszélyes, ha a menetbetét javításakor a fúró nem merőleges a furat tengelyére? Magyarázd el, milyen következménye lehet a csavarkötésre a későbbi szerelés során.

6. feladat (D)
Egy tanuló M6-os menetet készít. A furatot 5,0 mm-es fúróval fúrta, a menetfúrót kenés nélkül használta, és a fél fordulat előre – negyed fordulat vissza forgácstörő mozdulatot kihagyta. A menetfúró eltörik. Vizsgáld meg a leírt hibát, és adj javítási utasítást: mit, milyen sorrendben kellene helyesen elvégeznie?

9.2.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A munkadarabot mindig satuban vagy megfelelő befogóban kell rögzíteni, mert a véső ütése elmozdíthatja, és a kalapács a kézre csaphat.

2. $d_f \approx 12 - 1{,}75 = 10{,}25\,\text{mm}$, tehát a 10,2 mm-es fúró a megfelelő. Az érték tanulási példa; a tényleges furatot a szerszámgyártói táblázat erősíti meg.

3. A fúró visszahúzogatásával a forgács kiürül, a hűtő-kenő folyadék eléri a vágási zónát, és a fúró nem szorul be, illetve nem törik el.

4. A hiba: a kiterített hossz nem a külső méretek összege, hanem a semleges szál hossza, amely a belső sugár és a lemezvastagság fele alapján számított ívet is tartalmazza. A külső méretek összeadása túl hosszú kiterített hosszat ad, mert a sarokban a külső kontúr hosszabb a semleges szál ívénél.

5. Finom fogazású lapot választunk, hogy a 2 mm-es falban legalább 2-3 fog egyidejűleg vágjon. A durva fog beakadna, és a lap eltörhetne.

6. Először ne erőltesd a menetfúrót; forgasd vissza óvatosan, amíg a beszorult forgács ki nem lazul. Másodszor húzd ki, tisztítsd meg a hornyokat. Harmadszor ellenőrizd a furatméretet és a kenést, majd folytasd forgácstörő mozdulattal.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A bázisfelület vagy bázisél a munkadarabnak az a megmunkált, egyenes és sík éle vagy felülete, amelyből a többi méretet mérjük. Az előrajzolásnál ezért fontos, mert ha a bázis nem egyenes vagy nem merőleges, akkor az összes méret hibás lehet, függetlenül attól, hogy a rajzon jól szerepel.

2. feladat (A)
Finom fogazású fémfűrészlapot választunk. Vékony lemezben legalább 2-3 fog kell, hogy egyszerre vágjon; a durva fog beakadna, és a lap eltörhet.

3. feladat (B)
a) $d_{\mathrm{f}} \approx D - P = 18 - 2{,}5 = 15{,}5\,\mathrm{mm}$. A gyakorlatban a szerszámgyártói táblázat alapján 15,5 mm-es fúrót választunk.
b) $D = 15{,}5\,\mathrm{mm} = 0{,}0155\,\mathrm{m}$; $n = \frac{20}{\pi \cdot 0{,}0155} \approx 411\,1/\mathrm{min}$. A gépen a legközelebbi fokozat, például 400 1/min állítható be (ellenőrizendő: a gép fokozatszáma).

4. feladat (B)

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}\left(r_{\mathrm{i}} + \frac{s}{2}\right) = 30 + 18 + \frac{\pi}{2}\left(3 + \frac{2}{2}\right)$$
$$= 48 + \frac{\pi}{2} \cdot 4 = 48 + 6{,}28 = 54{,}3\,\mathrm{mm}.$$

Az eredmény azt mutatja, hogy a kiterített hossz a két egyenes szakasz összegénél a hajlítási ív hosszával nagyobb.

5. feladat (C)
Ha a menetbetét javításakor a fúró ferde, a bővítő furat tengelye sem lesz merőleges a felfekvő felületre. A menetbetét is ferde lesz, ezért a becsavart csavar oldalirányú erőt kap, a menet egyenetlenül terhelődik, a kötés meglazulhat, és a csavar fej alatti felfekvése is pontszerűvé válik. Ez a későbbi csavarkötésnél fokozott kopást és esetleges törést okozhat, ami a Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás során a biztonságos kötés alapfeltétele.

6. feladat (D)
A hiba: a furat 5,0 mm ugyan megfelelő lehet M6-os menethez ($6 - 1 = 5$), de a kenés és a forgácstörés hiánya miatt a menetfúró túlmelegedett, a forgács beszorult, és a szerszám eltört. A helyes sorrend: ellenőrizd a furatot, süllyeszd le a szélét; használj vágóolajat; a menetfúrót merőlegesen indítsd; fél fordulat előre, negyed vissza; ha erős ellenállást érzel, azonnal állj meg, forgasd vissza, tisztítsd a forgácsot; végül ellenőrizd a menetet. A törött menetfúró eltávolítását csak utána, a gyártó szerinti módszerrel szabad megkezdeni.

9.2.17. Rövid összefoglaló

A kézi megmunkálás alapműveletei – előrajzolás, darabolás, hajlítás, reszelés, fűrészelés, fúrás, menetvágás – akkor biztonságosak és pontosak, ha a munkadarabot satuban rögzítjük, a méreteket bázisfelülettől mérjük, és a forgácsoló szerszámokat a megfelelő fordulatszámmal és kenéssel használjuk. A hajlított lemez kiterített hosszát a semleges szál sugarával, $r_{\mathrm{i}} + s/2$ közelítéssel számoljuk; a belső menet előtti furatméret $D - P$ közelítő képlettel határozható meg; a fúró fordulatszáma $n = v_{\mathrm{c}}/(\pi D)$. A védőszemüveg, a testre simuló ruha, a fúrógép melletti kesztyűtilalom és a reszelőnyél megléte alapvető. **Továbbvitt eredmény:** a kézi megmunkálással készített derékszögű, lapos felületek, merőleges furatok és tiszta menetek feltételei a Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás alfejezetben tárgyalt csavar- és szegecskötések biztonságos kialakításának. A megadott fordulatszám-, fúró- és menetadatok tanulási példák, amelyeket a felhasznált szerszám és anyag gyártói adataival kell egyeztetni.

9.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: tanműhelyi kézi megmunkálási gyakorlat szabályai, szerszámgyártói katalógusok és oktatási útmutatók, a műhelyrajzra vonatkozó méret- és tűrésadatok. A fejezetben megadott forgácsolósebességek, fúrófordulatszámok, menetfúró-méretek, hajlítási sugár és kiterített hossz-közelítés tanulási példák; a tényleges értékeket a felhasznált szerszám, anyagminőség és menetjavító készlet gyártói dokumentációja alapján kell ellenőrizni. A menetbetét típusa és a javítószerszám méretei gyártónként eltérhetnek (ellenőrizendő: a javítókészlet adatlapja).

9.3. Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás

9.3.1. Miért kell ezt megtanulnod a műhelyben?

Egy rosszul meghúzott kerékcsavar menet közben kilazulhat. Egy túlhúzott csavar elszakadhat, vagy összenyomhatja a tömítést úgy, hogy az olaj később szivárog. A beragadt csavar pedig sokszor a javítás legfontosabb akadálya: ha nem tudod szakszerűen eltávolítani, az egész munka megáll. A kötések készítése és oldása ezért nem „mellékes szerelői művelet”, hanem a szakma alapja: ugyanaz a logika tér vissza a motor, az erőátvitel, a futómű és a gépjármű-villamosság javításánál is. Ebben az alfejezetben tanműhelyi gyakorlóelemeken, oktató felügyelete mellett sajátíthatod el a csavarozást, szegecselést, forrasztást, ragasztást, valamint a beragadt csavar eltávolítását.

9.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy tanműhelyi munkapadot. Satuba fogott próbalemezek, előttük egy beállítható nyomatékkulcs, popszegecsfogó, forrasztóállomás, kétkomponensű fémragasztó, balmenetes fúró és csavarkihajtó. A feladat: egy fedél tíz csavarral szorít egy tömítést. A csavarokat nem körben, hanem keresztben, fokozatosan kell meghúzni: először csak kézzel, majd például 5 Nm-rel, végül 10 Nm-rel. A digitális nyomatékkulcs kijelzője 10,0 Nm-t mutat – ez tanulási példa. Ha a sorrend rossz, a fedél egyik oldala előbb feszül meg, a tömítés kinyomódik és olajszivárgás keletkezik. Ugyanez a helyzet nagyobb léptékben a hengerfejnél is.

9.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A kötés két vagy több alkatrész olyan kapcsolata, amely az üzemi terhelést átadja. Oldhatóság szerint megkülönböztetünk oldható kötést (például csavarkötés, zsugorkötés) és nem oldható kötést (például szegecskötés, forrasztott vagy ragasztott kötés). Vannak félig oldható vagy csak roncsolással oldható kötések is.

Definíció. A csavarkötés meghúzási nyomatéka az a forgatónyomaték, amellyel a csavarban meghatározott előfeszítő erőt hozunk létre. Az egyszerűsített összefüggés:

$$M \approx k \cdot d \cdot F_v,$$

ahol:

- M a meghúzási nyomaték (Nm),

- k a nyomatéktényező (meghúzási tényező, angolul nut factor), amely a menet és a fejalatti felület súrlódásától függ, de nem azonos a súrlódási tényezővel (száraz acélcsavarnál jellemzően 0,15–0,25; tanulási példa),
- d a csavar névleges átmérője (a képletbe méterben behelyettesítve kapunk nyomatékot Nm-ben; milliméterrel számolva az eredmény $\mathrm{N}\cdot\mathrm{mm}$),
- F_v a csavarszárban kialakuló előfeszítő erő (N).

Számpélda: M10-es csavar, $F_v = 20\,\mathrm{kN}$, $k = 0{,}2$: $M \approx 0{,}2 \cdot 0{,}010\,\mathrm{m} \cdot 20\,000\,\mathrm{N} = 40\,\mathrm{Nm}$ (tanulási példa; ellenőrizendő: gyártói nyomatékadat).

Szabály. A pontos meghúzási nyomatékot és szögértéket mindig a gyártói javítási utasításból kell venni. A könyvben megadott értékek tanulási példák.

Definíció. A nyúlócsavar olyan csavar, amelyet úgy alakítottak ki, hogy a megadott nyomaték elérése után a csavart még meghatározott szöggel tovább feszítik. A csavar a szöghúzás során a folyáshatárig vagy kissé a képlékeny tartományba nyúlik; ott a szárerő a nyúlás további növekedésével alig változik, ezért az előfeszítés kevésbé függ a súrlódástól. Emiatt a nyúlócsavar maradó alakváltozást szenved, és a gyártó jellemzően egyszer használatosnak jelöli (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat). Sok modern járműben a hengerfejcsavar vagy a főcsapágycsavar nyúlócsavar.

Figyelem. A nyúlócsavart a gyártó gyakran egyszer használatosnak jelöli: a cserét a javítási utasítás szerint kötelező elvégezni. A használt nyúlócsavar újrafelhasználása tilos lehet, mert a megfolyási szakasz után már nem ad megbízható előfeszítő erőt.

9.3.4. Csavarkötések szerelése

A csavarkötés szerelése nem egyszerűen addig húzás, amíg „szorosan nem érzed”. A szerelőnek ismernie kell a nyomatékkulcsot, a szöggel meghúzást, a meghúzási sorrendet és a csavarbiztosításokat.

9.3.4.1. A nyomatékkulcs

A gyártói nyomatékot nyomatékkulccsal vagy nyomatékkulcsos csavarozóval állítjuk be. A leggyakoribb típusok:

- beállítható, mechanikus nyomatékkulcs (a beállított nyomaték elérésekor kattan),
- digitális kijelzésű nyomatékkulcs (hang- és fényjelzés, esetleg szögmérés is),
- meghúzás-szögmérő tárcsával kombinált kézi eszköz.

Használat előtt a kulcsot a gyártói utasítás szerint kikapcsolt állapotban tároljuk, és évente rendre kalibráltatjuk (ellenőrizendő: a műhely előírása szerinti időköz). Ha a kulcsot leejtjük, kalibrálásig ne használjuk.

Előírás. A nyomatékkulcsot feszesen, a meghúzás irányában kell húzni. Ne rángassuk, ne toldjuk meg csővel, és ne használjuk oldásra, mert a túllépés tönkreteszi a mérőszerkezetet.

9.3.4.2. Meghúzás szögértékkel

A korszerű csavarkötéseknél a gyártói előírás gyakran két lépésből áll:

1. előmeghúzás meghatározott nyomatékra (például 40 Nm),
2. továbbhúzás meghatározott szöggel (például 90° + 90°).

Ezt a szöget szögmérő tárcsával vagy digitális nyomatékkulcs szögmérőjével mérjük. A szögmérőt a kulcs feje és a csavar között kell elhelyezni, vagy a digitális kulcs automatikusan méri. A szöggel húzás előtt a felületet a gyártó szerint be kell olajozni vagy szárazon hagyni, mert a kenés jelentősen megváltoztatja a súrlódási tényezőt.

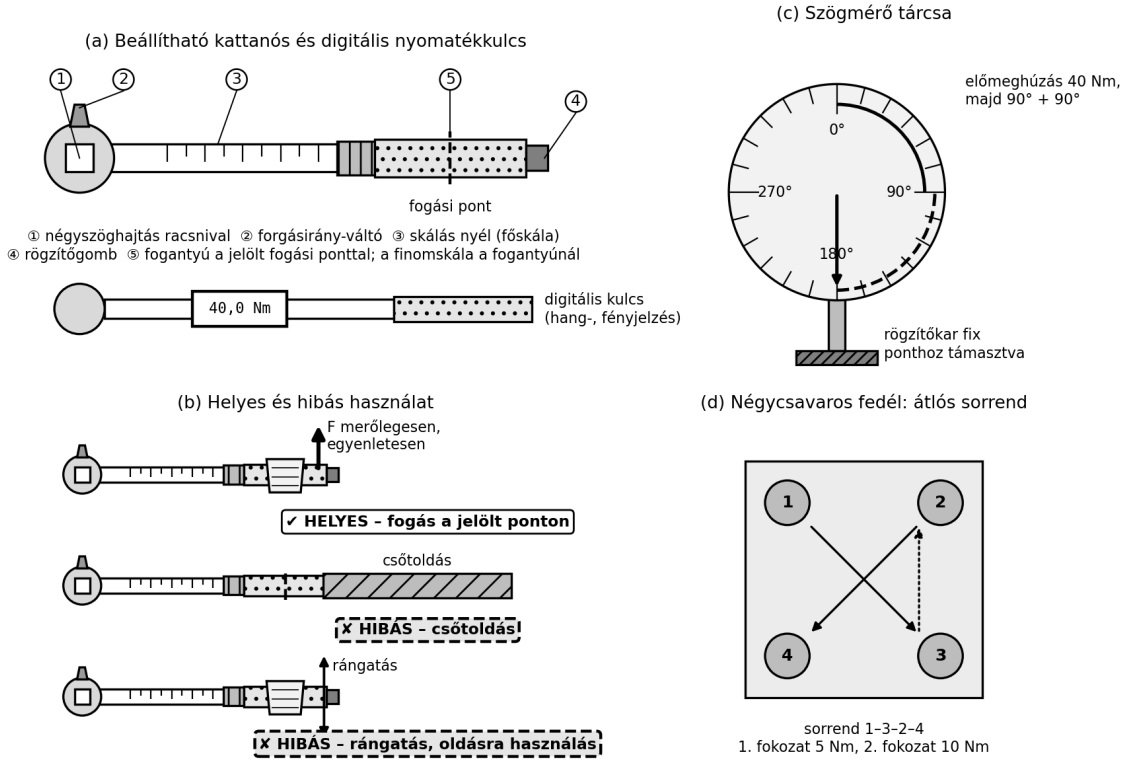
9.3.4.3. Meghúzási sorrend

A többcsavaros fedéleket, hengerfejeket, keréktárcsákat mindig fokozatosan és keresztben húzzuk. A cél az egyenletes felfekvés és a tömítés egyenletes összenyomása.

Példa négycsavaros fedélre:

1. csavart kézzel becsavarjuk, de még nem feszítjük,
2. átlós sorrendben húzzuk meg az első fokozatot (például 5 Nm),
3. újra átlósan húzzuk meg a teljes nyomatékot (például 10 Nm),
4. ha a gyártó előírja, kiegészítő szögfeszítést is adunk.

A hibás körbehúzás elkerülése érdekében mindig átlósan dolgozzunk.



Sematikus vonalrajz; a nyomaték- és szögértékek a fejezet példái, a valós értéket a gyártói előírás adja.

9.10. ábra. Kattanós nyomatékkulcs részei, helyes és hibás használata, a szögmérő tárcsa és a négycsavaros fedél átlós meghúzási sorrendje

Az ábra (a) része a kattanós kulcs részeit mutatja (① négyszöghajtás racsnival, ② forgásirány-váltó, ③ skálás nyél, ④ rögzítőgomb, ⑤ fogantyú a jelölt fogási ponttal), (b) része a helyes fogást és a tilos csőtoldást, rángatást, (c) része a szögmérő tárcsát a 40 Nm + 90° + 90° példával, (d) része az óramutató szerint számozott négy csavar átlós 1–3–2–4 sorrendjét két fokozatban (5 Nm, majd 10 Nm).

9.3.4.4. Csavarbiztosítások

A csavar meglazulhat rázkódás, hőtágulás vagy terhelésváltozás hatására. A biztosítás módja függ a kötés helyétől:

- rugós alátét (roncsolásmentes, de nem mindig megfelelő modern kötésekhez),
- fogazott vagy bordás alátét,
- műanyag gyűrűs önzáró anya,
- menetrögzítő folyadék (anaerob ragasztó, például közepes szilárdságú típus),
- ellenanya (két anya egymásnak szorítva),
- sasszeg, csapszeg vagy koronás anya,
- drótozás (repülőgép- és motorkerékpár-technikában gyakori),
- nyomatéktartó anya vagy biztosítólemez.

A biztonsági alkatrészeknél – fék, kormány, futómű – a gyártó által előírt biztosítást mindig új elemmel kell végezni, mert a használt biztosítóelem ki fáradhat.

Példa. Személygépkocsi kerékcsavarját/kerékanyáját a gyártói nyomatékkal (például 120 Nm – ellenőrizendő: gyártói adat), tiszta, szárazon szerelt menettel húzzuk meg; a kerékrögzítésnél menetrögzítőt és önzáró anyát nem használunk, az előfeszítést és a kúpos vagy gömbös felfekvés adja a biztosítást. A csavart csak nyomatékkulccsal szabad zárni. A kerékcsavart ne kenjük be a gyártó engedélye nélkül, mert a kenéssel ugyanarra a nyomatékra túl nagy szárerő és esetleg csavartörés következhet be.

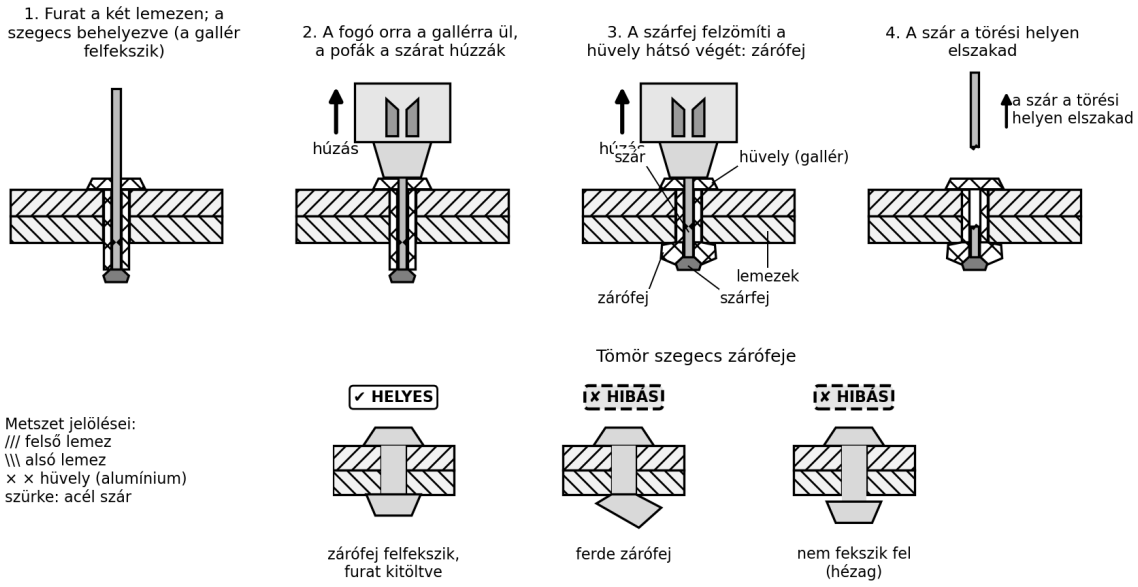
9.3.5. Szegecselés, csapszeg-, kúpos-, zsugor-, ék- és reteszkötés

Ezek a kötések gyakran nem csavaros oldhatók, hanem erő-, alak- vagy anyagzáró kapcsolatok.

9.3.5.1. Szegecselés

A szegecs egyik végét képlékeny alakítással fejezzük be. A szegecskötés akkor megfelelő, ha a zárófej teljesen a felületre fekszik, nincs repedés, és a furat kitöltött. A hidegszegecselésnél kalapáccsal vagy szegecsfejezővel alakítjuk a fejet; a hőkezelést nem igénylő lemezeknél hidegen dolgozunk.

A popszegecs (vakszegecs) egyik oldalról szerelhető. A popszegecsfogó a szegecsszárat meghúzva kihúzza a furatból, miközben a hüvely hátul fejet képez. A zárószár eltörik. Popszegecset akkor használunk, ha a másik oldal nem hozzáférhető, például zárt szelvényű elemek, lemezburkolatok szerelésénél. A furat átmérőjének a szegecs gyártói adat szerinti méretűnek kell lennie, például 4,8 mm-es szegecshez 5,0 mm-es furat (ellenőrizendő: gyártói ajánlás).



Sematikus metszeti vonalrajz. Furat a gyártói ajánlás szerint (pl. 4,8 mm-es szegecshez 5,0 mm – ellenőrizendő).

9.11. ábra. A popszegecselés négy lépése metszetben és a tömör szegecs zárófejének helyes és hibás alakja

Az ábrán a szegecs gallérja az elülső lemezen fekszik, a fogó a szárat húzza, a szárfej a hüvely hátsó végét zárófejjé zömíti, végül a szár a törési helyen elszakad. Alul a tömör szegecs zárófeje: helyesen teljesen felfekszik, hibásan ferde vagy hézaggal áll.

9.3.5.2. Csapszeg-, kúpos-, zsugor-, ék- és reteszkötés

- A csapszegkötést csuklók, tengelyek, csapok rögzítésére használjuk. A csapszeget a furatba szorosan beütjük, kihúzás ellen anyával, sasszeggel vagy biztosítógyűrűvel biztosítjuk.
- A kúpos kötésnél a kúpos felület az agyat a tengelyre központosítja, és súrlódással nyomatékot visz át. Szétszereléshez gyakran kúpos lehúzót használunk.
- A zsugorkötésnél a tengely külső átmérője nagyobb, mint az agy furata, ezért a két alkatrészt hőmérséklet-különbséggel szereljük össze. A külső alkatrészt felmelegítjük (például nyitott csapágygyűrűt legfeljebb kb. 110–120 °C-ra, zárt csapágyat legfeljebb kb. 80 °C-ra; tanulási példa, ellenőrizendő: a csapágygyártó adata, lásd a Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések alfejezetet), a belsőt lehűthetjük, így a méretkülönbség ideiglenesen eltűnik. Szereléskor a gyűrűt ütközésig fel kell nyomni; hűlés közben a kötés szorossá válik. A csapágyat indukciós melegítővel, olajfürdőben vagy melegítőlapon melegítjük, soha nem lánggal hevítjük, mert a helyi túlhevítés anyagszerkezet-károsodást okoz.
- Az ékkötés és a reteszkötés tengely–agy kapcsolat, amely nyomatékot vagy helyzetet rögzít. Az ék kúpos, a retesz párhuzamos keresztmetszetű. A reteszhoronyban a retesznek kis oldalhézaggal kell illeszkednie; a retesz sarkait a horony szerint lekerekítik. A retesz beszerelésénél ügyelni kell arra, hogy ne zárja ki a csapágy hőtágulási mozgását.

9.3.6. Lágyforrasztás pákával

A gépjármű-villamossági javításban a lágyforrasztást elsősorban kis keresztmetszetű vezetékek, jelkábelek, csatlakozószemek és érzékelőjelek rendbetételére használjuk, amikor a csavaros vagy préselt kötés nem alkalmas.

Definíció. A lágyforrasztás olyan kötés, amelynél az olvadáspontja 450 °C alatti forraszanyag kapcsolja össze a munkadarabokat. A munkadarabok nem olvadnak meg, a forrasz viszont a folyasztószer által megtisztított felületbe diffundál. A forrasztott kötés mechanikailag kisebb szilárdságú, mint a hegesztett, ezért járművön mindig tehermentesíteni kell.

9.3.6.1. A lágyforrasztás technológiai sorrendje

1. A vezeték végét húzza le a szigetelésből, például 6–8 mm-en (tanulási példa).
2. A sodrott vagy tömör rézvezetőt finom csiszolóhálóval vagy késsel, óvatosan fényesre tisztítsa; oxidfelület ne maradjon.
3. A forraszpákát a forraszanyag gyártójának megfelelő hőmérsékletre állítsa be (gyakran 320–370 °C, ellenőrizendő a forraszanyag adatlapján).
4. Kenje be a vezetékvéget gyanta alapú, elektronikai lágyforrasztáshoz való folyasztószerrel.
5. A beónozott pákavéggel érintse a vezetékrézhez, és adagoljon hozzá annyi forraszt, hogy a szál végén vékony, fényes réteg képződjön. Ne forrassza át teljesen a vezeték belsejét, mert az merev lesz és törhet.
6. Hűlés után a kötést ragasztóbélésű zsugorcsővel szigetelje, és a vezetéket a kötés két oldalán rögzítse (kötegelés, tartó), hogy a rezgés ne a merev forrasztott szakasz határán terhelje. Forrasztott vezetékvéget ne krimpeljen. Sok gyártó a kábelkorbács javításához forrasztás helyett gyári préselt javítóösszekötőt ír elő (ellenőrizendő: gyártói kábeljavítási utasítás).

Figyelem. Villamos vezeték javításához tilos savas folyasztószert használni, mert a maradvány korróziót okoz. Az elektronikai forrasztáshoz gyanta alapú vagy no-clean folyasztószer való. A pákavég ne legyen szennyezett; a rendszeres tisztításhoz sárgaréz forgácsos párnát vagy enyhén

nedves szivacsot használjunk. A forrasztás füstjét szívassuk el, mert a gyanta-gőz irritálja a légutakat.

Környezetvédelem. Az elektronikai hulladék és az esetleges ólomtartalmú forraszmaradvány veszélyes hulladéknak minősülhet; a képződött hulladékot a megfelelő gyűjtőedénybe kell tenni (ellenőrizendő: a hatályos hulladékjogszabály szerint).

9.3.7. Fémragasztás

A ragasztott kötés a karosszéria- és a belső szerelésben egyre gyakrabban váltja ki a szegecselést vagy a ponthegesztést. A fémragasztás akkor erős, ha a felületet jól előkészítjük.

Előírás. A ragasztott kötés tervezett szilárdságát csak a ragasztó gyártói adatlapja szerinti felület előkészítéssel, keveréssel és hőmérséklettel lehet elérni. A tanműhelyi gyakorlatban az alábbi sorrendet kövessük:

1. tisztítsa meg a felületet (például zsírtalanító szerrel),
2. érdesítse fel finom csiszolóanyaggal,
3. portalanítsa,
4. keverje össze a kétkomponensű ragasztót a gyártói arány szerint,
5. hordja fel vékony rétegben,
6. illessze össze az alkatrészeket és szorítsa meg a gyártói nyomással,
7. tartsa a gyártói kötési időt.

A kötési idő nem csak a megkötés ideje: megkülönböztetünk feldolgozási időt, nyitott időt és elérési szilárdságot. Például egy epoxi alapú fémragasztó feldolgozási ideje 5-10 perc lehet, a teljes szilárdságot pedig 24 óra múlva éri el (tanulási példa). A munkadarabot a megadott idő előtt nem szabad terhelni.

9.3.8. Beragadt és letört csavar eltávolítása

A beragadt csavar eltávolítása a szerelő mindennapi feladata. A balesetes erőltetés töréshez vezet; jobb megelőzni.

Technológiai sorrend beragadt csavarhoz:

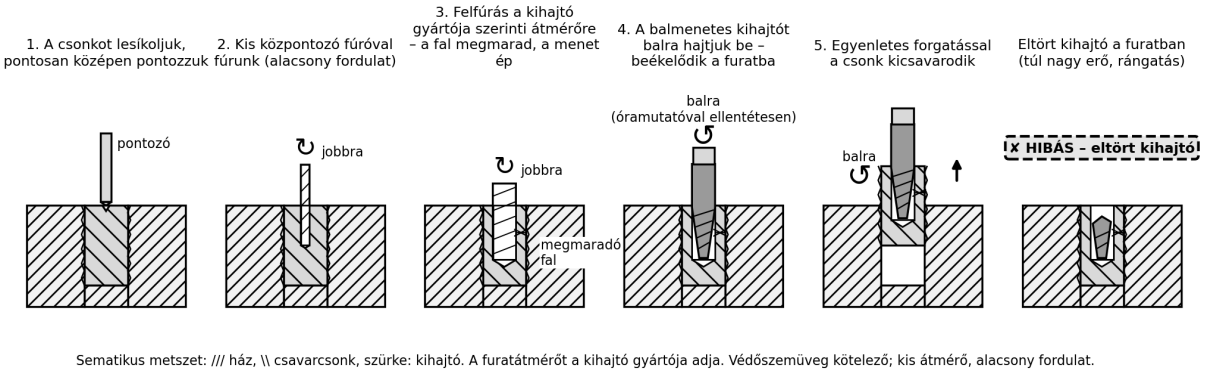
1. Tisztítsa meg a csavarfej környezetét.
2. Kenje be ütőoldó szerrel, és hagyja hatni (például 10–15 perc, ellenőrizendő: a szer adatlapja).
3. Válasszon megfelelő, pontos illeszkedésű bitet vagy kulcsot.
4. Kísérelje meg óvatosan oldani, szükség szerint rövid ütéssel, például ütőcsavarozóval.
5. Ha nem mozdul, melegítse a környező alkatrészt, nem a csavart, hőfok szabályozott hőpisztollyal vagy indukciós melegítővel.
6. Használjon balmenetes kihajtót (extractort) a központozott kifúrt csavarban.

Letört csavar esetén:

- A csavarcsonkot planírozza le, pontozza meg pontosan középen.
- Fúrjon kisméretű központozó fúróval.
- Fúrja fel a csonkot a kihajtó gyártója szerinti átmérőre.
- Hajtsa be a balmenetes kihajtót, és egyenletes forgatással oldja ki.

- Ha a menet is sérült, fúrja ki a csavart, és a gyártó szerinti méretű fúróval készítse elő a javított menetfuratot, és végezze el a menetbetétes javítást (lásd a Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás alfejezetben a menetvágást).

Figyelem. A fúró könnyen letörhet, ezért kis átmérővel és alacsony fordulattal dolgozz. Viselj védőszemüveget; a fémforgács és a törött fúró szemsérülést okozhat. A beragadt csavart soha ne feszítsd túl hirtelen nagy erővel, mert az anyás felület is sérülhet.



9.12. ábra. Letört csavar eltávolítása balmenetes kihajtóval öt metszeti lépésben, valamint a hibás eset: eltört kihajtó a furatban

Az ábra a fenti lépéseket mutatja: lesíkolás és pontozás, központozó fúrás, felfúrás úgy, hogy a csonk fala és a ház menete megmaradjon, a kihajtó balra hajtva beékelődik, majd a csonk kicsavarodik. A jobb szélső kép a túl nagy erővel eltört kihajtót mutatja.

9.3.9. Kidolgozott példák

1. példa (nyomaték és erőkar). Egy kerékcsavart 120 Nm nyomatékkal kell meghúzni. A nyomatékkulcs fogási pontja a csavarközépponttól 0,4 m távolságra van. Mekkora erőt kell a kulcs végére kifejteni?

Adott: $M = 120\,\text{Nm}$, $r = 0{,}4\,\text{m}$.
Keresett: F.
Képlet: $M = F \cdot r$, ebből $F = M / r$.
Behelyettesítés: $F = 120\,\text{Nm} / 0{,}4\,\text{m} = 300\,\text{N}$.
Ellenőrzés: 300 N kb. 30 kg súlyerejének felel meg; egy felnőtt kézzel tartósan kifejthető, reális.

2. példa (meghúzási sorrend ellenőrzése). Egy négycsavaros fedél előírt meghúzási sorrendje: 1. és 4. átlósan, majd 2. és 3. átlósan, fokozatosan. A tanuló körben húzta meg a csavarokat: 1, 2, 3, 4. Mi a következmény?
A körbehúzásnál az egyik oldal korán megfeszül, a fedél elfordulhat, a tömítés kinyomódhat, a hermetikus zárás egyenetlen lesz. Helyes eljárás: előbb kézzel minden csavart be, majd az átlós sorrendben fél nyomaték, végül teljes nyomaték. Ez a hiba a tömítőfelület folyadék- és gázszivárgását okozhatja.

9.3.10. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista kötésszereléshez: - A csavarkötés felülete tiszta, a menet ép. - A csavar és az anya anyaga, szilárdsági jele megfelel a gyártói adatnak. - A kenést a gyártó szerint alkalmazták.

- A nyomatékkulcs beállított értéke helyes. - A meghúzási sorrend és a szögérték betartva. - A biztosítóelem új, és megfelelően zár. - A forrasztott kötés fényes, a forrasz jól felfutott, nincs hideg törés. - A ragasztott kötés a teljes felületen érintkezik, a ragasztó a fugából egyenletesen kiáll. - A munkadarabot a gyártó által előírt kötési időig nem terhelték.

9.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz. Egy személygépkocsi motorja alatt olajfolt jelenik meg. A vizsgálat során a szerelő észreveszi, hogy az olajteknő leeresztőcsavarját korábban túlhúzták: a tömítőalátét erősen deformálódott, a csavarfej alatti felület benyomódott, a menet megnyúlt. A panasz oka nem a tömítés, hanem a nem előírt nyomatékkal és nyomatékkulcs nélkül végzett zárás.
Javítás. A sérült csavart és alátétet új, a gyártói típus szerinti elemre cseréli. A forgattyúsház menetét ellenőrzi; itt nem sérült. A leeresztőcsavart gyártói nyomatékkulccsal húzza meg (tanulási példa: 30 Nm), a tömítőgyűrűt megfelelően összenyomja.
Ellenőrzés. Próbajárat után a leeresztőcsavar környéke száraz.
Tanulság. A csavarkötés minősége a gyártói nyomaték betartásától függ; a „szorosra húzás” érzet alapján tilos.

9.3.12. Gyakorlati útmutató

Munkalap: csavarkötés szerelése nyomatékkulccsal és szögre húzással

Cél: tanműhelyi fedél vagy próbalemez csavarjainak meghúzása előírt nyomatékra, szükség esetén szöggel.

Jármű- és adatazonosítás: a gyakorlóelem típusa, csavarok mérete, szilárdsági jele, a gyártói javítási adatból vett nyomaték és szög.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok: beállítható vagy digitális nyomatékkulcs, szögmérő (ha előírt), dugókulcs vagy bit készlet, kézi csavarhúzó, menetvizsgáló, menetrögzítő (ha előírt), tömítőelem (ha szükséges), tisztítószer, tiszta rongy.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Mindig viselj védőszemüveget, a forrasztott és ragasztott kötéseknél pedig kesztyűt, és gondoskodj elszívásról.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: kijelölt munkaterület, szerszámok rendezett tárolása, a felhasznált tisztító- és ragasztószereket a biztonsági adatlap szerint kezeljük, a hulladékot szelektíven gyűjtjük.

Munkalépések: 1. Azonosítsd a csavarkötést és a gyártói javítási adatot. Rögzítsd a nyomatékot és a szögértéket a munkalapon. 2. Tisztítsd meg a csavarokat, anyákat és a felfekvő felületeket. 3. Ellenőrizd a menetet; sérült, megnyúlt menetet ne használj. 4. Helyezd be az új tömítést vagy alátétet a gyártó szerint. 5. Csavard be kézzel az összes csavart, ügyelve arra, hogy ne keresztezd a menetet. 6. Válaszd ki a megfelelő dugókulcsot; a kapcsolódás pontos és teljes felületű legyen. 7. Állítsd be a nyomatékkulcsot az előírt értékre. 8. Húzd meg a csavarokat a gyártói sorrendben, először fél nyomatékkal, majd teljes nyomatékkal. 9. Ha szögfeszítés szükséges, ellenőrizd a kezdő helyzetet, és alkalmazd az előírt szöget. 10. Ellenőrizd a kötést: a csavarfej felfekvése egyenletes, a tömítés nem nyomódott ki, az esetleges biztosítás zár. 11. Végezd el a minőségellenőrzést, és dokumentáld a munkát a munkalapon.

Ellenőrzési pontok: a kattintás a beállított nyomatéknál megtörtént; a szögmérő a megadott értéket mutatja, például 90° ± 5°; a csavarok nem lazultak meg az első fokozat után.

Tipikus hibák: a nyomatékkulcs beállított értéke nem a előírt, a meghúzást körben végzik, a menetet kenés nélkül vagy túlkenve szerelik, a szögmérőt a beállítás után nem ellenőrzik.

Dokumentálás: a munkalapra fel kell jegyezni a beállított nyomatékot, szöget, sorrendet, a felhasznált elemeket és az esetleges eltérést.

9.3.13. Tipikus hibák

1. hiba: a csavarokat körben húzzák meg átlós sorrend helyett.
A fedél egyenetlenül feszül, a tömítés kinyomódik, szivárgás marad. Helyes gyakorlat: kézi becsavarás, majd átlósan, fokozatosan.

2. hiba: a nyomatékkulcsot megtoldják vagy oldásra használják.
A külső cső megnöveli a kart, így a beállított nyomaték helyett nagyobb nyomatékot viszünk fel; a kulcs mérőszerkezete is tönkremegy. Oldásra csak csavarbontó szerszámot használj.

3. hiba: a forrasztásnál savas folyasztószert alkalmaznak villamos vezetéken.
A savas folyasztószer a kötés után korróziót okoz. Csak gyanta alapú vagy elektronikai no-clean folyasztószer használható.

4. hiba: a nyúlócsavart újra felhasználják, vagy a szöghúzást kihagyják.
A nyúlócsavar megfolyása után a szárerő nem állandó; a kötés meglazulhat vagy törhet. A gyártó által egyszer használatosnak jelölt csavart mindig cserélni kell.

9.3.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A nyúlócsavart minden szereléskor újra fel lehet használni. Indokold!
2. Miért kell a fedélcsavarokat keresztben, nem körben meghúzni?
3. Számítás: 100 Nm nyomatékhoz 0,5 m-es karon mekkora erő kell?
4. Mi a hiba? Villamos vezeték javításánál savas folyasztószert és ólomtartalmú forraszt használnak, majd a kötést csak PVC szigetelőszalaggal tekerik be.
5. Milyen szerszámmal szerelünk popszegecset?
6. Mi a helyes első lépés beragadt csavar oldásakor: kalapálással azonnal erősen feszíteni, vagy ütőoldó szer és óvatos oldás?

9.3.15. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a meghúzási nyomaték fogalmát, és írd fel az egyszerűsített összefüggést a csavar előfeszítő ereje és a csavar átmérője között!

2. feladat (A). Egy berendezés fedelét öt csavarral rögzítik. Rajzold le szövegesen a csavarok meghúzási sorrendjét, és indokold, miért fokozatosan dolgozunk!

3. feladat (B). Egy nyomatékkulcs beállítása 80 Nm. A kulcs fejétől a markolatig a kar hossza 0,35 m. Mekkora kézi erő szükséges a beállított nyomaték eléréséhez? Miért tilos a nyomatékkulcsot toldattal meghosszabbítani?

4. feladat (B). Sorold be az alábbi kötéseket oldhatóság szerint, és indokold: csavarkötés, szegecskötés, zsugorkötés, forrasztott kötés, ragasztott kötés!

5. feladat (C). Miért nem szabad lánggal hevíteni a zsugorkötéshez melegített csapágygyűrűt? Milyen hőmérséklet-tartományt tarthatunk irányadónak? (tanulási példa, ellenőrizendő a csapágygyártó adata.)

6. feladat (D). Ügyfél panasza: a bal első kerék csavarjai menet közben többször meglazultak. A kolléga kerékcsavar-rögzítő folyadékot akar alkalmazni, de nem tudja, milyen típust. Milyen okot gyanítasz először, és milyen ellenőrzést végzel? Milyen javítást javasolhatsz a gyártó adata alapján?

9.3.16. Megoldások

9.3.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A nyúlócsavar gyakran egyszer használatos; a képlékeny alakváltozás miatt az újrafelhasználás után nem biztosít állandó előfeszítő erőt.
2. A keresztben húzás egyenletesen osztja el a nyomást a tömítésen; a körbehúzás a fedél megfeszülését és a tömítés kinyomódását okozhatja.
3. $F = M / r = 100 / 0{,}5 = 200\,\mathrm{N}$.
4. A savas folyasztószer korróziót okoz; az ólom tartalmú forrasz veszélyes anyag; a sima PVC szigetelés nem tehermentesíti a forrasztott, merev vezetéket. Helyes: gyanta alapú folyasztószer, ólommentes forrasz, ragasztóbélésű zsugorcső és a vezeték rögzítése a kötés két oldalán (forrasztott végre nem krimpelünk).
5. Popszegecsfogóval.
6. Ütőoldó szer és óvatos oldás; kalapálás és erőszakos feszítés törést okozhat.

9.3.16.2. Feladatok megoldásai

1. feladat megoldása.
Meghúzási nyomaték a csavaron alkalmazott forgatónyomaték, amellyel a csavarszárban előfeszítő erőt hozunk létre. Egyszerűsített összefüggés: $M \approx k \cdot d \cdot F_v$, ahol k a nyomatéktényező (nem azonos a súrlódási tényezővel, de attól függ), d a névleges átmérő, F_v az előfeszítő erő.

2. feladat megoldása.
Öt csavarnál az átlós sorrend például: 1-3-5-2-4, két fokozatban: előbb az összes csavart kézzel be, majd az átlós sorrendben fél nyomatékkal, végül teljes nyomatékkal. A fokozatosság az egyenletes tömítőfeszülést biztosítja.

3. feladat megoldása.
Adott: $M = 80\,\mathrm{Nm}$, $r = 0{,}35\,\mathrm{m}$. Keresett: F.
Képlet: $F = M / r$.
Behelyettesítés: $F = 80 / 0{,}35 = 228{,}6\,\mathrm{N}$.
A kulcsot a markolat jelölt pontjára kalibrálják; toldattal a leadott nyomaték eltér a beállítottól (a kulcs típusától függően), a nagy erő a mérőszerkezetet túlterheli, és a kulcs elveszítheti a kalibrálását. A pontos nyomatékhoz a toldatot nem használjuk (ellenőrizendő: a kulcs gyártói kezelési utasítása).

4. feladat megoldása.
Csavarkötés: oldható; szegecskötés: nem oldható (roncsolás nélkül); zsugorkötés: oldható (hőmérsékletkülönbséggel szétszerelhető); forrasztott kötés: nem oldható, csak melegítéssel bontható; ragasztott kötés: általában nem oldható, csak a ragasztó roncsolásával.

5. feladat megoldása.
A lánggal történő hevítés helyi túlhevítést okoz, ami a csapágygyűrű anyagát károsíthatja, és hőfeszültséget, repedést eredményezhet. Irányadó érték nyitott csapágynál legfeljebb kb. 110–120 °C, zárt csapágynál kb. 80 °C, de a csapágygyártó adatlapja a mérvadó (ellenőrizendő).

6. feladat megoldása.
Gyanús okok: a felnihez nem illő csavar (fészekforma, hossz), szennyezett vagy festékes felfekvő felület az agy és a tárcsa között, sérült vagy kitágult csavarfészek, a nyomaték elmaradása vagy ütvecsavarozóval történt túl-/alulhúzás.
Ellenőrzés: a csavartípus a felni gyártói adata szerint, a felfekvő felületek, a fészkek és a menetek állapota, a meghúzási nyomaték nyomatékkulccsal.
Javítás: sérült csavar vagy felni cseréje, a felfekvő felületek tisztítása, meghúzás nyomatékkulccsal keresztben, utánhúzás a gyártói előírás szerint (ellenőrizendő: gyártói adat). Menetrögzítő folyadék kerékcsavaron tilos.

9.3.17. Rövid összefoglaló

A kötésszerelés alapja a gyártói adatok pontos betartása. A csavarkötést nyomatékkulccsal, a megadott sorrendben és fokozatokban húzzuk; a nyúlócsavart a gyártó szerint, gyakran egyszer használjuk. A nyomaték és a kézi erő összefüggése $M = F \cdot r$. A csavarbiztosítás lehet alátét, menetrögzítő, önzáró anya, sasszeg vagy drótozás. A szegecskötés, popszegecs, csapszeg, kúpos, zsugor, ék és reteszkötés más-más terhelésre való; a zsugorkötést hőmérsékletkülönbséggel szereljük. A lágyforrasztást gyanta alapú folyasztószerrel, ólommentes forrasszal, szellőztetés mellett végezzük, és a kötést tehermentesíteni kell. A fémragasztásnál a felület előkészítése, a keverés és a kötési idő határozza meg a szilárdságot. Beragadt csavarnál ütőoldó, hő, majd balmenetes kihajtó a helyes sorrend; erőltetni tilos. **Továbbvitt eredmény.** A csavarkötés szerelési ismereteit, a nyomatékbeállítást, a meghúzási sorrendet és a csavarbiztosításokat használjuk a(z) Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések alfejezetben, valamint a(z) Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése alfejezetben.

9.3.18. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítás: meghúzási nyomaték, szögérték, nyúlócsavar használati korlát, csavarbiztosítás típusa.
- Nyomatékkulcs kalibrálási gyakoriság: műhelyi utasítás és eszközgyártó adata (ellenőrizendő).
- Forraszanyag és ragasztó: gyártói adatlap feldolgozási idő, hőmérséklet, szilárdság.
- Munkavédelem: forrasztási füst, ragasztószerek, védőszemüveg, kézvédelem.
- Hulladékkezelés: elektronikai és ragasztómaradványok, ólommentes forrasz maradék (ellenőrizendő: hatályos előírás).

9.4. Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések

9.4.1. Motiváció

A műhelyben rendszeresen találkozol olyan javítási helyzettel, amikor egy kopott csapágyat, berágódott perselyt vagy sérült tömítést kell cserélni. Ilyenkor nem elég az új alkatrészt megvenni: a csapágyat szakszerűen le kell húzni, a felületeket meg kell tisztítani, az illesztő méreteket ellenőrizni kell, majd az új gépelemet a gyártói eljárás szerint be kell szerelni. Ha a szerelő rosszul viszi fel az erőt, melegítés nélkül próbál felsajtolni, vagy nem ellenőrzi a méretláncot, akkor a csapágy néhány száz kilométer után tönkremegy, és az ügyfél visszahozza az autót. Ez az alfejezet

a tanműhelyi gépi megmunkálás és a gépelemszerelés alapjait tanítja meg, mert a járműjavításban a csapágy-, fogaskerék- és tömítésszerelés éppen olyan fontos, mint a hibadiagnosztika.

9.4.2. Szemléletes kép

Képzeld el a tanműhely gépműhelyét: bal oldalon egy hagyományos eszterga áll, a főorsóban egy acél tengelycsonkkal; a szánon karbidlapkás szerszám, a gép mellett hűtő-kenő emulzió. Mellette egy kettős köszörűgép, amelynek egyik oldalán durva, másik oldalán finom szemcséjű korong forog, előtte a szerszámtámasz és a védőburkolat. A sarokban hidraulikus prés, csapágy-lehúzó készlet, indukciós melegítő és tűpontos hőmérő. A munkapadon egy használt kerékcsapágy, fogaskerék, tömítések és mérőeszközök. A feladat: a kopott csapágyat szakszerűen kiszerelni, a felületeket tisztítani, az új csapágyat ellenőrzött hőmérséklettel felszerelni, majd a hézagot és a futást ellenőrizni.

9.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Az **esztergálás (turning)** olyan forgácsoló megmunkálás, amelynél a munkadarab forog, és a szerszám előtolással halad a felület mentén. Járműjavítási célra elsősorban perselyeket, távtartókat, tengelyvégeket, féktárcsa-központosító felületeket munkálunk meg.

Definíció. A **köszörülés (grinding)** nagyon kemény szemcsékből álló köszörűkoronggal végzett finom forgácsolás, amely nagy méretpontosságot és sima felületet ad. A **szerszámélezés** a vágószerszám élgeometriájának köszörűvel való helyreállítása.

Definíció. A **hántolás** hántolókéssel végzett kézi finommegmunkálás, amelynél nagyon vékony forgácsot választunk le, hogy a felület síkja vagy hordképe (például siklócsapágy, vezeték, illesztőfelület) javuljon; a hordképet festékes síklappal (tusírozás) ellenőrizzük. A járműjavításban ritka, elsősorban felújításnál fordul elő.

Definíció. A **csiszolás (polishing/fine sanding)** kötött vagy szabad szemcsékkel végzett felületfinomítás, amely a köszörülésnél kisebb anyagleválasztással dolgozik. Példa: tömítésfelület kézi csiszolása finom szemcséjű papírral, ellenőrzött alátéten.

Definíció. A **méretlánc (dimension chain)** olyan, egymáshoz illeszkedő méretek sorozata, amely egy záró méretet határoz meg. A záró méret tűrése a láncszemek tűrésének összegéből adódik.

Definíció. A **cserélhetőség (interchangeability)** azt jelenti, hogy az azonos típusú alkatrészek egymással olyan pontosan gyárthatók, hogy bármelyik beszerelhető a másik helyére utólagos illesztés nélkül. A teljes cserélhetőség mellett a részleges cserélhetőség, a válogatás, az utólagos illesztés és a beszabályozás a gyakorlatban különböző költség–minőség kompromisszumot jelentenek.

9.4.4. Felépítés és működés

9.4.4.1. Esztergálás és köszörülés a tanműhelyben

Az esztergán a főorsó fordulatszámát a vágósebesség és a munkadarab átmérője határozza meg. A vágósebesség az a kerületi sebesség, amellyel a munkadarab felülete a szerszám előtt elhalad. Az összefüggés:

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot D}$$

ahol n a fordulatszám (1/min), v_c a vágósebesség (m/min), D a munkadarab átmérője (m). A szerszám anyaga korlátozza a megengedett vágósebességet: például gyorsacél szerszámmal lágyacélt jellemzően 25–35 m/min, karbidlapkával 100–180 m/min tartományban esztergálnak (ellenőrizendő: szerszámkatalógus szerint). A beállításnál az előtolás (mm/fordulat) és a fogásmélység (mm) határozza meg a forgács vastagságát.

A köszörűgépen a korong kerületi sebessége általában 30–35 m/s, ezért a korong fordulatszámát tilos önkényesen növelni. A korongot felszerelés előtt repedésvizsgálattal ellenőrizzük: felfüggesztve könnyű, nem fémes kalapáccsal óvatosan megütve csengő hangot kell adnia; repedt korong tompa hangot ad.

9.4.4.2. Szereléstechnika és méretlánc

A gépelemek szerelésekor az illesztések megválasztása határozza meg, hogy a gyűrű, fogaskerék vagy tömítés hogyan ül a házban vagy a tengelyen. A hézagot vagy fedést a méretlánc szélsőérték-módszerével számoljuk. Ha a záró méret például a csapágyhézag, akkor:

$$H = B - (A_1 + A_2)$$

ahol B a távtartó hossza, A_1 és A_2 a csapágyak vállméretei. A záró méret tűrése az egyes tűrések abszolút értékének összege. A gyakorlatban a beszabályozás azt jelenti, hogy a távtartót vagy beállító gyűrűt a mért hézag alapján választjuk meg, köszörüljük vagy csiszoljuk.

9.4.4.3. Alkatrésztisztítás

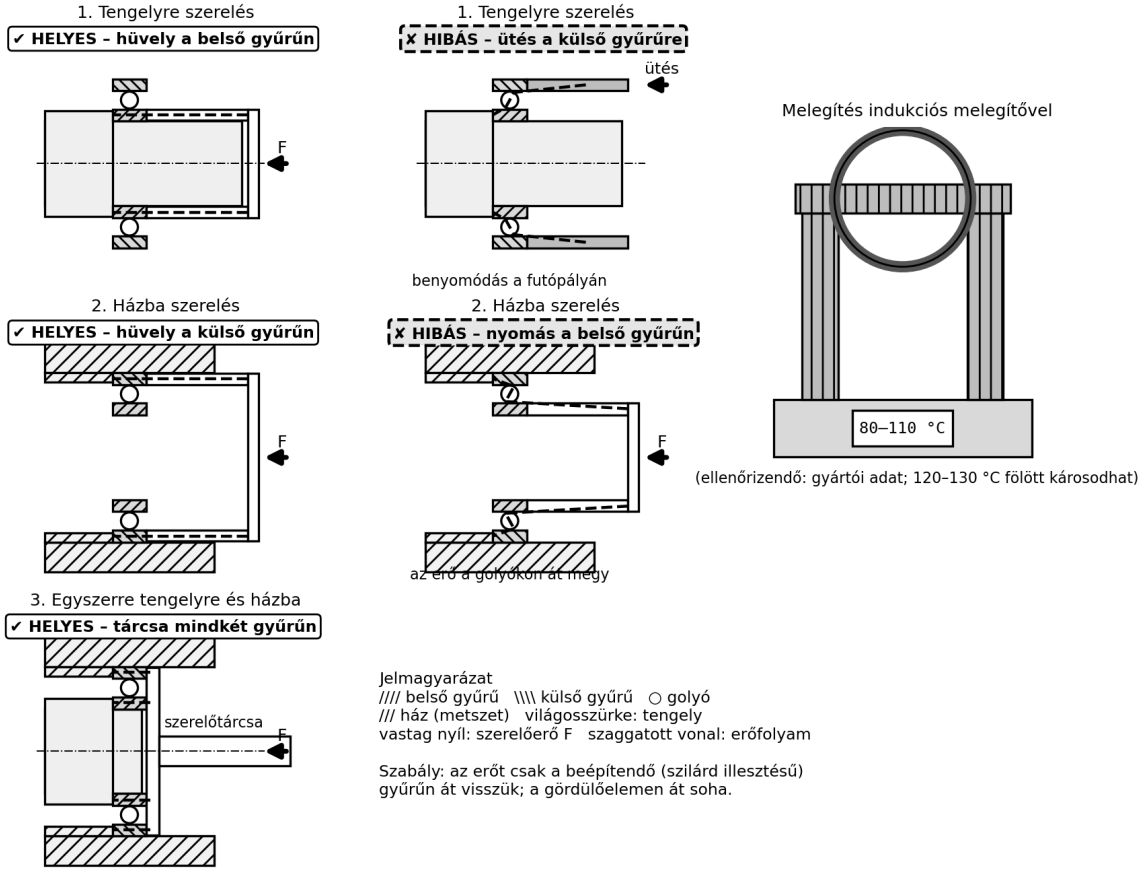
A járműalkatrészek szennyeződései eltérő tulajdonságúak: olajos, kokszos, oxidált, vízköves, régi tömítésmaradványos vagy fémes kopadékos. A tisztítási eljárás kiválasztása a szennyezés típusától és az alkatrész anyagától függ. - Az olajos, zsíros felületet lúgos vagy semleges vizes alapú tisztítószerrel, illetve oldószerrel tisztítjuk. - A tömítésmaradványt mechanikusan, plasztik spatulával vagy felületkímélő kémiai oldóval távolítjuk el, tilos éles acélkéssel karcolni a tömítésfelületet. - Az oxidált, rozsdás felületet finom csiszolással, drótkefével vagy vegyszeres rozsdaoldóval készítjük elő. - A kokszos égéstéri lerakódást áztatásos vagy ultrahangos tisztítással oldjuk, nem fújjuk szét sűrített levegővel.

Környezetvédelem. A tisztítási oldószerek, a hűtő-kenő emulzió, a fáradt olaj és az olajjal, emulzióval szennyezett fémforgács veszélyes hulladék, ezért ezeket nem szabad a csatornába vagy a kommunális hulladékba önteni. A tanműhelyben zárható gyűjtőedényeket, szelektív tárolást és a veszélyes hulladékra vonatkozó nyilvántartást kell alkalmazni (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról – ellenőrizendő: hatályos szöveg; 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet – ellenőrizendő). A szennyezett rongyot, olajos forgácsot külön edénybe gyűjtjük.

9.4.4.4. Csapágyak szerelése

A gördülőcsapágy (rolling bearing) belső gyűrűből, külső gyűrűből, gördülőelemekből és ketrecből áll. A szereléskor az erőt mindig csak azon a gyűrűn szabad átvinni, amelynek illesztése éppen feszül, mert a gördülőelemeken átvitt erő kipontozódást, kifáradást okoz. Ha a csapágyat tengelyre szereljük, a belső gyűrűt támasztjuk alá és arra hat az erő; ha házba szereljük, a külső gyűrűre. A gyűrűket fokozatosan, merőlegesen kell felnyomni, ütközésig, majd ellenőrizzük a szabad forgást.

A csapágy szerelhető hidegen vagy hőmérséklet-különbséggel. A gyakorlatban a csapágyat indukciós melegítővel vagy kemencében melegítjük, nyitott csapágynál jellemzően legfeljebb kb. 110–120 °C-ra, zárt (tömített, zsírzott) csapágynál legfeljebb kb. 80 °C-ra (ellenőrizendő: csapágytípus és a csapágygyártó adata). Ennél magasabb hőmérsékleten a csapágy károsodhat, mert a gyűrűk anyaga meglágyul, a kenőanyag elszenesedik, a tömítés megsérül. Alternatívaként a tengelyt folyékony nitrogénnel vagy szárazjéggel hűtik, de ezt csak megfelelő védőeszközzel és gyártói engedéllyel szabad végezni.

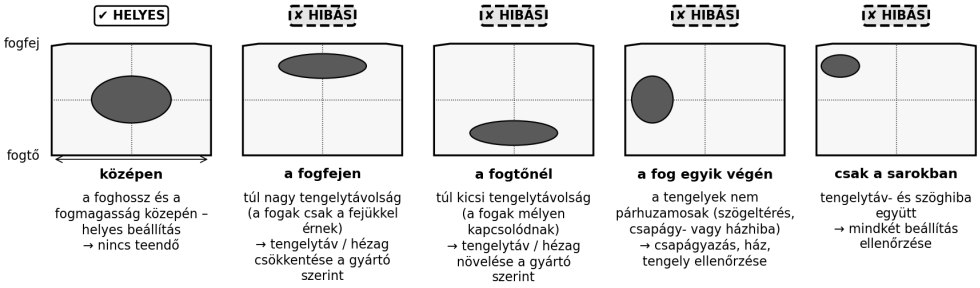


9.13. ábra. Gördülőcsapágy szerelése: az erő a beépítendő gyűrűn át helyes, a gördülőelemeken át hibás; melegítés indukciós melegítővel

Az ábra három szerelési esetet mutat: tengelyre szerelésnél a hüvely a belső gyűrűre, házba szerelésnél a külső gyűrűre nyom, egyszerre tengelyre és házba szerelésnél a szerelőtárcsa mindkét gyűrűre. A hibás változatokban (ütés a külső gyűrűre, nyomás a belső gyűrűn házba szereléskor) a szaggatott erőfolyam a golyókon halad át, ez okozza a futópálya benyomódását.

9.4.4.5. Fogaskerekek, csőkötések és tömítések szerelése

A fogaskerekeket úgy szereljük, hogy a foghézag a gyártói érték között legyen, és az érintkezési kép a foghossz közepén, a fogmagasság megfelelő sávjában helyezkedjen el. A túl nagy foghézag kopogást, a túl kicsi foghézag megszorulást, zajt és melegedést okoz. A csőkötéseknél a csatlakozó felületeket tisztítjuk, a tömítő O-gyűrűt vagy tömítőanyagot a gyártó szerint alkalmazzuk, a csavarkötéseket átlósan, fokozatosan, a megadott nyomatékkal húzzuk meg. A papír- vagy fémtömítéseket előzetesen nem szabad festeni, ragasztani, hacsak a gyártói utasítás nem írja elő.



9.14. ábra. Fogaskerekek hordképe: helyes középső érintkezési kép és négy hibás változat a valószínű okkal

A festékes hordképvizsgálatnál a folt helye mutatja a beállítás hibáját: a fogfejen lévő folt túl nagy, a fogtőnél lévő túl kicsi tengelytávolságra utal, a fog egyik végén lévő folt a tengelyek szögeltérésére. Az okok tájékoztatók, a beállítást a gyártói javítási utasítás adja (ellenőrizendő).

9.4.4.6. Hibafelvételezés gépelemeken

A gépelemek hibái három fő csoportba sorolhatók: **kopás, kifáradás, berágódás**. A kopás anyagfogyással jár, mérhető méretcsökkenésként vagy hézagnövekedésként. A kifáradás apró pitting, kagylós kipattogzás vagy repedés formájában jelentkezik. A berágódás hirtelen, helyi összehegedésből származó felületi sérülés, amely a kenés hiányára, túlmelegedésre vagy túlzott előfeszítésre utal.

9.4.5. Kidolgozott példák

9.4.5.1. 1. példa – Esztergálási fordulatszám

Adott: munkadarab átmérője $D = 40\,\text{mm} = 0{,}04\,\text{m}$, vágósebesség $v_c = 120\,\text{m/min}$.
Keresett: főorsó-fordulatszám n.
Képlet: $n = \dfrac{v_c}{\pi \cdot D}$.
Behelyettesítés:
$n = \dfrac{120\,\text{m/min}}{\pi \cdot 0{,}04\,\text{m}} = \dfrac{120}{0{,}1257}\,1/\text{min} \approx 955\,1/\text{min}.$
Eredmény: A gép fordulatszámát kb. 960 1/min-ra állítjuk.
Ellenőrzés: Lágyacél karbidlapkás esztergálásakor a 900–1000 1/min reális; a mértékegységek kiejtik egymást.

9.4.5.2. 2. példa – Méretlánc szélsőérték-módszer

Adott: $A_1 = 20 \pm 0{,}05\,\text{mm}$, $A_2 = 30 \pm 0{,}05\,\text{mm}$, $B = 50 \pm 0{,}10\,\text{mm}$.
Keresett: a $H = B - (A_1 + A_2)$ záró hézag legnagyobb és legkisebb értéke.
Képlet: $H = B - (A_1 + A_2)$.
Behelyettesítés:
$H_{\text{névleges}} = 50 - (20 + 30) = 0\,\text{mm}$;
$H_{\max} = 50{,}10 - (19{,}95 + 29{,}95) = 0{,}20\,\text{mm}$;
$H_{\min} = 49{,}90 - (20{,}05 + 30{,}05) = -0{,}20\,\text{mm}$.
Eredmény: A hézag −0,20 és +0,20 mm között változhat. Ha a gyártói hézagkövetelmény például 0,05–0,15 mm, akkor ez a méretlánc nem megfelelő; a távtartót válogatni vagy csiszolni kell.
Ellenőrzés: A tűrésmezők szélessége 0,20 + 0,10 + 0,10 = 0,40 mm; ez éppen a záró méret tűrésmezője (−0,20 ... + 0,20 mm), összhangban a szélsőérték-módszerrel.

9.4.6. Előírások és biztonság

Előírás. A gépi berendezések biztonsági követelményeit az Európai Unió gépekről szóló irányelve (2006/42/EK – ellenőrizendő: hatályos szöveg), valamint a magyar munkavédelmi törvény (1993. évi XCIII. törvény – ellenőrizendő: hatályos szöveg) és a kapcsolódó nemzeti rendeletek (ellenőrizendő) határozzák meg. Esztergán, fúrógépen és köszörűgépen csak oktatói felügyelet mellett, a gép védőburkolataival, védőszemüveggel és megfelelő ruházattal szabad dolgozni.

Figyelem. A köszörűkorong felrobbanhat, ha repedt, ha túl nagy fordulatszámon járatják, vagy ha a szerszámtámasz és a védőburkolat hiányzik. A korongot felszerelés előtt repedésvizsgálattal kell ellenőrizni. A szerszámtámasz és a korong közötti rés legfeljebb 2–3 mm legyen (ellenőrizendő: a gép kezelési utasítása), és a korong kopásával utánállítjuk. Felszerelés után a korongot a gép üzemi fordulatszámán, legalább 1 percig, a korong síkján kívül állva járatjuk próbajáratáskor. A gép fordulatszáma nem lehet nagyobb a korongon jelölt megengedett értéknél.

Tilos. Forgó munkadarabot, szerszámot vagy korongot kézzel érinteni, hosszú hajjal, bő ujjú ruhával, kesztyűvel a géphez állni, a forgácsot kézzel eltávolítani, vagy a gépet a védőburkolat eltávolítása után járatni.

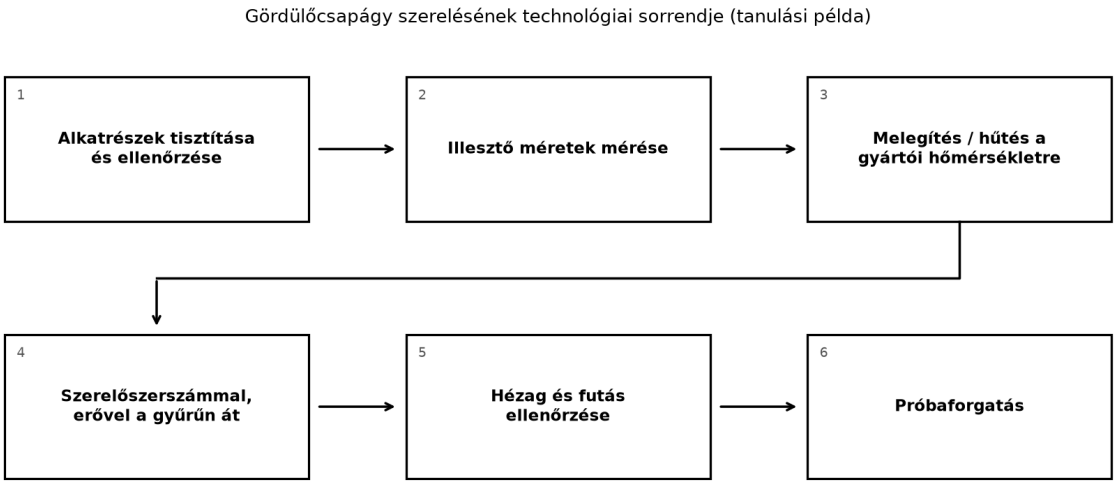
Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

9.4.7. Minőségellenőrzés

A gépi megmunkálás és a gépelemszerelés minőségét mindig méréssel igazoljuk: - Az esztergált átmérőt mikrométerrel vagy tolómérővel mérjük, az ovalitást több ponton. - A köszörült vagy csiszolt tömítésfelületet síklappal és hézagmérővel ellenőrizzük: a megengedett hézag jellemzően 0,05 mm alatti (ellenőrizendő: gyártói adat). - A csapágyhézagot hézagmérővel vagy mérőórával, a futási ütést mérőórával ellenőrizzük. - A fogaskerék foghézagát hézagmérővel vagy ólomdrótos lenyomattal mérjük. - A csavarkötéseket a gyártói nyomatékértékre állított nyomatékkulccsal húzzuk meg, majd a meghúzást kétszer ellenőrizzük.

9.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanulóműhelybe érkező személyautón a bal első kerékcsapágy zúg, kanyarodáskor erősödik. A tanuló a gyártói javítási utasítás alapján dolgozik. Először a járművet a gyártói emelési ponton megemeli, és bakra támasztja; alá csak alátámasztott helyzetben nyúl. A kereket leveszi, a féknyereget és a féktárcsát a gyártó szerint ki-, illetve rögzíti. A régi csapágyat prés és célszerszám segítségével, a megfelelő gyűrűn át nyomja ki. A ház és a tengely illesztő felületeit tisztítja, a méreteket méri: a furat 62 mm, a tengelycsap 30 mm; az új csapágy méreteit a dobozon és mérőeszközzel is ellenőrzi. Az új, zárt (zsírzott) csapágyat nem melegíti: a csonkállványból kiszerelt házfuratba hidegen, a külső gyűrűre ható nyomótüskével és préssel, ütközésig sajtolja; a biztosítógyűrűt beteszi, majd az agyat a belső gyűrűre támaszkodva préseli be (ellenőrizendő: a gyártói javítási utasítás). Melegítéses szerelést csak nyitott, nem zsírzott ipari csapágynál alkalmaznak, ott is a csapágygyártó hőmérsékleti határa szerint. Összeszerelés után a forgást és az axiális hézagot ellenőrzi, majd az új tömítést és az agyanyát a gyártó által megadott nyomatékkal (például 180 Nm + 90°, ellenőrizendő) meghúzza. A javítás után próbaúton a zúgás megszűnik. A tanulság: a hőmérséklet-ellenőrzés nélküli melegítés és a rossz gyűrűről átvitt erő a leggyakoribb hibaforrás.



9.15. ábra. Gördülőcsapágy szerelésének technológiai sorrendje (tanulási példa) - A konkrét jármű-/gépcsapágyhoz a gyártói javítási utasítás az irányadó. Az értékek tanulási példák.

A folyamatábra a csapágycsere hat alapvető lépését mutatja: a tisztítás és ellenőrzés nélkül nem tudjuk, miért kopott el a régi csapágy; a mérés nélkül nem tudjuk az illesztést; a hőmérséklet-különbség nélkül túlzott erőt kellene kifejteni; a rossz gyűrűn átvitt erő tönkreteszi a csapágyat; a hézag- és futásellenőrzés igazolja a szerelést; a próbaforgatás a végső minőségellenőrzés.

9.4.9. Gyakorlati útmutató

Gördülőcsapágy cseréje tanműhelyi gépen vagy jármű kerékcsapágyon (tanulási példa)

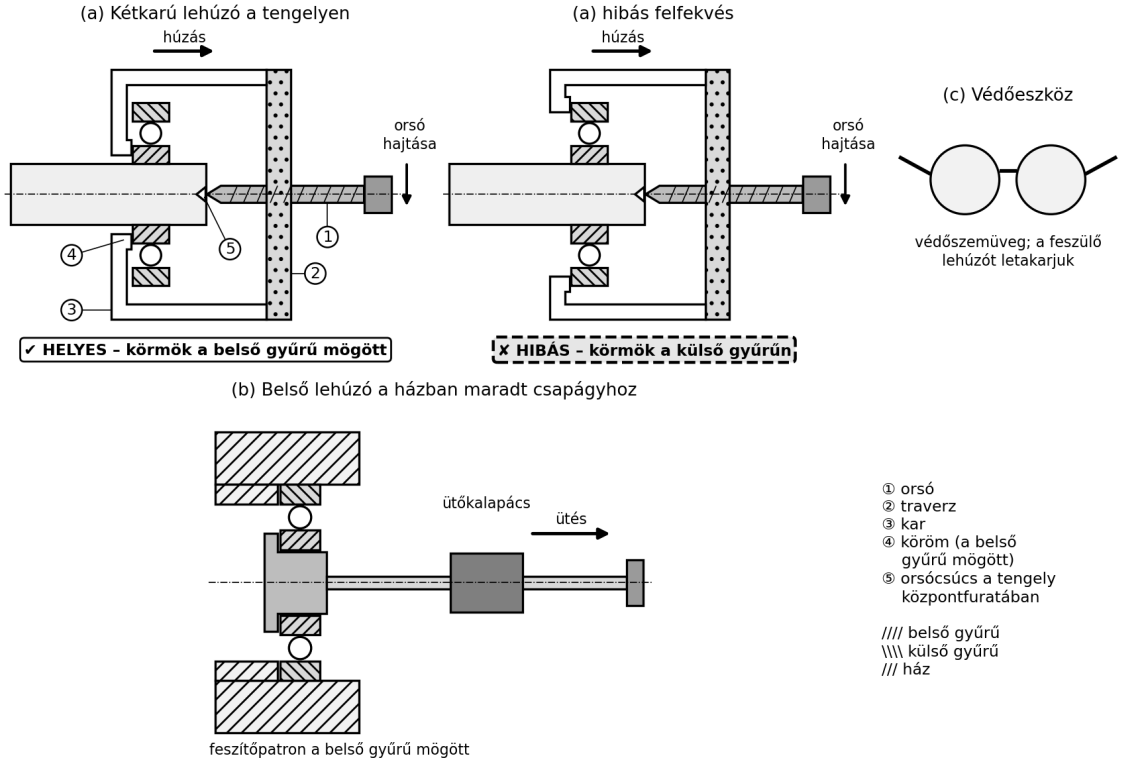
- **Cél:** kopott, zúgó vagy hézaggal rendelkező gördülőcsapágy szakszerű cseréje.
- **Jármű- és adatazonosítás:** jármű típusa, alvázszáma, futott kilométer, csapágy típusa és mérete, a gyártói javítási utasítás száma (ellenőrizendő).

- **Szükséges szerszámok:** csapágy-lehúzó készlet, hidraulikus prés, indukciós melegítő vagy kemence, tűpontos hőmérő, mérőóra, tolómérő, mikrométer, hézagmérő, nyomatékkulcs, szerelőtüskék, plasztik kalapács.
- **Anyagok:** új csapágy, új tömítés, szerelőzsír, zsírtalanító, tiszta rongy, rögzítőelemek.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Emelésnél a kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos, bakot vagy aknát kell használni.

Munkalépések:

1. A járművet rögzítsd (rögzítőfék, ékek), a földön lazítsd meg a kerékcsavarokat és – ha van – az agyanyát. Emeld meg a gyártói emelési pontokon, támaszd alá bakkal vagy reteszeld a műhelyi járműemelőt; kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos. Szereld le a kereket.
2. A kerékcsapágy környezetét tisztítsd meg zsírtalanítóval; a féket a gyártói utasítás szerint kösd ki vagy támaszd meg.
3. A régi csapágyat lehúzóval, a megfelelő felfekvő felületen húzd le; ha a csapágy a házban marad, belső lehúzóval dolgozz.
4. A csapágyfuratot és a tengelycsapot tisztítsd meg, ellenőrizd méretüket, érdességüket, futási ütésüket.
5. Az új csapágyat ellenőrizd: a típusjel, a méret és a kenés gyári állapota legyen megfelelő.
6. Zárt (zsírzott) kerékcsapágyat hidegen, célszerszámmal sajtolj a gyártói utasítás szerint; nyitott, nem zsírzott csapágyat melegíts legfeljebb kb. 110–120 °C-ra, zárt csapágyat legfeljebb kb. 80 °C-ra (ellenőrizendő: gyártói adat), vagy a tengelyt hűtsd le az előírt módon.
7. A csapágyat merőlegesen, az erőt a megfelelő gyűrűn át, szerelőtüskével vagy préseléssel ütközésig szereld fel.
8. Kihűlés után ellenőrizd a tengelyirányú hézagot és a szabad forgást; ha a csapágy szorul, ne próbáld erővel továbbnyomni.
9. Szereld fel az új tömítést, a rögzítőelemeket a gyártói nyomatékkal húzd meg.
10. Végezz próbaforgatást, próbaúton hallgasd a csapágy zaját, ellenőrizd a melegedést és a hézagot.
11. Dokumentáld a munkát a munkalapon, a szervizkönyvben és a hibafelvételi lapon.



Sematikus vonalrajz; illusztrátori finomítás opcionális. A lehúzót és a felfekvő felületet a gyártói javítási utasítás adja.

9.16. ábra. Csapágylehúzók: kétkarú lehúzó a belső gyűrű mögött (helyes) és a külső gyűrűn (hibás), belső lehúzó a házban maradt csapágyhoz

A 3. lépéshez: a kétkarú lehúzó orsócsúcsa a tengely központfuratában támaszkodik, a körmök a lehúzandó belső gyűrű mögé fognak; ha a körmök a külső gyűrűn vannak, az erő a gördülőelemeken át megy, a csapágy szétesik vagy a karok lecsúsznak. A házban maradt csapágyat belső lehúzóval (feszítőpatron és ütőkalapácsos szár) húzzuk ki; védőszemüveg kötelező.

Tipus hibák a munkalapnál: - A csapágy felfekszik a gördülőelemekkel, nem a gyűrűvel. - A melegítés hőmérséklete túllépi a gyártói határt, a csapágy anyaga vagy kenése károsodik. - Az illesztő méretet nem ellenőrzik, a túlzott fedés miatt a csapágy beszorul.

9.4.10. Tipikus hibák

1. **A csapágyat rossz gyűrűn át nyomják be.** Ha a belső gyűrű helyett a külsőre hat az erő, a gördülőelemek benyomódnak a futófelületbe; a csapágy rövid idő alatt tönkremegy. Helyesen: mindig azt a gyűrűt támasztjuk alá és arra viszünk erőt, amelynek illesztése feszül.
2. **Hidegen, ferdén préselik a csapágyat.** A hideg csapágy és a tengely közötti túlzott fedés nagy erőt igényel, a ferde felfekvés megsérti a vezetőélt és berágódást okoz. Helyesen: hőmérséklet-különbséggel, fokozatosan, ütközésig, merőlegesen szerelünk.
3. **Nem mérik a méretláncot.** A távtartó hosszát „szemre” választják, a záró hézag túl nagy vagy negatív lesz. Helyesen: a hézagot szélsőérték-módszerrel számolják, vagy mérőeszközzel választják meg a távtartót.
4. **A tömítésfelületet éles szerszámmal kaparják.** A karcolások szivárgást okoznak. Helyesen: plasztik spatulával, oldószerrel, finom csiszolással dolgozunk.

5. **Repedt köszörűkorongot felszerelnek.** A korong üzem közben felrobbanhat. Helyesen: felszerelés előtt repedésvizsgálat, majd rövid járatás üzemi fordulaton, védőburkolattal.

9.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e: az esztergálási fordulatszámot kizárólag a szerszám anyaga határozza meg?

2. Miért tilos a gördülőcsapágyat a gördülőelemeken keresztül terhelni szereléskor?

3. Számold ki a fordulatszámot, ha $D = 50\,\text{mm}$ és $v_c = 100\,\text{m/min}$.

4. Mi a különbség a teljes és a válogatásos cserélhetőség között?

5. Mi a hiba ebben a leírásban? „A csapágyat 200 °C-ra melegítjük, majd ütögetve a külső gyűrűjére visszük fel az erőt, amíg a tengelyen ütközésig nem ér.”

6. Milyen méréssel ellenőrzöd a csapágyhézagot és a fogaskerék foghézagát?

9.4.12. Feladatok

1. feladat (A)
Számítsd ki az esztergálási fordulatszámot, ha a munkadarab átmérője $D = 80\,\text{mm}$ és a vágósebesség $v_c = 150\,\text{m/min}$. A képletben D-t méterben helyettesítsd.

2. feladat (A)
Sorold fel a gördülőcsapágy szerelésénél az erőátvitel három legfontosabb szabályát.

3. feladat (B)
Egy méretláncban $A_1 = 25 \pm 0{,}03\,\text{mm}$, $A_2 = 35 \pm 0{,}03\,\text{mm}$, $B = 60 \pm 0{,}05\,\text{mm}$. Számítsd ki a $H = B - (A_1 + A_2)$ záró hézag névleges, legnagyobb és legkisebb értékét. A gyártói hézagkövetelmény 0,03–0,10 mm; megfelel-e a méretlánc?

4. feladat (B)
Három tisztítási feladat: a) olajos hajtóműház belső felülete; b) leszakadt papírtömítés maradványa az olajteknő peremén; c) erősen oxidált, rozsdás féltengelycsap. Melyik tisztítási eljárást választod, és miért?

5. feladat (C)
Hasonlítsd össze a csapágy melegítését és a tengely hűtését. Melyik módszer milyen előnnyel és kockázattal jár a járműjavításban?

6. feladat (D)
Egy beszerelt kerékcsapágy próbaúton néhány kilométer után melegszik, halkan zúg, és a kerék forgatása kézzel nehéz. Sorold fel a lehetséges okokat, és add meg mindegyikhez a célzott ellenőrzést.

9.4.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A fordulatszámot a vágósebesség és a munkadarab átmérője határozza meg, a szerszám anyaga a megengedett vágósebességet korlátozza.

2. Mert a gördülőelemek és a futógyűrűk közötti pontszerű érintkezésnél kipontozódás, benyomódás keletkezik, ami kifáradáshoz és zajhoz vezet. Az erőt mindig a feszülő illesztésű gyűrűn kell átvinni.
3. $D = 50\,\text{mm} = 0{,}05\,\text{m}$; $n = \dfrac{100}{\pi \cdot 0{,}05} \approx 637\,1/\text{min}$.
4. A teljes cserélhetőségnél bármelyik alkatrész utólagos illesztés nélkül szerelhető, ami szűk tűréseket és magasabb gyártási költséget igényel. A válogatásnál az alkatrészeket méretcsoportokba sorolják, és csak az azonos csoportba tartozók cserélhetők egymással; a tűrés lazább lehet, de a szerelés előtt méretcsoport-azonosítás szükséges.
5. A leírás hibái: 200 °C meghaladja a csapágyak megengedett szerelési hőmérsékletét (nyitott csapágynál jellemzően legfeljebb kb. 110–120 °C, zárt csapágynál kb. 80 °C, ellenőrizendő), a csapágyat nem ütögetni kell, és az erőt nem a külső gyűrűn, hanem a belső gyűrűn kell átvinni, ha tengelyre szereljük.
6. Csapágyhézag: hézagmérővel vagy mérőórával; fogaskerék foghézag: hézagmérővel vagy ólomdrótos lenyomattal, az érintkezési képet pedig kékfestéssel.

Feladatok megoldása

1. feladat
$D = 80\,\text{mm} = 0{,}08\,\text{m}$, $v_c = 150\,\text{m/min}$.
$n = \dfrac{150}{\pi \cdot 0{,}08} \approx 597\,1/\text{min}$. A gépet kb. $600\,1/\text{min}$ fordulatra állítjuk.

2. feladat
Az erőt mindig azon a gyűrűn kell átvinni, amelynek illesztése feszül; a gördülőelemeken keresztül erőt átvinni tilos; a csapágyat merőlegesen, fokozatosan, ütközésig kell szerelni.

3. feladat
$H_{\text{névleges}} = 60 - (25 + 35) = 0\,\text{mm}$.
$H_{\max} = 60{,}05 - (24{,}97 + 34{,}97) = 0{,}11\,\text{mm}$.
$H_{\min} = 59{,}95 - (25{,}03 + 35{,}03) = -0{,}11\,\text{mm}$.
A hézag −0,11 és +0,11 mm között alakulhat. A megengedett 0,03–0,10 mm-es hézag nem teljesül, ezért a méretlánc nem megfelelő; távtartó-válogatás vagy beszabályozás szükséges.

4. feladat
a) Olajos hajtóműház: lúgos vagy semleges vizes tisztítószer, majd tiszta vízzel öblítés és gondos szárítás.
b) Papírtömítés-maradvány: plasztik spatula, felületkímélő oldószer, esetleg finom csiszolás sík alátéten. Acélkéssel tilos kaparni.
c) Rozsdás féltengelycsap: drótkefe, finom csiszolóvászon, oxidoldó, majd a felület méretének és érdességének ellenőrzése.

5. feladat
A csapágy melegítése gyors, egyszerű és nem igényel fagyasztó anyagot; a gyűrű megtágul, csökken a sajtolási erő. Kockázata, hogy a csapágy túlmelegítése tönkreteszi az anyagot és a kenőzsírt. A tengely hűtése kisebb hőterhelést ad a csapágyra, és nagyon tiszta szerelést tesz lehetővé; kockázata a folyékony nitrogén vagy szárazjég okozta fagyásos sérülés és a páralecsapódás, ami azonnali korróziót okozhat. A járműjavításban általában az indukciós melegítés a praktikus, mert szabályozható, és nem hűti le a tengelyt.

6. feladat
Lehetséges okok:
- Túl nagy előfeszítés: ellenőrizzük a tengelyirányú hézagot és a meghúzási nyomatékot.
- Rossz kenés: ellenőrizzük a csapágy kenését és a tömítést.
- Ferde beszerelés: ellenőrizzük a futási ütést mérőórával.

- Sérült illesztőfelület (berágódott vezeték): ellenőrizzük a felület épségét és méretét.
- Rossz tömítés, amely feltorlódott: vizsgáljuk a tömítés érintkezését.
Mindegyiknél a mért értéket a gyártói javítási adattal kell összehasonlítani.

9.4.14. Rövid összefoglaló

A gépi megmunkálás és gépelemszerelés alapja a méretpontosság, a tiszta felület és az erőátvitel szabályainak betartása. Esztergáláskor a fordulatszámot a vágósebesség és a munkadarab átmérője határozza meg: $n = \frac{v_c}{\pi D}$. Köszörűgépen csak ép, repedésvizsgált korongot használunk, védőburkolattal, szemvédővel. A méretlánc záró méretét szélsőérték-módszerrel számoljuk, például $H = B - (A_1 + A_2)$. A csapágy szerelésekor az erőt mindig azon a gyűrűn keresztül vezetjük, amelynek illesztése feszül; a csapágyat hőmérséklet-különbséggel, merőlegesen, ütközésig szereljük, majd a hézagot és a futást mérjük. A fogaskerekeknél a foghézagot és az érintkezési képet ellenőrizzük. A tömítésfelületet nem szabad karcolni. A veszélyes hulladékot szelektíven, a jogszabályok szerint kell gyűjteni. **Továbbvitt eredmény.** A csapágy-, fogaskerék- és tömítésszerelés szabályait, valamint a kopás–kifáradás–berágódás hibafelvételezési módszert használjuk a(z) A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése alfejezetben, ahol a motorbelső csapágyait, tömítéseit és illesztett kötéseit szereljük.

9.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a munkavédelmi törvény (1993. évi XCIII. törvény – ellenőrizendő: hatályos szöveg), az EU gépekről szóló irányelve (2006/42/EK – ellenőrizendő), a hulladékról szóló törvény (2012. évi CLXXXV. törvény – ellenőrizendő) és a veszélyes hulladék rendelet (225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet – ellenőrizendő) a környezetvédelemhez. A gyártói javítási adatok (csapágy szerelési hőmérséklet, nyomaték, hézag) tanulási példaként szerepelnek, és mindig a konkrét jármű vagy gép gyártói utasítása szerint ellenőrizendők. A szerszámanyag-vágósebesség tartományok, a csapágyhőmérséklet-határok és a tömítésfelület síkhiba-értékei szintén ellenőrizendők a szerszámkatalógus, a csapágygyártó és a tömítésgyártó adatai alapján. A szöveg nem hivatkozik az URL-ekre olvasott bizonyítékként; azok csak kiindulópontok.

10 Gépelemek

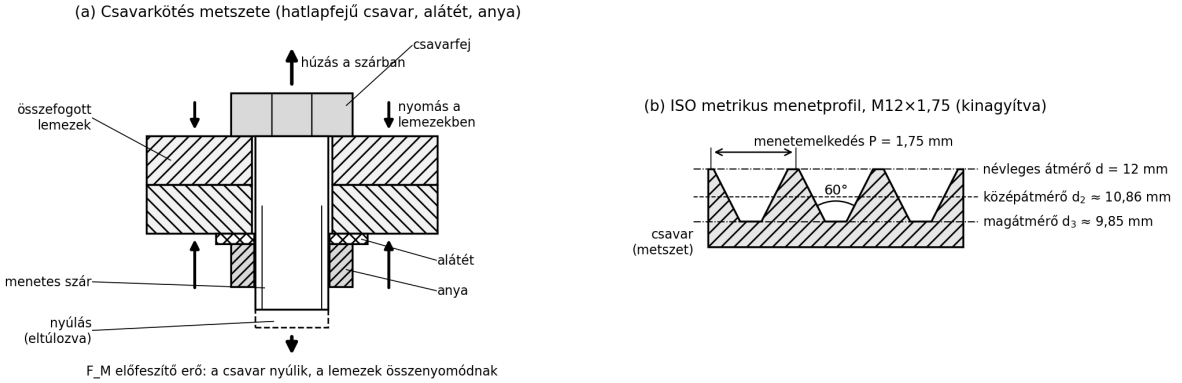
10.1. Kötőgépelemek: csavarok, szegecsek, csapszegek, reteszek és biztosítások

10.1.1. Motiváció

Egy futóműjavítás után az ügyfél azzal jön vissza, hogy kormányrázást érez, és a szerelő azt tapasztalja, hogy az egyik kerékcsavar laza. A műhelyfőnök azt mondja: „nyomatékkulccsal, a gyártó által megadott nyomatékra, csillag alakú sorrendben húzd meg”. Ugyanazon a napon egy hengerfejcsere során a gyártói utasítás szöghúzást ír elő, és megjegyzi, hogy a hengerfejcsavarok egyszer használatosak. A két helyzet ugyanarra a gépelemre vezet: a csavarkötésre. Ha a szerelő nem ismeri a menetfajtákat, a szilárdsági osztályokat, az előfeszítés és a meghúzási nyomaték összefüggését, akkor a járműben a legjobb esetben is nyikorgó, lazuló kötés lesz, rosszabb esetben csavarszakadás, kerékleválás vagy tömítetlenség. A kötőgépelemek ismerete ezért nem formális gyártástechnológiai kérdés, hanem napi műhelybiztonsági és minőségi követelmény.

10.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy metszeti rajzot, amelyen két acéllemezt egy hatlapfejű csavar, alátét és anya fog össze. A csavar feje a bal oldalon, a menetes szár a jobb oldalon, az anya a menet végén helyezkedik el. Ha a csavart nagyítva nézzük, a menet egy ferde lejtő, amely a hengeres szár körül spirálisan halad. Az anya forgatásakor a menetprofilok egymáson csúsznak, és a forgatónyomaték tengelyirányú szorítóerővé alakul. A menetprofil jellemzői: a névleges átmérő d, a középátmérő d_2, a magátmérő d_3 és a menetemelkedés P. A húzás hatására a csavar szára kissé megnyúlik, a lemezek pedig összenyomódnak; ezt a rugalmas alakváltozást használjuk ki a szorítóerő fenntartására.



1. példa: M12, M_A = 80 Nm, k = 0,20 → F_M ≈ 33,3 kN, σ ≈ 395 MPa (8.8-as csavar folyáshatárának ≈ 62%-a). A szabványértékek ellenőrizendők (MSZ EN ISO 898-1, menettáblázat).

10.1. ábra. Csavarkötés metszete és az ISO metrikus menetprofil

Az ábra (a) része a két lemezt összefogó hatlapfejű csavart, alátétet és anyát mutatja: a szárban húzás, a lemezekben nyomás ébred, a csavar nyúlása eltúlozva szaggatott vonallal látszik. A (b) rész az M12×1,75 menet kinagyított profilja: névleges átmérő $d = 12$ mm, középátmérő $d_2 \approx 10{,}86$ mm, magátmérő $d_3 \approx 9{,}85$ mm, menetemelkedés $P = 1{,}75$ mm, 60°-os profilszög. A HTML-változatban a meghúzási nyomaték és a k tényező állításával az előfeszítő erő és a feszültség is leolvasható (1. példa).

10.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **kötőgépelem** két vagy több alkatrész helyzetét, erő- vagy nyomatékátvitelét biztosító gépelem. A **kötés** lehet **oldható**, ha az alkatrészek károsodás nélkül szét- és összeszerelhetők, vagy **nem oldható**, ha a szétválasztás legalább az egyik alkatrész károsodásával jár.

Definíció. A **csavarkötés** oldható, menetes kötés, amely a csavarban ébredő húzó előfeszítő erővel szorítja össze az alkatrészeket. A **szegecskötés** nem oldható kötés, amelynél a szegecs zárófejét képlékeny alakítással készítik.

Definíció. A **szilárdsági osztály** a csavar anyagának szabványos jelölése, például `8.8` vagy `10.9`. A pont előtti szám a névleges szakítószilárdság R_m százada MPa-ban, a pont utáni szám tízszerese a folyáshatár (vagy egyezményes folyáshatár) és a szakítószilárdság arányának.

Definíció. Az **előfeszítő erő** F_M a csavarkötésben a meghúzás után ébredő tengelyirányú húzóerő a csavarban, illetve az ezzel egyenlő nagyságú nyomóerő az összefogott alkatrészekben. A **meghúzási nyomaték** M_A az anyára vagy csavarfejre kifejtett forgatónyomaték, amely az előfeszítő erőt létrehozza.

10.1.4. Kötések osztályozása és szegecskötések

A járműjavításban leggyakrabban oldható kötésekkel dolgozunk: csavarokkal, anyákkal, csapszegekkel, reteszekkel, ékekkel, bordás tengelykötésekkel és rögzítőgyűrűkkel. Nem oldható kötést akkor alkalmaznak, ha a szétválasztásra nincs szükség, vagy ha a kötésnek egyszerűnek, olcsónak és rezgésállónak kell lennie. Ilyen a szegecskötés, a hegesztés, forrasztás és ragasztás. A szegecs ma már elsősorban karosszéria-javításban, alvázelemeknél és régi járműveken fordul elő, de a kötésméretezés logikája azonos a többi kötőelemmel.

A szegecs általában kis széntartalmú, jól képlékeny acélból, alumíniumból vagy rézből készül. A szár egyik végén előre elkészített fej van, a másik végét melegen vagy hidegen zárófejjé alakítják. A szegecskötés a furatban nyíróerőt és palástnyomást visz át. A méretezés alapösszefüggése az Szilárdságtan I: feszültség, Hooke-törvény, húzás, nyomás és nyírás alfejezetből ismert:

$$\tau = \frac{F}{m \cdot n \cdot \frac{d^2\pi}{4}} \le \tau_{\text{meg}}, \qquad p = \frac{F}{n \cdot d \cdot s} \le p_{\text{meg}},$$

ahol F a kötésre ható nyíróerő, m az egy szegecs által átvitt nyírt síkok száma, n a szegecsek száma, d a szegecsszár átmérője, s a leggyengébb lemez vastagsága, τ_{meg} a megengedett nyírófeszültség, p_{meg} a megengedett palástnyomás. Egynyírásnál $m = 1$, kettős nyírásnál $m = 2$.

10.1.5. Csavarmenetek, csavarfajták, szilárdsági osztályok

A gépjárművekben szinte kizárólag **metrikus ISO menetet** használunk. A normál metrikus menet jelölése például `M8`, `M10`, `M12`. A normál menetemelkedés a névleges átmérőtől függ: M8-nál $P = 1{,}25\,\text{mm}$, M10-nél $P = 1{,}5\,\text{mm}$, M12-nél $P = 1{,}75\,\text{mm}$ (ellenőrizendő a menetszabvány aktuális táblázatával). A **finommenet** kisebb emelkedésű, például `M10×1`, és előnye, hogy nagyobb az önzáró képessége és kisebb a bemetsző hatása; rezgéses helyeken, beállítócsavaroknál és vékony falú alkatrészeknél használják. A **trapézmenet**, például `Tr 20×4`, nagyobb profilú, mozgatóorsókhoz való, mert jól viseli az axiális erőt. A **fűrészmenet** egyirányú nagy erőátvitelre való. Régi járműveken Whitworth-menet is előfordul; ezt a metrikussal nem szabad összekeverni.

A leggyakoribb csavarfajták: hatlapfejű csavar, belső kulcsnyílású (imbusz) csavar, Torx csavar, hengeresfejű, süllyesztett fejű csavar és csapszeg. Az anyák lehetnek hatlapú, peremes, önzáró, koronás és zárósapkás anyák. A csavaron és az anyán a szilárdsági osztály jelölése kötelező; a fejen általában beütött számok találhatók.

Osztály	Névleges R_m (MPa)	Névleges $R_{p0,2}$ (MPa)	Tipikus járműves példa
8.8	800	640	kerékcsavar, általános kötések
10.9	1000	900	futómű, lengőkar, hajtómű-kötések
12.9	1200	1080	hengerfejcsavar, nagy igénybevételű csavarok

Az értékek tanulási példák, a pontos adatok az MSZ EN ISO 898-1 szabvány szerint ellenőrizendők.

Előírás. A csavarok szilárdsági osztályának jelölését és követelményeit az MSZ EN ISO 898-1 szabvány tartalmazza (`8.8`, `10.9`, `12.9` stb.); a pontos szabványszám és kiadás ellenőrizendő.

10.1.6. A csavarkötés erőhatásai, előfeszítés és meghúzási nyomaték

A csavarkötés akkor működik jól, ha a csavar rugalmasan megnyúlik, és a benne ébredő húzóerő szorítja össze az alkatrészeket. Ha a külső terhelés kisebb, mint a kötésben ébredő előfeszítő erő, az alkatrészek nem válnak el egymástól, és a csavar terhelése csak kis mértékben nő. Ha az előfeszítés túl kicsi, a kötés „lötyög”, a csavar hajlító, nyíró igénybevételt is kap, és kifáradásos törés következhet be. Ha túl nagy, a csavar megnyúlhat vagy elszakadhat, az anya vagy a menet tönkremehet.

A meghúzási nyomaték és az előfeszítő erő között a gyakorlatban az egyszerű közelítő összefüggést használjuk:

$$M_A = k \cdot F_M \cdot d, \qquad \text{azaz} \qquad F_M = \frac{M_A}{k \cdot d},$$

ahol M_A a meghúzási nyomaték, F_M az előfeszítő erő, d a csavar névleges átmérője, k pedig a súrlódási viszonyokat kifejező tényező. Jellemző értéke tiszta, enyhén olajozott acél menet esetén $k \approx 0{,}2$ (ellenőrizendő a gyártói előírás szerint). Száraz, rozsdamentes vagy erősen kenett

menetnél a k értéke jelentősen eltérhet; ezért ugyanaz a nyomaték nagyon különböző előfeszítést eredményezhet.

A csavarban ébredő húzófeszültséget a feszültségkeresztmetszet A_s segítségével számítjuk:

$$\sigma = \frac{F_M}{A_s}.$$

A feszültségkeresztmetszet nem azonos a magkeresztmetszettel, hanem a menetprofilból számított, szabványosított érték; például M12 csavarra $A_s \approx 84{,}3\,\mathrm{mm}^2$ (ellenőrizendő táblázatból).

A pontosabb összefüggés a menet és a fejfelfekvő felület súrlódását külön kezeli:

$$M_A = F_M \left(\frac{d_2}{2} \tan(\varphi + \rho') + \mu_K \frac{d_m}{2} \right),$$

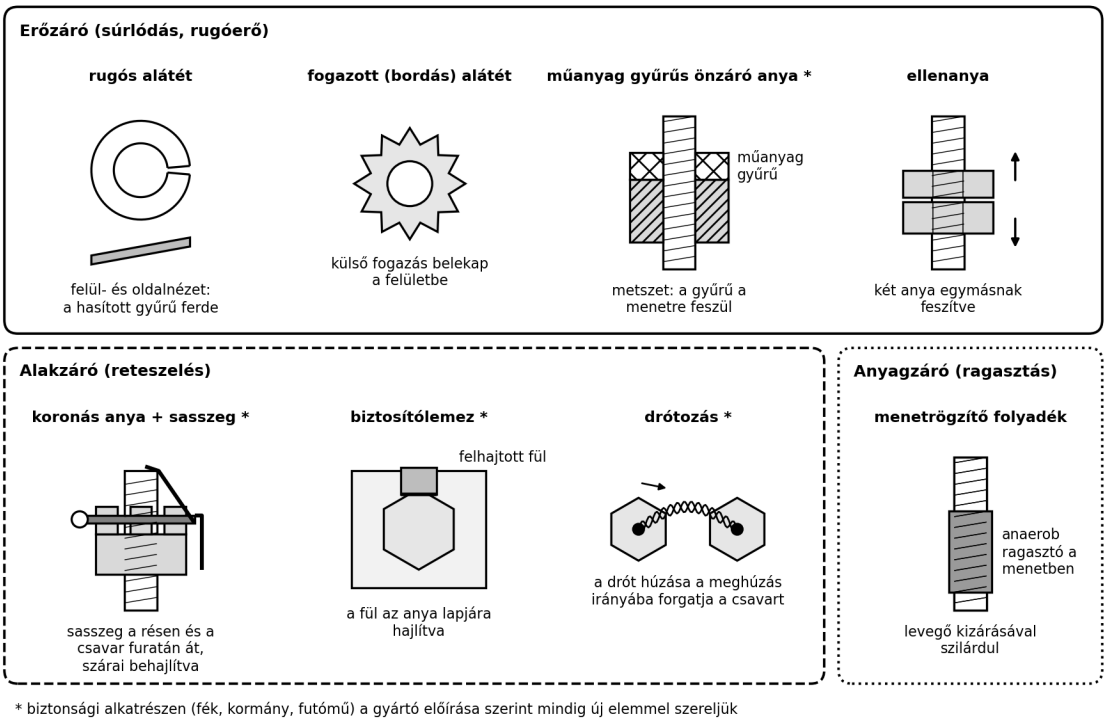
ahol φ a menetemelkedési szög, ρ' a menet súrlódási félkúpszöge, μ_K a fejfelfekvő felület súrlódási tényezője, d_m pedig a felfekvő felület közepes átmérője. Ez a képlet megmutatja, hogy a nyomaték nagy része súrlódásra fordítódik, ezért a kenés megváltozása erősen módosítja az előfeszítést.

Továbbvitt eredmény. A csavarkötés előfeszítésének és meghúzási nyomatékának elvét használjuk a Tengelyek és csapágyazások alfejezetben a csapágyrögzítő anyák, házfedelek és illesztett kötések meghúzásakor, ahol a túlhúzás csapágyfeszülést, az alulhúzás pedig csapágyvándorlást okozhat.

A **nyúlócsavar** (torque-to-yield bolt) olyan csavar, amelyet a gyártó tudatosan a folyáshatár közelébe vagy azon túl húz. A meghúzás nem egyszerű nyomatékértékre történik, hanem jellemzően előfeszítő nyomatékra, majd megadott szögelfordulásra, például $40\,\mathrm{Nm} + 90^\circ + 90^\circ$ (ellenőrizendő a gyártói adat). Az ilyen csavar az alakváltozás miatt nem használható fel újra, mert második meghúzáskor már nem a tervezett rugalmas tartományban dolgozik.

10.1.7. Csavarbiztosítások és mozgatóorsók

A csavarkötés meglazulását vibráció, hőingadozás, ütés és a felfekvő felületek beágyazódása okozza. A biztosítás célja a csavar és anya relatív elfordulásának megakadályozása. A legegyszerűbb megoldás a **rugós alátét**, de hatékonysága kritikus helyeken korlátozott. A **fogazott alátét** jobban beleharap, az **önzáró anya** műanyag gyűrűje pedig a menetre feszülve fékez. A **koronás anya sasszeggel** vagy csapszeggel pozitív reteszelést ad, tehát az anya akkor sem tud lefordulni, ha az előfeszítés csökken. Az **ellenanya** a két anya egymásnak feszítésével biztosít. A **csavarbiztosító folyadék** (anaerob ragasztó) kitölti a menethézagot, és a levegő kizárásával megszilárdul. A biztonsági alkatrészeknél mindig a gyártói előírást kell követni; egyes kötéseket ragasztott csavarral, másokat új önzáró anyával vagy csavarbiztosító folyadékkal szerelünk.



10.2. ábra. Csavarbiztosítások hatásmód szerint: erőzáró, alakzáró és anyagzáró megoldások

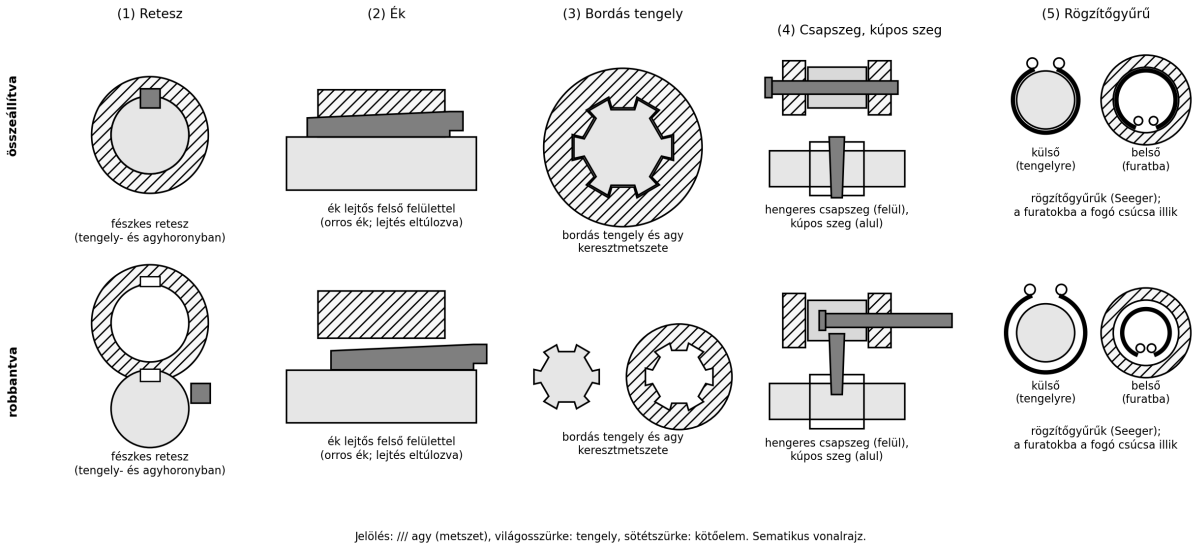
Az ábra a biztosításokat hatásmód szerint csoportosítja: erőzáró a rugós és a fogazott alátét, a műanyag gyűrűs önzáró anya és az ellenanya; alakzáró a koronás anya sasszeggel, a biztosítólemez és a drótozás; anyagzáró a menetrögzítő folyadék. A csillaggal jelölt elemeket biztonsági kötésben a gyártó előírása szerint mindig újra cseréljük.

A **mozgatóorsó** forgató mozgást alakít egyenes vonalú mozgássá, például emelőben, satuban vagy szelephézag-állító szerkezetben. A trapézmenetű orsó előnye, hogy nagy axiális erőt visz át és **önzáró** lehet. Az önzárás feltétele, hogy a menetemelkedési szög kisebb legyen a súrlódási félkúpszögnél: $\varphi < \rho'$. Jellemző kenett acél–bronz anyagpárosításnál a súrlódási félkúpszög néhány fok, a trapézmenet emelkedési szöge pedig szintén kicsi, ezért a teher akkor is megtartja helyzetét, ha a hajtó nyomaték megszűnik.

10.1.8. Csapszegek, szegek, reteszek, ékek, bordás tengelykötés, rögzítőgyűrűk

A **csapszeg** hengeres vagy kúpos, két alkatrész csuklós összekötésére vagy nyíróerő átvitelére szolgál; például fékkötőelem, pedálmechanika tengelye. A **szegek** lehetnek illesztőszegek, csapszegek, hasított szegek (sasszegek); elsősorban pozicionálásra, kismértékű nyomaték átvitelére vagy biztosításra valók.

A **retesz** és az **ék** tengelyagy-kötésekben nyomatékot visz át. A retesz jellemzője, hogy oldható, a tengely és az agy hornyába illeszkedik, és kis csúszást is lehetővé tehet. Az ék kúpos alakja miatt erős szorítókapcsolatot hoz létre, de szerelése és bontása nehezebb lehet. A **bordás tengelykötés** nagyobb nyomatékot visz át, és tengelyirányú elmozdulást is lehetővé tesz; járművekben például a hajtótengelyeknél, sebességváltó-hajtásoknál találkozunk vele. A **rögzítőgyűrűk** (például Seeger-gyűrűk) a csapágyak, tengelyek és csapszegek tengelyirányú helyzetét biztosítják. Szerelésükhöz megfelelő méretű szerelőfogó kell, és mindig ügyelni kell arra, hogy a gyűrű a hornyában teljesen beüljön.



10.3. ábra. Tengely–agy kötések összeállítva és robbantva: retesz, ék, bordás tengely, csapszeg és kúpos szeg, rögzítőgyűrűk

Az ábra felső sora az összeállított, alsó sora a robbantott állapotot mutatja: a retesz a tengely- és az agyhoronyba illeszkedik, az ék lejtős felülete szorít, a bordás tengely bordái az agy hornyaiba kapcsolódnak, a hengeres csapszeg csuklót, a kúpos szeg pozicionálást ad, a külső és belső rögzítőgyűrű a horonyban ül, furataiba a szerelőfogó csúcsa illik.

10.1.9. Kidolgozott példák

1. példa – Előfeszítő erő becslése nyomatékból.
Adott: M12 csavar, $M_A = 80\,\mathrm{Nm}$, $k = 0{,}20$, $d = 12\,\mathrm{mm}$. Keresett: az előfeszítő erő és a csavarban ébredő feszültség, ha $A_s = 84{,}3\,\mathrm{mm}^2$.

$$F_M = \frac{M_A}{k \cdot d} = \frac{80}{0{,}20 \cdot 0{,}012} = \frac{80}{0{,}0024} \approx 33\,333\,\mathrm{N} = 33{,}3\,\mathrm{kN}.$$

$$\sigma = \frac{F_M}{A_s} = \frac{33\,333}{84{,}3} \approx 395\,\mathrm{MPa}.$$

Ellenőrzés: egy 8.8-as csavar névleges folyáshatára $R_{p0,2} = 640\,\mathrm{MPa}$. A kihasználtság $395/640 \approx 62\%$, ami a szokásos 60–75% előfeszítési tartományba esik. A kötés tehát megfelelő, ha a gyártó ezt a nyomatékot írta elő. ∎

2. példa – Szegecsszám meghatározása.
Adott: egy lemezkötésre $F = 20\,\mathrm{kN}$ nyíróerő hat. A szegecs átmérője $d = 8\,\mathrm{mm}$, a lemezvastagság $s = 6\,\mathrm{mm}$. A megengedett nyírófeszültség $\tau_{\mathrm{meg}} = 80\,\mathrm{MPa}$, a megengedett palástnyomás $p_{\mathrm{meg}} = 200\,\mathrm{MPa}$. Egynyírású kötés ($m = 1$). Keresett: a szükséges szegecsszám.

Egy szegecs nyírási teherbírása:

$$F_{\tau,1} = m \cdot \frac{d^2\pi}{4} \cdot \tau_{\mathrm{meg}} = 1 \cdot \frac{8^2\pi}{4} \cdot 80 \approx 4{,}02\,\mathrm{kN}.$$

Egy szegecs palástnyomási teherbírása:

$$F_{p,1} = d \cdot s \cdot p_{\text{meg}} = 8 \cdot 6 \cdot 200 = 9{,}6\,\text{kN}.$$

A mértékadó a kisebbik érték, azaz a nyírás. A szükséges szegecsszám:

$$n = \frac{F}{F_{\tau,1}} = \frac{20}{4{,}02} \approx 4{,}97,$$

tehát $n = 5$ darab szegecs szükséges. Ellenőrzés palástnyomásra: $F/n = 20/5 = 4\,\text{kN} < 9{,}6\,\text{kN}$, tehát megfelel. ∎

10.1.10. Minőségellenőrzés

A csavarkötés ellenőrzése a járművön mindig a gyártói javítási utasítással kezdődik, mert a nyomaték, a sorrend, a kenés és az újrahasználhatóság kötésenként eltérő. Az alábbi ellenőrzőlista segít:

1. Azonosítsa a csavart, anyát, alátétet; ellenőrizze a szilárdsági osztály jelölését.
2. Ellenőrizze a meneteket menetfésűvel, illetve szemrevételezéssel: repedés, nyúlás, korrózió, benyomódás nem megengedett.
3. Tisztítsa meg a meneteket a gyártó által előírt tisztítószerrel; az olajos rongyot veszélyes hulladékként kezelje.
4. Ellenőrizze a nyomatékkulcs kalibráltságát és a beállított értéket.
5. Húzza meg a csavarokat a gyártói sorrendben és fokozatokban; szöghúzásos csavarnál használjon szögmérőt.
6. A meghúzás után vizuálisan ellenőrizze a jelölést, ha a gyártó festékkel vagy matricával jelöli a meghúzást.
7. A műveletet dokumentálja a munkalapon.

10.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy személyautó kormányrázással érkezik a műhelybe, amely 90 km/h felett jelentkezik. A szerelő először a kerékkiegyensúlyozást ellenőrzi, de a gép nem mutat jelentős egyensúlyhibát. Ezután emelőn, a gyártói emelési pontokon megemeli a járművet, és **csak biztonságosan alátámasztott állapotban** vizsgálja a kerekeket. A kerékcsavarokon egyenetlen meghúzás jeleit látja: az egyik csavar nyomatéka jóval a gyártói érték alatt van, két csavar pedig túl van feszítve. A túlfeszített csavarnál a menet enyhén deformálódott.

A szerelő a gyártói előírás szerint új kerékcsavarokat rendel, megtisztítja a kerékagy felfekvő felületét, majd a kereket csillag alakú sorrendben, két fokozatban húzza meg nyomatékkulccsal, a gyártói nyomatékértékre (példaként 120 Nm). Próbaút után a kormányrázás megszűnik. A tanulság: a kerékcsavart nem „érzésre” vagy légkulccsal kell meghúzni, hanem kalibrált nyomatékkulccsal, a gyártói sorrendben.

Biztonsági korlát. A leírt javítás tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott nyomaték tanulási példa, ellenőrizendő a gyártói adat.

10.1.12. Tipikus hibák

1. **A súrlódási viszony figyelmen kívül hagyása.** Ha a menetet erősen megolajozzuk, ugyanaz a nyomaték nagyobb előfeszítést ad, ami csavarszakadáshoz vezethet; ha szárazon hagyjuk, alulhúzott kötés jön létre. A gyártói kenési előírást mindig be kell tartani.
2. **Önzáró anya újrahasználata.** Az önzáró anya műanyag betétje az első használat után károsodik, a következő szerelésnél már nem biztosít megfelelően. Ahol a gyártó új anyát ír elő, ott mindig új anyát kell beépíteni.
3. **Nyúlócsavar többszöri használata.** A szöghúzással folyásig húzott csavar maradó nyúlást szenved, ezért a második használatkor már nem éri el a tervezett előfeszítést, és tömítetlenség vagy törés következhet be.
4. **Nem megfelelő szilárdsági osztályú csavar beépítése.** Például 8.8-as csavar helyett 4.8-as csavar használata gyenge kötést eredményez; 12.9-es helyett 8.8-as használata pedig túlterhelést okozhat.

10.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a `10.9` jelű csavar névleges szakítószilárdsága 1000 MPa?
2. Mi a hiba az alábbi mondatban? „A `8.8` jelű csavar folyáshatára 8,8 MPa.”
3. Egy M10 csavarban $F_M = 20\,\text{kN}$ előfeszítő erő ébred. A feszültségkeresztmetszet $A_s = 58\,\text{mm}^2$. Mekkora a csavarban a feszültség?
4. Hogyan kell helyesen meghúzni egy hengerfejcsavart, ha a gyártó szöghúzást ír elő?
5. Lengőkar anyához miért önzáró anyát vagy koronás anyát használunk, nem pusztán rugós alátétet?
6. Milyen menetprofilt használunk mozgatóorsóhoz?

10.1.14. Feladatok

1. feladat (A)
Sorolja fel az oldható és nem oldható kötések jellemzőit, és mindegyikre adjon két járműves példát.

2. feladat (A)
Egy `10.9` szilárdsági osztályú csavar jelöléséből adja meg a névleges szakítószilárdságot és a névleges egyezményes folyáshatárt.

3. feladat (B)
M12 `10.9` csavart $M_A = 90\,\text{Nm}$ nyomatékkal húzunk meg, $k = 0{,}18$ tényezővel. Becsülje az előfeszítő erőt, és ellenőrizze a feszültséget, ha $A_s = 84{,}3\,\text{mm}^2$. Megfelel-e a kötés?

4. feladat (B)
Egy szegecskötést $F = 18\,\text{kN}$ nyíróerő terhel. A szegecs átmérője $d = 8\,\text{mm}$, a lemezvastagság $s = 6\,\text{mm}$, egynyírású. A megengedett nyírófeszültség $\tau_{\text{meg}} = 90\,\text{MPa}$, a megengedett palástnyomás $p_{\text{meg}} = 220\,\text{MPa}$. Hány szegecs szükséges?

5. feladat (C)
Magyarázza el, miért fordulhat elő, hogy ugyanaz a meghúzási nyomaték különböző előfeszítő erőt hoz létre. Mutassa be a súrlódás, a kenés és a felületi állapot szerepét, és adja meg, miért fontos a gyártói kenési előírás betartása.

6. feladat (D)
Egy futóműjavítás után a lengőkar csavarja meglazul. Soroljon fel legalább négy lehetséges okot, és mindegyikhez rendeljen hozzá egy egyszerű ellenőrzési vagy javítási lépést.

10.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A `10.9` jelölésben a 10 a 1000 MPa szakítószilárdságot, a 9 a $0{,}9 \cdot 1000 = 900$ MPa folyáshatárt jelenti.
2. A hiba, hogy a `8.8` jelölés nem 8,8 MPa, hanem 800 MPa szakítószilárdság és 640 MPa folyáshatár.
3. $\sigma = F_M / A_s = 20\,000\,\text{N} / 58\,\text{mm}^2 \approx 345\,\text{MPa}$.
4. Helyes eljárás: a gyártó által megadott sorrendben, előfeszítő nyomatékra húzni, majd a megadott szögelfordulást szögmérővel végrehajtani; a csavarokat nem szabad egyetlen lépésben légkulccsal túlhúzni.
5. A lengőkar anya dinamikus, rezgéses terhelésnek van kitéve. Az önzáró anya betétje súrlódással fékezi az elfordulást, a koronás anya sasszeggel alakzáró (pozitív) reteszelést ad; a rugós alátét önmagában egyik hatást sem biztosítja megbízhatóan. Hogy melyiket kell használni, a gyártói előírás dönti el.
6. Trapézmenetet.

1. feladat (A)
Oldható kötés: a szétválasztás károsodás nélkül lehetséges. Példa: kerékcsavar, lengőkar csavarja. Nem oldható kötés: a szétválasztás legalább az egyik elem károsodásával jár. Példa: karosszéria szegecskötése, hegesztett alvázelem.

2. feladat (A)
`10.9`: $R_m = 10 \cdot 100 = 1000\,\text{MPa}$, $R_{p0,2} = 0{,}9 \cdot 1000 = 900\,\text{MPa}$.

3. feladat (B)
$d = 12\,\text{mm} = 0{,}012\,\text{m}$, $M_A = 90\,\text{Nm}$, $k = 0{,}18$.

$$F_M = \frac{90}{0{,}18 \cdot 0{,}012} = \frac{90}{0{,}00216} \approx 41{,}7\,\text{kN}.$$

$$\sigma = \frac{41\,667}{84{,}3} \approx 494\,\text{MPa}.$$

A `10.9` csavar folyáshatára 900 MPa, így a kihasználtság $494/900 \approx 55\%$. A kötés megfelel, de ha a k tényező például 0,12-re csökkenne, az előfeszítés és a feszültség is nőne; ezért a kenési állapotot ellenőrizni kell.

4. feladat (B)
Egy szegecs nyírási teherbírása:

$$F_{\tau,1} = \frac{8^2 \pi}{4} \cdot 90 \approx 4{,}52\,\text{kN}.$$

Palástnyomás:

$$F_{p,1} = 8 \cdot 6 \cdot 220 = 10{,}56\,\text{kN}.$$

A mértékadó a nyírás, ezért:

$$n = \frac{18}{4{,}52} \approx 3{,}98,$$

tehát $n = 4$ db szegecs szükséges. A palástnyomás ellenőrzése: $18/4 = 4{,}5\,\text{kN} < 10{,}56\,\text{kN}$, tehát megfelel.

5. feladat (C)
A meghúzási nyomaték nagy része a menet és a fejfelfekvő felület súrlódásának leküzdésére fordítódik. Ha a menet tiszta és enyhén olajozott, a súrlódási tényező kicsi, ezért adott nyomaték nagyobb előfeszítést hoz létre. Ha a menet száraz, rozsdás vagy szennyezett, a súrlódás nő, és ugyanaz a nyomaték kisebb előfeszítést eredményez. Szélsőséges esetben a különbség akár 30–50% is lehet. Ezért a gyártó megadja, hogy a menetet tisztán, olajozottan vagy éppen szárazon kell összeszerelni.

6. feladat (D)
Lehetséges okok:
- Alulhúzott csavar: ellenőrizze nyomatékkulccsal, és húzza meg a gyártói nyomatékra.
- Nem az előírt biztosítóelem van beépítve: a gyártó által előírt új önzáró anyát vagy csavart építse be; menetrögzítőt csak gyártói előírás esetén használjon.
- A gumifémperselyes kötést nem a gyártó által előírt (terhelt) helyzetben húzták meg: a jármű terhelt állapotában vagy a gyártói méretre emelt kerékkel húzza meg újra, új csavarral (ellenőrizendő: gyártói előírás).
- A csavar szilárdsági osztálya nem megfelelő: ellenőrizze a jelölést, és építsen be előírt osztályú csavart.
- A csavar megnyúlt vagy a menet sérült: cserélje új csavarra, és ellenőrizze az anyamenetet.
- A felfekvő felület szennyezett vagy sorjás: tisztítsa meg, és a gyártói sorrendben húzza meg.
- A nyomatékkulcs kalibrálatlan: ellenőriztesse és állítsa be a megfelelő értéket.

10.1.16. Rövid összefoglaló

A kötőgépelemek közül a csavarkötés a legfontosabb a járműjavításban. A metrikus ISO normálmenet, a finommenet és a trapézmenet különböző feladatokra való. A csavar szilárdsági osztálya, például `8.8` vagy `10.9`, megadja a névleges szakítószilárdságot és folyáshatárt. A csavarkötés az előfeszítő erő révén szorítja össze az alkatrészeket; a meghúzási nyomaték és az előfeszítő erő között az $M_A = k \cdot F_M \cdot d$ közelítő képlet teremt kapcsolatot, ahol k a súrlódási viszonyoktól függ. A meghúzást mindig a gyártói nyomaték, sorrend és kenési állapot szerint kell végezni. A nyúlócsavarokat egyszer használjuk. A csavarbiztosítások (önzáró anya, koronás anya, csavarbiztosító folyadék) a vibráció és hőingadozás okozta lazulást akadályozzák meg. A szegecskötés méretezése nyírásra és palástnyomásra történik. A csapszegek, reteszek, ékek, bordás kötések és rögzítőgyűrűk a tengelyek és csapágyak helyzetét, illetve nyomatékátvitelét biztosítják. **Továbbvitt eredmény:** a csavarkötés előfeszítési és meghúzási elvét a Tengelyek és csapágyazások alfejezetben a csapágyrögzítéseknél használjuk fel.

10.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: MSZ EN ISO 898-1 (csavarok szilárdsági osztályai), MSZ EN ISO 6410 (menetek ábrázolása – a Jelképes ábrázolások: menetek, fogazatok, csapágyak, rugók, kötések alfejezetből hivatkozva), gyártói javítási utasítások, szilárdságtani és gépelem-tankönyvek.

Ellenőrizendő állítások: a szabványszámok pontos kiadása; a menetemelkedések (M8, M10, M12) és a feszültségkeresztmetszetek ($A_s = 84{,}3\,\mathrm{mm}^2$ M12-re); a k tényező értékei különböző kenési állapotokra; a szilárdsági osztályok táblázatának névleges adatai; a gépjárművekben használt tipikus nyomatékértékek (kerékcsavar, hengerfejcsavar) gyártói adatai.

10.2. Tengelyek és csapágyazások

10.2.1. Motiváció

A műhelyben két, látszólag nagyon különböző panasz is ide vezet. Az egyik: országúton egyre hangosabb, sebességfüggő búgás jön az első kerék felől, és jobbra kanyarodva erősödik – a kerékcsapágy gyanús. A másik: hidegindítás után rövid, tompa kopogás hallatszik a motor mélyéből, ami melegedés után halkul – ez pedig a főtengelycsapágy túlzott hézagára utalhat. Mindkét hiba ugyanazt a gépelem-családot érinti: a tengelyt és a csapágyazását. Ha nem érted, miért más típusú csapágy kell a kerékagyba, mint a főtengelybe, akkor a javítás is csak találgatás lesz.

10.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy vízszintes tengelyt, amelyet két megtámasztás tart. Ha a tengely közepére nyomsz, a tengely meghajlik, mint egy két kézzel tartott gumirúd. Ha a tengely egyik végét el is akarod fordítani, akkor a tengely csavarodik is. A csapágyak a megtámasztásnál ülnek, és átadják a terhet a házra, miközben a tengelyt forgásban tartják. A főtengelynél a hajtórúd lökésszerű nyomása hajlítja a forgattyús csapokat, a motor nyomatéka pedig csavarja a tengelyt; a csapágyaknak ebben a zsúfolt, olajos térben kell dolgozniuk. A kerékagynál viszont a csapágyat az autó tömege és a kanyarban fellépő oldalerő egyszerre terheli, ráadásul zsírkenésű, egységszerű szerelésre van szüksége.

10.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **tengely** (shaft) olyan forgó vagy álló gépalkatrész, amely forgó elemeket (fogaskerekeket, szíjtárcsákat, csapágyakat) hordoz, és forgó mozgást, nyomatékot visz át. A **csapágy** (bearing) a tengely megtámasztását adó gépelem: átadja a terhet a házra vagy tartószerkezetre, miközben meghatározott relatív mozgást enged meg.

A tengely fő igénybevételei:

- Hajlítás: $\sigma_\mathrm{h} = M_\mathrm{h}/K_\mathrm{h}$, tömör körkeresztmetszetre $K_\mathrm{h} \approx 0{,}1d^3$.
- Csavarás: $\tau_\mathrm{cs} = M_\mathrm{cs}/K_\mathrm{p}$, tömör körkeresztmetszetre $K_\mathrm{p} \approx 0{,}2d^3$.
- Nyíró és normál erő is felléphet, de tengelynél gyakran a hajlítás és csavarás a mértékadó.
- Kombinált hajlítás és csavarás esetén a redukált feszültség:

$$\sigma_\mathrm{red} = \sqrt{\sigma_\mathrm{h}^2 + 3\tau_\mathrm{cs}^2}.$$

Szabály. A tengely megfelelőségéhez $\sigma_\mathrm{red} \le \sigma_\mathrm{meg}$ kell, ahol σ_meg a választott anyagra és biztonsági tényezőre megengedett feszültség. A biztonsági tényező járműalkatrésznél a terhelés bizonytalanságát, a dinamikus hatásokat és a gyártási egyenetlenséget fedezi.

Definíció. Az **egyenszilárdságú** kialakítás azt jelenti, hogy a tengely keresztmetszete úgy követi a nyomatéki ábrát, hogy a feszültség a hossz mentén közel azonos legyen. Ezzel anyag és tömeg takarítható meg, de a megmunkálás drágább; járműveknél gyakran a lépcsős, de nem teljesen egyenszilárdságú változat az elfogadható kompromisszum.

Összefüggés. A csapágyazott tengely hajlító sajátlengése fontos, mert a forgó tömeg kiegyensúlyozatlansága a sajátfrekvencia közelében rezonanciát gerjeszt. Kéttámaszú, középen tömeggel helyettesített tengelyre a hajlító rugóállandó:

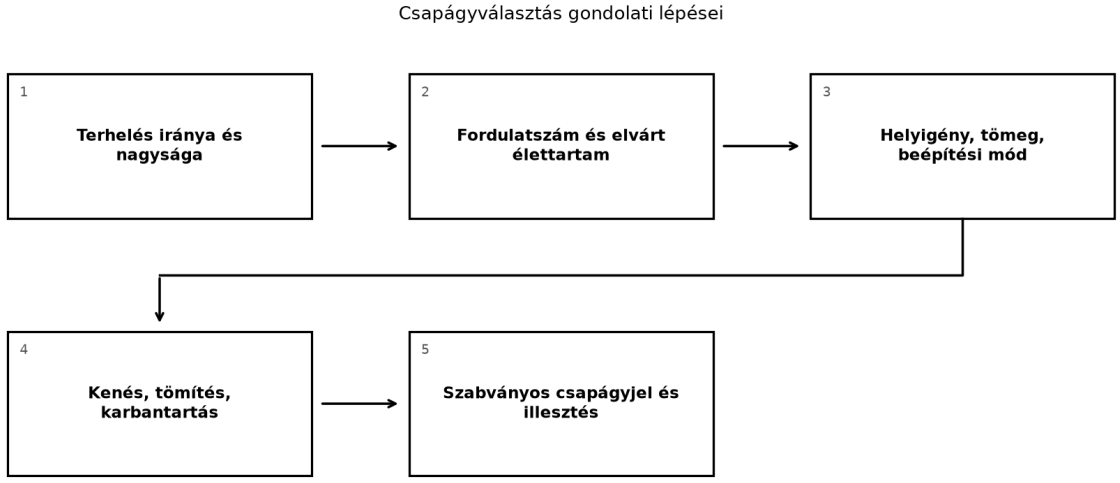
$$k = \frac{48EI}{L^3}, \quad I = \frac{\pi d^4}{64},$$

a kritikus szögsebesség $\omega_{\mathrm{kr}} = \sqrt{k/m}$, a kritikus fordulatszám pedig

$$n_{\mathrm{kr}} = \frac{60}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Az üzemi fordulatszámnak a kritikus fordulatszámtól megfelelően távol kell lennie, mert a rezonancia gyors kifáradást és törést okoz.

A `diagram` blokk a csapágytípus kiválasztásának gondolati lépéseit foglalja össze.



10.4. ábra. Csapágyválasztás gondolati lépései - Szemléltető mérnöki sorrend; a járműjavításban mindig a gyártói azonosító és javítási utasítás a mérvadó.

Az ábra lépései: először a terhelés irányát és nagyságát kell meghatározni. Radiális, axiális vagy kombinált terhelésről van szó, és mekkora erő hat a csapágyra. Ezután a fordulatszám és az elvárt élettartam következik, mert nagy fordulatnál a gördülőcsapágy, lassú lengőmozgásnál a szilent vagy siklócsapágy előnyös lehet. A helyigény, tömeg és szerelhetőség gyakran dönt a kiviteli változatok között. A kenés és tömítés határozza meg, meddig marad használható a csapágy. Végül a gyártói rajz vagy adatbázis szerinti csapágyazonosító és illesztés biztosítja, hogy a választott csapágy a konkrét járműbe pontosan illeszkedjen.

10.2.4. Tengelyek felépítése és igénybevétele

A tengely nem egyszerű henger: lépcsőzött átmérőit a rá szerelt fogaskerekek, csapágyak, tömítőgyűrűk és biztosítóelemek igényéhez alakítják. A vállak a csapágy vagy fogaskerék pontos tengelyirányú helyzetét adják, a reteszhorony és a bordás tengely a nyomaték átadását szolgálja. A tengelyen éles sarok, beszúrás vagy menetgyök **feszültséggyűjtő hely**: a kifáradás rendszerint innen indul. Ezért a vállakat lekerekítik, a fontos átmeneteket köszörülik; ha tömítőgyűrű dolgozik rajta, a felületi érdesség is előírt.

A hajtott tengely nyomatéka a teljesítményből:

$$M_{\mathrm{cs}} = \frac{P}{\omega}, \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

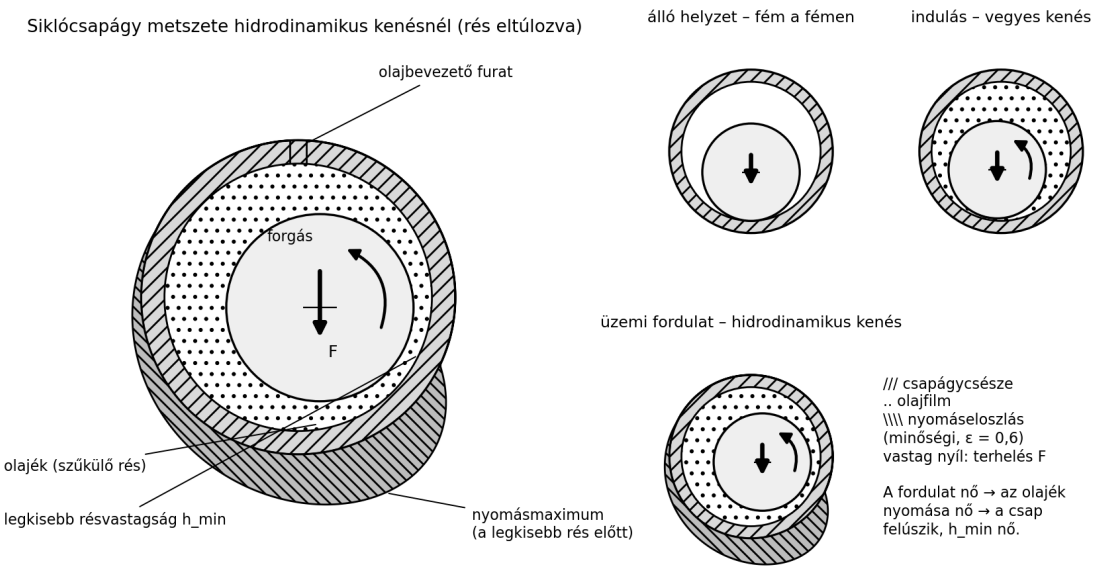
Ahol a tengely hajlított is, ott a két igénybevételt redukált feszültséggel egyesítjük. A kifáradási biztonságot az anyagválasztáson, a felületi keménységen és a geometriai átmenetek mellett a csapágyak közelsége is befolyásolja: merev, jól beállított csapágy kisebb hajlítónyomatékot enged a csapra.

10.2.5. Siklócsapágyak és a hidrodinamikus kenés

A **siklócsapágy** két, egymáson elcsúszó felületből áll: a tengelycsapból és a csapágycsészéből vagy -perselyből. A főcsapágy két fél csészéje a hengertömbben és a csapágyfedélben, a hajtórúdcsapágyé a hajtórúd nagy szemében ül, és a csap kenőolajhoz jut. Indulás előtt a csap a csapágyon fekszik; ha a motor forog, az olajat a csap forgása a szűkülő résbe húzza.

Definíció. A **hidrodinamikus kenés** olyan folyadékkenési állapot, amelyben a forgó csap és a csapágy között összefüggő, nyomás alatt álló olajfilm alakul ki, és ez a film teljesen elválasztja a fémfelületeket. A teherhordást nem az olaj nyomás alatti betáplálása, hanem a forgás keltette ékszerű nyomáseloszlás hozza létre.

A csap a forgás során az olajat a szűkülő résbe „húzza”, az olaj nyomása a rés szűkületénél megnő, és a csapot felemeli a csapágyról. Így a fémrészek nem érnek össze, a kopás elhanyagolható. A hidrodinamikus kenés csak megfelelő fordulatszám, hézag, olajviszkozitás és terhelés mellett áll fenn. Induláskor és leálláskor határkenés vagy vegyes kenés van, amikor a felületek közvetlenül érintkezhetnek; ezért a főtengelycsapágy anyagának puha, jó beágyazódó csapágyfémnek kell lennie, hogy a szennyeződés vagy a rövid érintkezés ne karcolja meg a kemény tengelycsapot.



10.5. ábra. Siklócsapágy hidrodinamikus kenése: excentrikus csap, olajék, nyomáseloszlás és a három kenési állapot

Az ábrán (a rés erősen eltúlozva) a forgó csap a forgás irányában kitérve úszik az olajfilmen; a szűkülő résben (olajék) a nyomás a legkisebb résvastagság ($h_{\min}$) előtt a legnagyobb, és ez tartja a terhelést. A jobb oldali kis képek a három állapotot mutatják: álló helyzetben a csap a csészén fekszik, induláskor vegyes kenés van, üzemi fordulaton kialakul a hidrodinamikus kenés. A HTML-változatban a fordulatszám és az olaj hőmérséklete állítható; a szemléltetés minőségi.

A főtengelycsapágy anyaga leggyakrabban kemény acélhátra felvitt ólom- vagy óntartalmú fehérfém, bronz vagy alumínium alapú réteg. A fehérfém lágy, bejáratódik, a bekerülő apró szennyeződést beágyazza, és vészkenésként is szolgál. A főtengely- és hajtórúdcsapágy olajhézaga jellemzően néhány század milliméter (például 0,02–0,07 mm); a pontos érték gyártói adat (ellenőrizendő: a motor gyártói javítási adata). A túl nagy hézag csökkenő olajnyomást, kopogást és olajfilm-szakadást, a túl kicsi hézag beszorulást és helyi túlmelegedést okoz.

10.2.6. Gördülőcsapágyak

A **gördülőcsapágy** gördülőelemeket – golyókat, görgőket, kúpgörgőket vagy tűket – helyez a belső és külső gyűrű futópályái közé. A gördülőelemek a csúszást nagyrészt gördüléssel helyettesítik, ezért a súrlódás kisebb, a kenés és a tömítés egyszerűbb, az indítási nyomaték pedig alacsony. A gördülőcsapágy általában kevésbé tolerálja a lökéseket, mint a hidrodinamikus siklócsapágy, és a beépítés helye jellemzően merevebb kialakítást igényel.

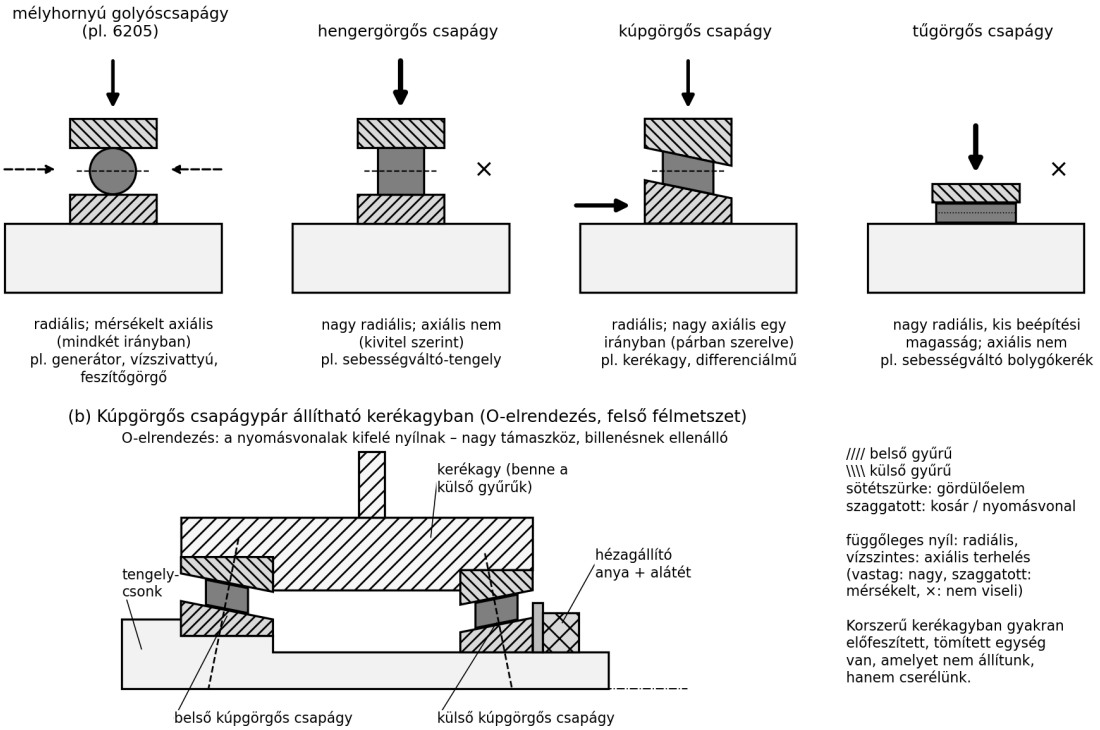
A gördülőcsapágyak fő típusai a terhelés iránya szerint:

Táblázat. Csapágytípusok és jellemző járműpéldáik

Csapágytípus	Terhelés iránya	Főbb tulajdonság	Járműpélda	Kenés
Siklócsapágy	radiális, egyes kiviteleknél axiális	olajfilmen dolgozik, csillapítja a lökést	főtengely-, hajtórúdcsapágy	motorolaj
Mélyhornyú golyós	radiális és mérsékelt axiális	nagy fordulatra, egyszerű szerelés	generátor, vízszivattyú, feszítőgörgő	zsír vagy olaj
Hengergörgős	nagy radiális	merev, nagy teherbírás	sebességváltó-tengely, kerékagy egyes kivitelek	olaj vagy zsír
Kúpgörgős	kombinált radiális és axiális	bontható, hézag állítható	kerékagy, differenciálmű	zsír vagy olaj
Tűgörgős	nagy radiális, kis beépítési magasság	kis külső átmérő	sebességváltó bolygókerék, kétütemű motor hajtórúdjának kis szeme	olaj vagy zsír
Elasztomer (szilent)	radiális, torziós	rugalmas, zajt csillapít, kenést nem igényel	lengőkar bekötése, stabilizátor	nincs

Az adatok rendszerezési példák; a konkrét járműhöz a gyártói csapágyazonosító és javítási adat mérvadó (ellenőrizendő).

A **kúpgörgős csapágy** járműipari jelentősége kiemelkedő: a kúpos futópályák miatt a radiális és az axiális terhelést egyszerre képes felvenni, és a sorozat jellemzően bontható, így a hézag a szereléskor beállítható. A kerékagyban gyakran két, egymással szemben szerelt kúpgörgős csapágy dolgozik; a beállításukkal a kerékcsapágy-játék méretét és a futási tulajdonságokat szabályozzák. A modern kerékagyakban sokszor **két sorban szerelt, tömített, előfeszített csapágyegység** található, amelyet a gyártó szerint nem utánállítani, hanem cserélni kell.



10.6. ábra. Gördülőcsapágy-típusok félmetszete terhelhetőségi nyilakkal és kúpgörgős csapágypár állítható kerékagyban

Az ábra felső sora a négy gördülőcsapágy-típus félmetszetét mutatja: a függőleges nyíl a radiális, a vízszintes az axiális terhelhetőség (vastag: nagy, szaggatott: mérsékelt, ×: nem viseli). Alul két kúpgörgős csapágy dolgozik O-elrendezésben a kerékagyban: a külső gyűrűk az agyban, a kúpok a tengelycsonkon ülnek, a játékot a hézagállító anya állítja.

A gördülőcsapágyak jelölése általában szabványos alapszámból és kiegészítő jelekből áll. Például a 6205 alapszám mélyhornyú golyóscsapágyat jelöl, ahol a számsor a méretsorozatot és a furatátmérőt kódolja (itt $5 \times 5 = 25\,\text{mm}$ furat, ellenőrizendő a szabványos jelölési táblázat szerint: ISO 15/DIN 623 alapján). A kiegészítő jelek a tömítést, a kenőanyagot, a játékot vagy a pontosságot adják meg; a járműjavításban mindig a beépített csapágy teljes jelölését kell rögzíteni, nem csak az alapszámot.

10.2.7. Csapágyak illesztése, beépítése és tömítése

A gördülőcsapágy belső gyűrűjét a tengelyhez, külső gyűrűjét a házba illesztik. A forgó gyűrűnek jellemzően szilárd illesztést adnak, hogy ne csússzon meg a társfelületen; az álló gyűrűt lazább illesztéssel szerelik, hogy a hőtágulást és a szerelést kövessék. A pontos tűrés a terhelés, a hőmérséklet és a működési mód függvénye; gyártói rajz nélkül nem hagyható el az ellenőrzés.

Beépítési szabály. A csapágyat erővel csak a szilárdan illesztett gyűrűjén át szabad felpréselni. Például ha a belső gyűrű szilárd a tengelyen, a nyomóerő a belső gyűrűre hasson, soha ne a külső gyűrűn vagy a gördülőelemeken át. A csapágyat melegíthetjük is, ha a tűrés azt indokolja; a hőmérséklet gyártói előírás szerinti (nyitott csapágynál jellemzően legfeljebb kb. 110–120 °C, zárt, zsírzott csapágynál kb. 80 °C – ellenőrizendő: a csapágygyártó adata; lásd a Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések alfejezetet). Ütőszerszámos, közvetlen kalapácsos beütés **tilos**, mert a futópályán pontszerű károsodás keletkezhet.

A tömítés célja a kenőanyag benntartása és a szennyeződés távoltartása. Járműcsapágyaknál gyakori az ajakos szimering, a labirint vagy a kombinált tömítés. A tömítést a megadott irányba, megfelelő mélységbe, sérülésmentesen kell beépíteni; a szereléshez használt tüskék, paszták és zsírok a gyártói javítási utasítás szerintiek.

10.2.8. Kidolgozott példa: hajtott tengely átmérője

Számítás. Adott: a tengely $P = 15\,\mathrm{kW}$ teljesítményt visz át $n = 2500\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon. A hajlítónyomaték $M_\mathrm{h} = 80\,\mathrm{Nm}$. A megengedett feszültség $\sigma_\mathrm{meg} = 60\,\mathrm{MPa}$. Keresett a szükséges átmérő tömör körre, hajlítás és csavarás együttes hatására.

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 2500}{60} \approx 261{,}8\,\mathrm{rad/s}.$$

A csavarónyomaték:

$$M_\mathrm{cs} = \frac{P}{\omega} = \frac{15\,000}{261{,}8} \approx 57{,}3\,\mathrm{Nm}.$$

A $K_\mathrm{h} \approx 0{,}1d^3$ és $K_\mathrm{p} \approx 0{,}2d^3$ közelítésekkel:

$$\sigma_\mathrm{h} = \frac{M_\mathrm{h}}{0{,}1d^3} = \frac{10M_\mathrm{h}}{d^3}, \quad \tau_\mathrm{cs} = \frac{M_\mathrm{cs}}{0{,}2d^3} = \frac{5M_\mathrm{cs}}{d^3}.$$

A redukált feszültség:

$$\sigma_\mathrm{red} = \frac{1}{d^3}\sqrt{100M_\mathrm{h}^2 + 75M_\mathrm{cs}^2}.$$

A $d \geq \left(\frac{\sqrt{100M_\mathrm{h}^2+75M_\mathrm{cs}^2}}{\sigma_\mathrm{meg}}\right)^{1/3}$ képlettel:

$$100M_\mathrm{h}^2 = 100 \cdot 80^2 = 640\,000, \quad 75M_\mathrm{cs}^2 \approx 75 \cdot 57{,}3^2 \approx 246\,000.$$

$$\sqrt{640\,000 + 246\,000} = \sqrt{886\,000} \approx 941\,\mathrm{Nm}.$$

$$d^3 = \frac{941}{60 \cdot 10^6} \approx 1{,}57 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{m}^3,$$

$$d \approx 0{,}025\,\mathrm{m} = 25\,\mathrm{mm}.$$

A méretezett tengely átmérője legalább 25 mm. A gyakorlatban ezt a váll, reteszhorony és csapágyillesztés miatt tovább növeljük, és a gyártó a kiválasztott csapágyfurathoz igazítja. ∎

10.2.9. Kidolgozott példa: kritikus fordulatszám ellenőrzése

Számítás. Adott egy $d = 0{,}03\,\mathrm{m}$ átmérőjű, $L = 0{,}5\,\mathrm{m}$ hosszú acél tengely, $E = 210\,\mathrm{GPa}$. Közepére redukált forgó tömeg $m = 2\,\mathrm{kg}$. Keresett a hajlító kritikus fordulatszám közelítő értéke.

A másodrendű nyomaték:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0{,}03^4}{64} \approx 3{,}98 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{m}^4.$$

A hajlító rugóállandó:

$$k = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3{,}98 \cdot 10^{-8}}{0{,}5^3} \approx 3{,}21 \cdot 10^6\,\mathrm{N/m}.$$

A kritikus szögsebesség:

$$\omega_{\mathrm{kr}} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3{,}21 \cdot 10^6}{2}} \approx 1267\,\mathrm{rad/s}.$$

A kritikus fordulatszám:

$$n_{\mathrm{kr}} = \frac{60}{2\pi}\omega_{\mathrm{kr}} \approx 9{,}55 \cdot 1267 \approx 12\,100\,\mathrm{1/min}.$$

Ha az üzemi fordulatszám ennek közelébe esne, az kiegyensúlyozatlanság miatt veszélyes hajlító lengést okozna. Ezért a járműhajtásoknál a tengelyt úgy méretezik, hogy a kritikus fordulatszám az üzemi tartomány fölött legyen, vagy a csapágyak és a tömegelosztás úgy hangolják, hogy a rezonanciát gyorsan áthaladva elkerüljék. ∎

10.2.10. Minőségellenőrzés

Csapágyas alkatrész bontásakor a következőket kell ellenőrizni. A felsorolás ellenőrzőlista, a pontos értékeket minden esetben a gyártói javítási adathoz kell viszonyítani (ellenőrizendő).

1. **Terhelés iránya.** A hibás csapágyról állapítsd meg, radiális, axiális vagy kombinált terhelésnek volt-e kitéve; ez segít az ismétlődő hiba okának feltárásában.
2. **Futópálya és gördülőelem.** Keress pittinget, berágódást, elszíneződést, anyagkiválást. A fényes, sima futópálya normális; a kék folt túlmelegedésre, a pitting anyagfáradásra utal.
3. **Hézag és illesztés.** Mérd meg tolómérővel vagy mikrométerrel a csapágyüléket és a tengelycsapot; gyűrű bemart, sérült vagy laza felfekvése esetén a csapágy nem fog megfelelően rögzülni.
4. **Tömítés.** A szimering futófelülete ne legyen kopott, beégzett; a csapágyzsír ne legyen szennyezett, vízzel elegyedett.
5. **Kenés.** Siklócsapágy olajellátása, az olajfurat és az olajnyomás legyen a gyártói tartományban; gördülőcsapágy utánkenéses vagy tömített kivitele szerint járj el.
6. **Beépítés után.** Forgókerekes próbán a csapágy hangja, hőmérséklete és játéka alapján ellenőrizz; hibás szerelésnél jellemzően azonnali vagy rövid távú zaj jelentkezik.

10.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy autó hátuljából sebességfüggő búgás hallatszik, amely autópályán jobbra kanyarodva felerősödik. A műhelyben a járművet felemelik, a gyártói emelési pontokon bakra támasztják, és a hátsó kereket kézzel forgatják. A kerékagy felől érdes, morajló hang hallatszik; a kerékcsapágy belső és külső játéka a vizsgáló készülék vagy a gyártói módszer szerint megemelkedett. A házba szerelt, tömített kerékcsapágy-egység javításakor a csapágyat a gyártó által előírt szerszámmal préselik ki, előtte a kerékfordulatszám-érzékelőt, ABS-jeladógyűrűt vagy féktárcsát az utasítás szerint eltávolítják. A csapágyüléket megtisztítják, és ellenőrzik, hogy a furat nem tágult-e, nem korrodált-e. A beépítéskor tilos a gördülőelemeken keresztül terhelni; a tüske a szilárdan illesztett gyűrűre feküdjön fel. A központi anyát a gyártói meghúzási nyomatékkal, gyakran új anyával húzzák meg (ellenőrizendő: gyártói adat), mert az önzáró anya vagy a nyomatékhatároló kialakítás nem újrafelhasználható.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Csapágyprésnél a munkadarabot és a tüskét biztonságosan kell tartani, a sérült csapágy éles, törött részei vágási sérülést okozhatnak, ezért védőkesztyű és védőszemüveg szükséges.

Környezetvédelem. A bontáskor kikerülő kenőzsír, olaj és mosófolyadék veszélyes anyag. Felfogni, a gyűjtőedényt feliratozni, és a műhely hulladékkezelési előírása szerint leadni; a csapágyat fémhulladékként, szükség szerint elkülönítve kell gyűjteni.

A csere után a járművel próbaút történik: a búgás megszűnt, a kerék nem melegszik szokatlanul, a fékezés egyenletes marad. Tanulság: a kerékcsapágy hibáját nemcsak a zaj alapján kell feltételezni, hanem a pontos játék- és futásvizsgálattal is igazolni, mert hasonló búgást a szabálytalanul kopott gumiabroncs is okozhat.

10.2.12. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő a csapágyat kalapáccsal és lapos ütőszerszámmal veri be, miközben az erő a gördülőelemeken át adódik. A futópályán pontszerű lenyomatok keletkeznek, a csapágy néhány száz kilométer után zúg. **Helyes gyakorlat:** a megfelelő gyűrűre feküdjön fel a tüske vagy a présszerszám; melegítésnél a gyártói hőmérsékletet ne lépd túl.

Hiba. A kúpgörgős kerékcsapágy utánállításakor a csapágyanyát „biztos, ami biztos” alapon túlhúzzák. A csapágy melegszik, a kenőzsír elfolyósodik, és a futópálya berágódik. **Helyes gyakorlat:** a gyártói hézag/előfeszítés szerinti beállítás, meghúzási nyomatékkal vagy pontos szöghelyzettel; a beállítás után ellenőrző forgatás.

Hiba. A főtengelycsapágy cseréjekor a csapágycsészét rosszul jelölt helyzetből szerelik vissza, vagy a kenőfurat nem fed pontosan. Az olajellátás megszűnik, a csapágy azonnal tönkremegy. **Helyes gyakorlat:** a csészék jelölését, az olajfurat egyezését és a hézagot összeszerelés előtt ellenőrizni kell; a csapágyhézagot gyártói előírással, például plasztikus mérőszál vagy mérés szerint kell ellenőrizni (ellenőrizendő: gyártói eljárás).

Hiba. A szilentek csavarjait felemelt járművön, lelógó (kirugózott) kerekekkel húzzák meg. Leengedés után a gumibetét elcsavart, előfeszített helyzetbe kerül, ezért idő előtt szakad. **Helyes gyakorlat:** a torziósan elmozduló gumicsapágy csavarjait a gyártói terhelési helyzetben kell meghúzni (a jármű kerekein állva vagy a kerékagyat emelővel a gyártói méretre emelve; ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

10.2.13. Önellenőrzés

1. Miért nem elegendő a sima hengeres tengely a legtöbb járműhajtásban?
2. Hidrodinamikusan kenődő csapágynál mikor van fém a fémen?
3. Milyen terhelési irányra választasz kúpgörgős csapágyat, és miért?
4. Mi a hiba ebben a leírásban? „A csapágyat a külső gyűrűn keresztül nyomjuk fel, mert így a belső gyűrű nem sérül.”
5. Miért alakítanak ki mélyen lekerekített vállakat a tengelyeken?

10.2.14. Feladatok

1. feladat (A)
Mondd el, mi a lényeges különbség a siklócsapágy és a gördülőcsapágy működési elve között!

2. feladat (A)
Egy tengely pusztán csavaró igénybevételnek van kitéve: $M_{\mathrm{cs}} = 40\,\mathrm{Nm}$, átmérője $d = 20\,\mathrm{mm}$. Határozd meg a csavarófeszültséget!

3. feladat (B)
Egy hajtott tengely hajlítónyomatéka $M_{\mathrm{h}} = 120\,\mathrm{Nm}$, csavarónyomatéka $M_{\mathrm{cs}} = 90\,\mathrm{Nm}$. A megengedett redukált feszültség $\sigma_{\mathrm{meg}} = 55\,\mathrm{MPa}$. Mekkora tömör tengelyátmérő szükséges?

4. feladat (B)
Rendezd a műhelyben előforduló csapágyakat: főtengelycsapágy, kerékagy, generátor, lengőkar-szilent. Melyikhez melyik csapágyfajtát rendelnéd, és mi az oka?

5. feladat (C)
Egy kéttámaszú tengely $d = 25\,\mathrm{mm}$, hossza $L = 0{,}6\,\mathrm{m}$, anyaga acél, $E = 210\,\mathrm{GPa}$. A középen elhelyezett forgó tömeg $m = 4\,\mathrm{kg}$. Számold ki a közelítő kritikus fordulatszámot, és értékeld, hogy az $5000\,1/\mathrm{min}$ üzemi fordulatszám biztonságos-e!

6. feladat (D)
Ügyfél panasza: a jobb első kerék felől zúgás hallatszik, amely kanyarban változik. A felemelt kocsin a kereket megforgatva enyhe surrogást hallasz, de a csapágyjáték látszólag kicsi. Milyen további vizsgálatokat végeznél, és hogyan döntenéd el, hogy kerékcsapágy vagy gumiabroncs a hiba?

10.2.15. Megoldások

10.2.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A tengelyen fogaskerekeket, csapágyakat, tömítéseket és biztosítóelemeket kell elhelyezni; a lépcsők a pontos tengelyirányú rögzítést, az illesztőfelületek a teherátadást szolgálják. A feszültséggyűjtő helyek miatt az átmeneteket lekerekítik.
2. Indulás és leállás közben, nagyon alacsony fordulatszámon, valamint akkor, amikor a terhelés, a fordulatszám, a hézag és az olajviszkozitás együttesen nem elegendő az összefüggő olajfilm fenntartásához.
3. Kúpgörgőset akkor, ha radiális és axiális terhelés egyszerre hat, mert a kúpos futópálya mindkét irányú terhet felveszi, és a csapágy hézaga beállítható.
4. Az állítás hibás; ha a belső gyűrű szilárdan illesztett a tengelyen, akkor a belső gyűrűt kell nyomni. A külső gyűrűn át bepréselés a gördülőelemet és a belső futópályát károsítja.
5. A lekerekített átmenet csökkenti a feszültséggyűjtést, így a kifáradási repedés keletkezésének esélyét.

10.2.15.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A siklócsapágy két csúszó felületből áll, ahol ideális esetben hidrodinamikus olajfilm választja el a fémeket; a kenés kimagaslóan fontos, viszont a felület csillapítja a lökést, és a csapágy anyaga beágyazza a szennyeződést. A gördülőcsapágy gördülőelemekkel helyettesíti a csúszást, kisebb a súrlódása indításkor, egyszerűbb a kenése, viszont érzékenyebb a pontszerű túlterhelésre és a helytelen beépítésre.

2. feladat (A)
Adott: $M_{\mathrm{cs}} = 40\,\mathrm{Nm}$, $d = 0{,}02\,\mathrm{m}$. Képlet: $\tau_{\mathrm{cs}} = M_{\mathrm{cs}}/(0{,}2d^3)$. Behelyettesítve:

$$d^3 = (0{,}02)^3 = 8 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^3,$$

$$\tau_{\mathrm{cs}} = \frac{40}{0{,}2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = \frac{40}{1{,}6 \cdot 10^{-6}} = 25 \cdot 10^6\,\mathrm{Pa} = 25\,\mathrm{MPa}.$$

3. feladat (B)
A kidolgozott példa képletével:

$$d = \left(\frac{\sqrt{100 M_{\mathrm{h}}^2 + 75 M_{\mathrm{cs}}^2}}{\sigma_{\mathrm{meg}}} \right)^{1/3}.$$

$$100 \cdot 120^2 = 1\,440\,000, \quad 75 \cdot 90^2 = 607\,500.$$

$$\sqrt{1\,440\,000 + 607\,500} = \sqrt{2\,047\,500} \approx 1431\,\mathrm{Nm}.$$

$$d^3 = \frac{1431}{55 \cdot 10^6} \approx 2{,}60 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{m}^3,$$

$$d \approx 0{,}0296\,\mathrm{m} \approx 30\,\mathrm{mm}.$$

A tengely legalább 30 mm átmérőjű.

4. feladat (B)
Főtengelycsapágy: siklócsapágy, mert nagy terhelés, lökésszerű igénybevétel, motorolajos kenés, és az olajfilm csillapítja a zajt, kopogást. Kerékagy: kúpgörgős vagy két soros gördülőcsapágy, mert radiális és kanyarbeli axiális erőt is fel kell vennie. Generátor: mélyhornyú golyós csapágy, mert nagy fordulat, mérsékelt axiális és radiális terhelés, egyszerű zsírtömítés. Lengőkar-szilent: elasztomer csapágy, mert nem teljes körforgást, hanem lengőmozgást és rugalmas bekötést igényel, kenés nélkül.

5. feladat (C)
$d = 0{,}025\,\mathrm{m}$, $I = \pi d^4/64 = \pi \cdot 0{,}025^4/64 \approx 1{,}92 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{m}^4$.

$$k = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1{,}92 \cdot 10^{-8}}{0{,}216} \approx 8{,}96 \cdot 10^5\,\mathrm{N/m}.$$

$$\omega_{\mathrm{kr}} = \sqrt{\frac{8{,}96 \cdot 10^5}{4}} \approx \sqrt{2{,}24 \cdot 10^5} \approx 473\,\mathrm{rad/s}.$$

$$n_{\mathrm{kr}} = \frac{60}{2\pi} \cdot 473 \approx 9{,}55 \cdot 473 \approx 4517\,1/\mathrm{min}.$$

Az 5000 1/min csak kb. 11%-kal nagyobb a 4520 1/min-es közelítő kritikus fordulatszámnál, ezért az üzem a rezonancia közelében folyna: **nem biztonságos**. Megoldás: merevebb (nagyobb átmérőjű, rövidebb) tengely vagy kisebb tömeg, hogy a kritikus fordulatszám az üzemi tartomány fölé kerüljön (például $d = 30\,\mathrm{mm}$-nél $n_{\mathrm{kr}} \approx 6500\,1/\mathrm{min}$). A feladatban a tömegredukció és a megfogási mód közelítő, ezért a számított érték csak szemléltető; a gyártói méretezés pontosabb modellt használ. ∎

6. feladat (D)
Először a kerekek, a guminyomás, a futófelület és a csavarok állapotát ellenőrzöd. Ha a csapágy gyanús, a járművet felemeled, bakra támasztod. Megfogod a kereket függőleges és vízszintes irányban, és megpróbálod mozgatni; a valódi kerékcsapágyjáték a futómű szabályaitól függ, ezért a gyártói mérési módszert követed. A kereket megforgatod, sztetoszkóppal vagy csavarhúzóra szorított füllel hallgatod a kerékagyat. A gumiabroncs gördülési zaját a kerék cseréjével tudod kizárni: ha másik, ismert jó kerékkel a zaj megszűnik, a gumi a forrás. Ha a zaj megmarad, és a kerékagy felé eső hang erősebb, a kerékcsapágy a valószínű ok. A mérést a jármű gyártói emelési pontjainak és biztonságos alátámasztásának betartása előzi meg.

10.2.16. Rövid összefoglaló

A tengely hajlítást és csavarást visel, ezért méretezéséhez a hajlító és csavaró feszültséget, valamint a redukált feszültséget használjuk: $\sigma_{\mathrm{h}} = M_{\mathrm{h}}/K_{\mathrm{h}}$, $\tau_{\mathrm{cs}} = M_{\mathrm{cs}}/K_{\mathrm{p}}$, $\sigma_{\mathrm{red}} = \sqrt{\sigma_{\mathrm{h}}^2 + 3\tau_{\mathrm{cs}}^2}$. A $K_{\mathrm{h}} \approx 0{,}1d^3$ és $K_{\mathrm{p}} \approx 0{,}2d^3$ közelítések tömör körre érvényesek. A tengely vállainak lekerekítése a kifáradás ellen véd, mert a repedés feszültséggyűjtő helyről indul. A kritikus fordulatszám a hajlító sajátlengésből számítható, és az üzemi tartományt úgy kell megválasztani, hogy a tengely ne kerüljön rezonanciába. A siklócsapágy, mint a főtengelycsapágy, hidrodinamikus kenésű: a forgó csap az olajat a szűkülő résbe húzza, a kialakuló nyomás elválasztja a fémfelületeket. A gördülőcsapágy golyós, görgős, kúpgörgős vagy tűgörgős változatban érhető el; a kiválasztás alapja a terhelés iránya, a fordulatszám, a helyigény és a kenés. A szerelésnél a szilárdan illesztett gyűrű tüske felől kaphat erőt, a gördülőelemen át beütni tilos. A kerékcsapágy és a főtengelycsapágy szerelésekor mindig a gyártói csapágyazonosítót, hézagot, tömítést és meghúzási nyomatékot kell követni. **Továbbvitt eredmény:** a csapágytípusok kiválasztását a Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten alfejezetben a tengelykapcsolóra ható nyomóerő és a kinyomócsapágy igénybevétele, a Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés alfejezetben pedig a főtengelycsapágy és a hajtórúdcsapágy hézaga, anyaga és kenése szempontjából használjuk.

10.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

- A hajlítási, csavarási és redukált feszültségi összefüggések, valamint a kritikus fordulatszám közelítő képlete a mechanika és szilárdságtan stabil, tankönyvi összefüggései.
- A csapágytípusok, hidrodinamikus kenés, illesztés és beépítési szabály a gépészeti gépelemtan stabil, általános szakmai ismeretei.

- A csapágyjelölés számszerű értelmezése, az illesztési tűrések, a zsírtömítés és a hőmérsékletes szerelés adatai szabványfüggők; a kiadás előtt ellenőrizendő a hatályos ISO/DIN szerinti jelölési és tűrésrendszer.
- A kerékcsapágy, főtengelycsapágy és hajtórúdcsapágy szerelési értékei, hézagai, meghúzási nyomatékai és csereeljárásai gyártói javítási adatok, ezért tanulási példaként szerepelnek (ellenőrizendő: az adott jármű gyártói javítási utasítása).

10.3. Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten

10.3.1. Motiváció

A műhelyben gyakran hallani azt a panaszt, hogy „a kuplung csúszik” vagy „a fék már nem fog úgy, mint új korában”. A jármű hajtásláncában a motor nyomatékát át kell adni a sebességváltónak, de a váltáshoz időnként meg kell szakítani az erőfolyamot; a féknek pedig a mozgási energiát kell hővé alakítania. Mindkét feladat súrlódó felületeken, precíz nyomóerőkkel és megfelelő anyagpárosítással oldható meg. Ha az autószerelő nem érti a tengelykapcsolók és fékek gépelem-szintű működését, akkor a járművön sem tudja helyesen diagnosztizálni a csúszó kuplungot vagy a túlmelegedő féknyerget.

10.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy egytárcsás, száraz súrlódó tengelykapcsolót: a motor lendkerekéhez szorul egy súrlódó betétekkel ellátott tárcsa, amelynek agya a váltó bemenő tengelyén ül. A nyomólapot tányérrugó nyomja a tárcsának, így a lendkerék és a nyomólap közé szorított tárcsa a súrlódás következtében a motorral együtt forog. Amikor a vezető a kuplungpedált lenyomja, a kinyomócsapágy a tányérrugót megfeszíti, a nyomólap eltávolodik, és a tárcsa felszabadul – az erőfolyam megszakad.

A tárcsaféknél hasonló elvet látunk: egy féknyereg a két oldalán elhelyezkedő súrlódó betéteket nyomja a forgó féktárcsára; a keletkező súrlódó erő a tárcsa kerületén fékezőnyomatékot hoz létre.

10.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **tengelykapcsoló** (coupling; járműben „kuplung” vagy „tengelykapcsoló” értelemben is) két tengely vagy tengely és gépalkatrész között oldható vagy állandó, de rugalmas kapcsolatot teremt, és nyomatékot, illetve forgó mozgást visz át.

Definíció. A **fék** (brake) olyan gépészeti berendezés, amely a mozgó test mozgási energiáját súrlódás révén hővé alakítja, és ezzel a sebességet csökkenti, a testet megállítja, illetve álló helyzetben rögzíti.

A tengelykapcsolókkal szemben támasztott legfontosabb követelmények:

- biztonságosan vigye át a névleges nyomatékot, túlterhelésre ne sérüljön,
- a kapcsolható típusok gyorsan és megbízhatóan oldhassák és zárhassák az erőfolyamot,
- a rugalmas típusok csökkentsék a lökéseket, lengéseket és kiegyenlítsék a tengelyhibákat,
- karbantartása, ellenőrzése és cseréje egyszerű legyen.

A **súrlódó nyomaték** fogalma mind a tengelykapcsolóknál, mind a fékeknél alapvető:

Összefüggés. Súrlódó felületen átvihető nyomaték:

$$M_{\mathrm{s}} = z \cdot \mu \cdot F_{\mathrm{n}} \cdot r_{\mathrm{m}}$$

ahol:

- M_{s} a súrlódó nyomaték, Nm,
- z a súrlódó felületpárok száma (például egytárcsás száraz kuplungnál $z = 2$, mert a tárcsa mindkét oldala súrlódik),
- μ a súrlódási tényező, mértékegység nélkül,
- F_{n} a felületeket összeszorító normálerő, N,
- r_{m} a súrlódó erők közepes sugara, m.

10.3.4. A tengelykapcsolók csoportosítása

A tengelykapcsolókat működési elvük szerint csoportosítjuk:

1. **Merev tengelykapcsolók.** A két tengelyt mereven, elfordulás és rugalmas elmozdulás nélkül kötik össze. Pontosan egyvonalba állított tengelyeknél használhatók. Például a **tokos tengelykapcsoló** egy hüvely, amely a két tengelyvéget fogja össze retesszel vagy csavarral; a **karimás tengelykapcsoló** két, a tengelyvégekre szerelt karimát csavarokkal köt össze. A járművekben ritkán találkozunk tiszta merev kapcsolattal, mert a hajtásláncban mindig vannak rezgések és tengelyelmozdulások.

2. **Kiegyenlítő tengelykapcsolók.** Olyan tengelyeket kötnek össze, amelyek között szögeltérés, párhuzamos eltolódás vagy axiális elmozdulás fordulhat elő. Ide tartoznak a kardáncsuklók, a fogaskerekes kiegyenlítő kapcsolók és a hajlékony (például Hardy-tárcsás) kapcsolók. A jármű kardántengelyében a kardáncsuklók a váltó és a tengelyhajtás közötti szögváltozást egyenlítik ki.

3. **Rugalmas tengelykapcsolók.** A kapcsolatba rugalmas elem kerül, amely a nyomatékot átviszi, közben a lengéseket, lökés- és rezgéscsúcsokat csökkenti, valamint kisebb tengelyhibákat is kiegyenlít. A rugalmas elem lehet gumi, műanyag, rugó vagy lemezrugó. A szerelői gyakorlatban gyakran találkozni a jármű hajtásában alkalmazott kettős tömegű lendkerékkel és rugalmas tárcsákkal, amelyek szintén ebbe a csoportba sorolhatók.

Megjegyzés. A merev és rugalmas tengelykapcsolók általában **nem oldhatók** üzem közben: a nyomatékátadás állandó.

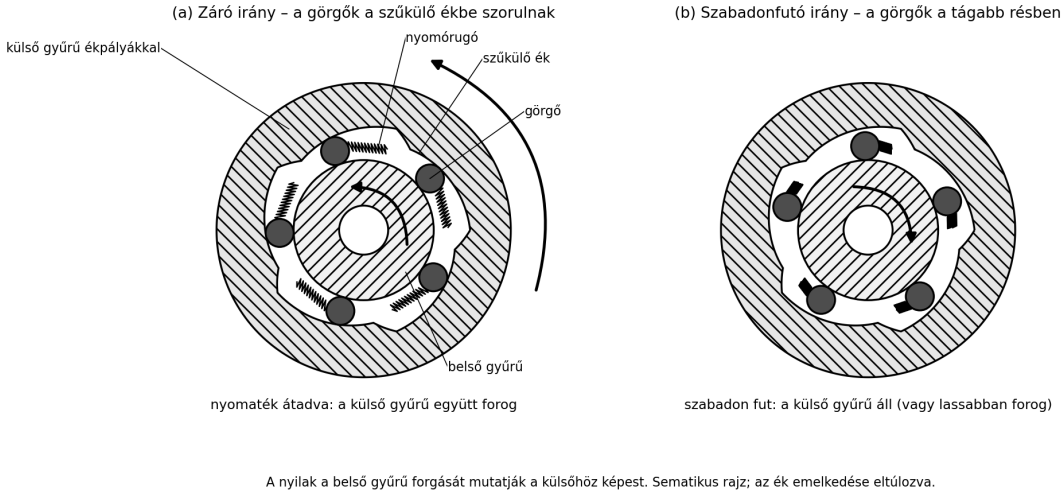
10.3.5. Kapcsolható és önműködő tengelykapcsolók

A járművek erőátvitelében a legfontosabbak az **oldható (kapcsolható)** tengelykapcsolók, amelyekkel a két tengely közötti erőfolyam üzem közben megszakítható és visszaállítható.

A kapcsolható tengelykapcsoló leggyakoribb típusa a **súrlódó tengelykapcsoló**, amely a már említett egytárcsás száraz kivitelben jelenik meg nyomólappal, tányérrugóval és súrlódó betéttel (lásd Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus). Ennek elvi elődje a **kúpos tengelykapcsoló**, amelynél a súrlódó felületek kúppalláston érintkeznek. Régebben használták, ma már csak ritkán.

Önműködő tengelykapcsoló az, amely a fordulatszám vagy a nyomaték irányától függően önműködően old vagy zár. Két fontos fajtája:

- **Szabadonfutó** (one-way clutch): olyan kapcsoló, amely a nyomatékot csak az egyik forgásirányban viszi át, az ellenkező irányban szabadon fut. A kerékpár hátsó fogaskerekénél, az indítómotor fogaskerekes hajtásában és a generátor szabadonfutó tárcsájában találkozunk vele. Felépítése: belső és külső gyűrű között görgők vagy kilincsek helyezkednek el. Ha a belső gyűrű az előre irányban el akar fordulni a külsőhöz képest, a görgők beszorulnak a szűkülő ékbe, és a két gyűrűt összekapcsolják; ellenkező irányban a görgők a rugók segítségével visszahúzódnak, és a kapcsolat old.



10.7. ábra. Görgős szabadonfutó: záró irányban a görgők az ékrésbe szorulnak, szabadonfutó irányban a tágabb résbe gördülnek

Az ábra bal oldalán a belső gyűrű a záró irányban fordul: a nyomórugók által előretolt görgők a külső gyűrű szűkülő ékpályájába szorulnak, és a külső gyűrű együtt forog. A jobb oldalon a belső gyűrű ellenkező irányban fordul: a görgők a tágabb résbe gördülnek, a kapcsolat old. A HTML-változat az irányváltást animálja, és megmutatja az indítómotor és a generátor-szabadonfutó tárcsa esetét. - **Centrifugális (rugós) tengelykapcsoló**: a fordulatszámmal növekvő röpsúlyok által létrehozott súrlódó nyomatékot használja ki. Kis segédmotoros kerékpárokban, de gyakrabban kerti gépekben fordul elő.

10.3.6. Fékek rendeltetése és működtetése

A fék rendeltetése:

- **üzemi fék**: a jármű sebességének csökkentése és megállítása,
- **rögzítő fék**: az álló jármű helyben tartása (kézifék, elektromos rögzítőfék),
- **vészfék (segédfék)**: a jármű lassítása és megállítása, ha az üzemi fék meghibásodik, vagy a pótkocsi leválik.

A fékek legelterjedtebb szerkezeti típusai:

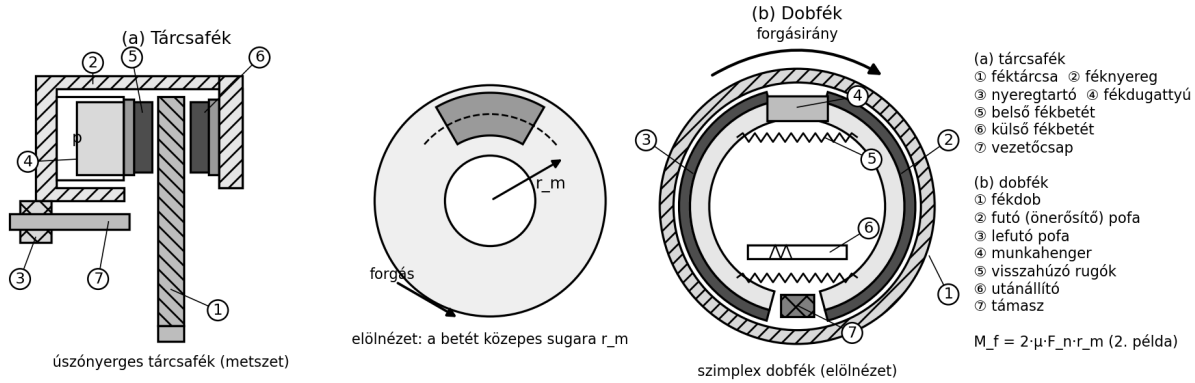
- **Dobfék**: a súrlódó pofák a fékdob belső palástjára szorulnak. A működtetés során a fékpofa belső forgásirányú önerősítő hatása miatt a nyomaték nagyobb lehet az egyszerű számításnál, ezért a beállítás és a kopásvizsgálat különösen fontos.

- **Tárcsafék**: a forgó féktárcsára a féknyereg két oldalán elhelyezett betétek szorulnak. A tárcsafék hőterhelhetősége jobb, ezért személygépkocsikban az első tengelyen általában tárcsafék van.
- **Szalagfék** és **lamellás fék** ritkább; a többtárcsás (lamellás) fék az automata sebességváltók, illetve egyes ipari berendezések belső fékje.

A súrlódó felületpárok anyaga a feladattól függ: a dobfék pofákon gyakran szinterelt vagy szerves betét, a tárcsafék betéteken szintén szerves vagy fémkerámia anyag található. A legfontosabb tulajdonság a nagy súrlódási tényező, a hőstabilitás és az egyenletes kopás.

A fék működtetésének módjai:

- **mechanikus**: rudazattal vagy Bowden-huzallal, például rögzítőfék,
- **hidraulikus**: fékfolyadékkal, a főfékhenger és a kerékfékhengerek között, a személygépkocsi üzemi fékjénél,
- **pneumatikus**: sűrített levegővel, főleg tehergépjárművek és pótkocsik fékrendszerében (lásd Légfékek és pótkocsifékek),
- **elektromos**: villanymotorral vagy elektromágnessel, a modern elektromos rögzítőfékben (EPB).



Sematikus vonalrajz; a hézagok eltúlozva. Illusztrátori finomítás opcionális.

10.8. ábra. Úszónyerges tárcsafék metszete és elölnézete a súrlódási középsugárral, valamint szimplex dobfék számozott részekkel

Az (a) részen a fékdugattyú a belső betétet, a vezetőcsapon elmozduló úszó nyereg a külső betétet szorítja a féktárcsára; az elölnézet a betét r_m közepes sugarát mutatja, amellyel a 2. példa számol. A (b) részen a munkahenger a két fékpofát a dobhoz nyomja; a dob forgásirányában a futó pofa önerősítő, a lefutó pofa nem.

10.3.7. Súrlódó nyomaték és féknyomaték számítása

Számítás. A súrlódó nyomatékot a már megismert képlet adja:

$$M_\mathrm{s} = z \cdot \mu \cdot F_\mathrm{n} \cdot r_\mathrm{m}$$

A közepes sugár r_m számításakor a gyakorlatban gyakran elegendő a betét belső és külső sugarának számtani átlaga:

$$r_{\mathrm{m}} \approx \frac{r_1 + r_2}{2}$$

ahol r_1 a belső, r_2 a külső sugár.

A tárcsaféknél a dugattyú által létrehozott normálerő, ha d a dugattyú átmérője és p a fékfolyadék nyomása:

$$F_{\mathrm{n}} = p \cdot A = p \cdot \frac{d^2\,\pi}{4}$$

A tárcsafék nyomatéka – mivel a tárcsa mindkét oldalán súrlódó felület van – két felületpárral számol:

$$M_{\mathrm{f}} = 2\,\mu\,F_{\mathrm{n}}\,r_{\mathrm{m}}$$

A dobfék egyszerű modelljében a fékdob sugarával r_{dob}:

$$M_{\mathrm{f}} = \mu\,N\,r_{\mathrm{dob}}$$

ahol N a fékpofát a dobnak szorító normálerő. A valóságban a fékpofa önerősítő hatása miatt a nyomaték ennél nagyobb is lehet; pontos értéket a gyártói adat vagy mérés alapján lehet meghatározni.

Figyelem. A fenti képletek a súrlódó nyomatékot μ állandó súrlódási tényezővel számolják. Üzemi körülmények között a hőmérséklet, a nedvesség, a betét- és tárcsakopás, valamint a felületi nyomás eloszlása befolyásolja a tényleges értéket, ezért a méretezésnél biztonsági tényezőt kell alkalmazni.

10.3.8. Kidolgozott példák

10.3.8.1. 1. példa – Egytárcsás száraz tengelykapcsoló átvihető nyomatéka

Adott: Egy egytárcsás száraz tengelykapcsoló súrlódó betétének közepes sugara $r_{\mathrm{m}} = 0{,}11\,\mathrm{m}$, a tányérrugó által kifejtett nyomóerő $F_{\mathrm{n}} = 4200\,\mathrm{N}$, a súrlódási tényező $\mu = 0{,}32$, a súrlódó felületpárok száma $z = 2$ (a tárcsa mindkét oldala).

Keresett: Az átvihető nyomaték M_{s}.

Képlet: $M_{\mathrm{s}} = z \cdot \mu \cdot F_{\mathrm{n}} \cdot r_{\mathrm{m}}$

Behelyettesítés:

$$M_{\mathrm{s}} = 2 \cdot 0{,}32 \cdot 4200\,\mathrm{N} \cdot 0{,}11\,\mathrm{m} = 0{,}64 \cdot 4200 \cdot 0{,}11\,\mathrm{Nm} = 295{,}7\,\mathrm{Nm}$$

Eredmény: $M_{\mathrm{s}} \approx 296\,\mathrm{Nm}$.

Ellenőrzés: Egy közepes személygépkocsi motorjának nyomatéka jellemzően 180–250 Nm; a kuplungot ennél legalább 30–50%-kal nagyobb nyomatékra méretezik, tehát a 296 Nm reális érték. (Az érték tanulási példa, ellenőrizendő: gyártói adat.)

10.3.8.2. 2. példa – Hidraulikus tárcsafék féknyomatéka

Adott: Egy úsztatott nyerges tárcsafék dugattyúátmérője $d = 54\,\text{mm} = 0{,}054\,\text{m}$, a fékfolyadék nyomása a nyeregben $p = 80\,\text{bar} = 8{,}0 \cdot 10^6\,\text{Pa}$, a betét közepes sugara $r_\text{m} = 0{,}12\,\text{m}$, a súrlódási tényező $\mu = 0{,}40$.

Keresett: A kerékfék fékezőnyomatéka M_f.

Képlet és behelyettesítés:

$$A = \frac{d^2\,\pi}{4} = \frac{(0{,}054)^2\,\pi}{4} = 2{,}29 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^2$$

$$F_\text{n} = p\,A = 8{,}0 \cdot 10^6\,\text{Pa} \cdot 2{,}29 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^2 = 18{,}3 \cdot 10^3\,\text{N} = 18{,}3\,\text{kN}$$

$$M_\text{f} = 2 \cdot \mu \cdot F_\text{n} \cdot r_\text{m} = 2 \cdot 0{,}40 \cdot 18{,}3 \cdot 10^3\,\text{N} \cdot 0{,}12\,\text{m} = 1{,}76 \cdot 10^3\,\text{Nm} = 1{,}76\,\text{kNm}$$

Eredmény: $M_\text{f} \approx 1{,}76\,\text{kNm}$.

Ellenőrzés: Egy $m = 1500\,\text{kg}$ tömegű jármű $a = 8\,\text{m/s}^2$ lassulásánál a kerékszintű fékerő összesen $F_\text{kerék} = m \cdot a = 1500 \cdot 8 = 12\,000\,\text{N}$, azaz négy kerékre egyenlően elosztva kerekenként $3\,000\,\text{N}$. Fékezéskor azonban a terhelés előre helyeződik; ha az első tengely a fékerő kb. 70%-át adja (tanulási feltevés), egy első kerékre $12\,000 \cdot 0{,}7/2 = 4\,200\,\text{N}$ jut. A $r_\text{d} = 0{,}32\,\text{m}$ gördülési sugárral a keréknyomaték $M = 4\,200 \cdot 0{,}32 \approx 1\,340\,\text{Nm}$. A kiszámított $1{,}76\,\text{kNm}$ ennél nagyobb, tehát a fék elegendő, de a tartalék kisebb, mint az egyenletes elosztás feltételezésével látszana.

10.3.9. Minőségellenőrzés

A tengelykapcsolók és fékek ellenőrzése gépelem-szinten:

- **Súrlódó felületek szemrevételezése**: repedés, üvegesedés, egyenlőtlen kopás, szennyezés.
- **Vastagságmérés**: a súrlódó betét vagy tárcsa vastagságát tolómérővel vagy mikrométerrel mérjük, és a gyártói kopási határértékkel hasonlítjuk össze. A tárcsa minimális vastagságát a gyártó adja meg (például 22,0 mm) **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.
- **Nyomatékpróba**: a tengelykapcsoló nyomatékátvitelét csúszásvizsgálattal ellenőrzik, a fékhatást pedig fékpadon mérik (a járműszintű mérés a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetben található).
- **Hőmérséklet-ellenőrzés**: a súrlódó alkatrészek túlmelegedése elszíneződést és a súrlódási tényező csökkenését okozhatja, ezért hőterheléses teszt is alkalmazható.

10.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy ügyfél arról panaszkodik, hogy a járműve emelkedőn gyorsításkor a motor fordulatszáma emelkedik, de a sebesség nem követi, és égett szagot érez. A szerelő próbaúton megállapítja, hogy a tengelykapcsoló csúszik: nagyobb gázadáskor a fordulatszámmérő hirtelen felugrik, a jármű lassan gyorsul. A műhelyben ellenőrzik a kuplungpedál holtjátékát, a kinyomócsapágyat és a végén a szerkezetet szétszerelve a tárcsát. A diagnózis: a súrlódó betétek kopottak, a tányérrugó fáradt, ezért a nyomóerő F_n lecsökkent, és az átvihető nyomaték a motor nyomatéka alá esett. A javítás a tengelykapcsoló-szerkezet cseréje (súrlódó tárcsa, nyomólap és kinyomócsapágy) a gyártói előírás szerint.

Továbbvitt eredmény. A súrlódó nyomaték itt bemutatott összefüggése közvetlenül használt a Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok alfejezetben a nyomatékáttétel és a csúszás értelmezéséhez, a Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus alfejezetben a járműkuplung részletes tárgyalásához, valamint a(z) A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások alfejezetben a fékhatás és lassulás számításához.

10.3.11. Tipikus hibák

Hiba. A súrlódó felületpárok számának elhagyása. Egytárcsás száraz kuplungnál a tárcsa két oldala is súrlódik, ezért $z = 2$, nem pedig 1; ha valaki $z = 1$-et számol, feleakkorának becsli a nyomatékot.

Hiba. A nyomóerő és a súrlódó erő összekeverése. A féknyomaték számításakor először a normálerőből kell a súrlódóerőt képezni: $F_{\mathrm{s}} = \mu \cdot F_{\mathrm{n}}$, majd ezt a sugárral szorozni. Ha valaki a normálerőt szorozza a sugárral, az eredmény nem féknyomatékot, hanem hibás mennyiséget ad.

Hiba. A közepes sugár helyett a külső sugár használata. A tárcsaféknél a betét a tárcsa egy gyűrűfelületén oszlik el; a nyomaték számításához a közepes sugarat kell venni, nem pedig a tárcsa külső sugarát. A túlbecslés miatt a fék kisebbnek bizonyulhat a vártnál.

10.3.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A merev tengelykapcsoló üzem közben oldható és zárható, ezért alkalmas a jármű kuplungjának. Indokold!
2. **Gyors számolás.** Egy tengelykapcsoló nyomóereje $F_{\mathrm{n}} = 5000\,\mathrm{N}$, $\mu = 0{,}3$, $r_{\mathrm{m}} = 0{,}1\,\mathrm{m}$, $z = 2$. Mennyi az átvihető nyomaték?
3. **Mi a hiba ebben a leírásban?** „A tárcsafék féknyomatéka: $M_f = \mu F_n r_m$.” Mi hiányzik belőle, ha a tárcsa két oldalán súrlódás van?
4. **Fogalom-ellenőrzés.** Miben különbözik a szabadonfutó a merev tengelykapcsolótól?
5. **Gyakorlati kérdés.** Miért kell a fékbetét anyagának jó hőstabilitást biztosítani?

A válaszok az `Önellenőrzés - válaszok` alcím alatt találhatók.

10.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a tengelykapcsolók csoportjait működési elv szerint, és mindegyikre hozz egy-egy példát!

2. feladat (A). Számítsd ki egy egytárcsás tengelykapcsoló átvihető nyomatékát, ha $F_{\mathrm{n}} = 3800\,\mathrm{N}$, $\mu = 0{,}3$, $r_1 = 0{,}06\,\mathrm{m}$, $r_2 = 0{,}10\,\mathrm{m}$ és $z = 2$! Használd a közepes sugarat!

3. feladat (B). Egy dobfék fékpofáját a fékdobhoz $N = 2400\,\mathrm{N}$ normálerő szorítja. A fékdob belső sugara $r_{\mathrm{dob}} = 0{,}14\,\mathrm{m}$, a súrlódási tényező $\mu = 0{,}35$. Mekkora a féknyomaték az egyszerű modell szerint? Mennyi lenne az érték, ha a pofa önerősítő hatása 30%-kal növeli a nyomatékot?

4. feladat (B). Egy hidraulikus tárcsafék dugattyúja $d = 48\,\mathrm{mm}$, a fékfolyadék nyomása $p = 120\,\mathrm{bar}$, a betét közepes sugara $r_{\mathrm{m}} = 0{,}10\,\mathrm{m}$, $\mu = 0{,}42$. Számítsd ki a féknyomatékot! Hasonlítsd össze a 2. példa eredményével, és mondd el, miért térhet el!

5. feladat (C). Egy jármű hajtásláncában a motor nyomatéka $M_{\mathrm{motor}} = 220\,\mathrm{Nm}$. A tengelykapcsoló súrlódó betétjének közepes sugara $r_{\mathrm{m}} = 0{,}11\,\mathrm{m}$, $\mu = 0{,}30$, $z = 2$. Mekkora minimális

nyomóerőre van szükség, ha a kapcsolónak legalább 1,35-szoros biztonsági tényezővel kell átvinnie a motor nyomatékát? Ellenőrizd az eredményt!

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza szerint a jármű fékútja megnőtt, a pedált erősebben kell nyomni; a vizsgálat szerint az egyik féknyereg dugattyúja beragadt. Magyarázd el, hogyan befolyásolja a beragadt dugattyú a képletben szereplő F_n normálerőt és ezen keresztül a féknyomatékot! Milyen ellenőrzési lépésekkel deríthető fel a hiba?

10.3.14. Megoldások

10.3.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A merev tengelykapcsoló nem oldható üzem közben; a jármű kuplungja kapcsolható, súrlódó típus.
2. $M = z\mu F_\mathrm{n} r_\mathrm{m} = 2 \cdot 0{,}3 \cdot 5000 \cdot 0{,}1 = 300\,\mathrm{Nm}$.
3. Hiányzik a 2-es szorzó, mert a tárcsafék két oldalán is súrlódás van; helyesen $M_f = 2\mu F_n r_m$.
4. A szabadonfutó csak egy irányban viszi át a nyomatékot, ellenkező irányban szabadon fut; a merev tengelykapcsoló mindkét irányban, elfordulás nélkül köt.
5. A fék súrlódó hőt fejleszt; nagy hőmérsékleten a súrlódási tényező csökkenhet (fading), ami a fékhatás elvesztéséhez vezethet.

10.3.14.2. 1. feladat megoldása

A tengelykapcsolók csoportjai:

- merev: tokos, karimás;
- kiegyenlítő: kardáncsukló, Hardy-tárcsa;
- rugalmas: gumibetétes, rugós tengelykapcsoló;
- kapcsolható: egytárcsás száraz, kúpos;
- önműködő: szabadonfutó, centrifugális kapcsoló.

10.3.14.3. 2. feladat megoldása

Adott: $F_\mathrm{n} = 3800\,\mathrm{N}$, $\mu = 0{,}3$, $r_1 = 0{,}06\,\mathrm{m}$, $r_2 = 0{,}10\,\mathrm{m}$, $z = 2$.

$r_\mathrm{m} = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{0{,}06 + 0{,}10}{2} = 0{,}08\,\mathrm{m}$.

$M = z\mu F_\mathrm{n} r_\mathrm{m} = 2 \cdot 0{,}3 \cdot 3800 \cdot 0{,}08 = 0{,}6 \cdot 3800 \cdot 0{,}08 = 182{,}4\,\mathrm{Nm}$.

Eredmény: $M \approx 182\,\mathrm{Nm}$.

10.3.14.4. 3. feladat megoldása

Adott: $N = 2400\,\mathrm{N}$, $\mu = 0{,}35$, $r_\mathrm{dob} = 0{,}14\,\mathrm{m}$.

$M_f = \mu N r_\mathrm{dob} = 0{,}35 \cdot 2400 \cdot 0{,}14 = 117{,}6\,\mathrm{Nm}$.

30%-os önerősítéssel: $M_f' = 1{,}3 \cdot 117{,}6 = 152{,}9\,\mathrm{Nm}$.

Eredmény: $M_f \approx 118\,\mathrm{Nm}$, önerősítéssel $153\,\mathrm{Nm}$.

10.3.14.5. 4. feladat megoldása

$d = 0{,}048\,\mathrm{m}$, $A = \frac{0{,}048^2\pi}{4} = 1{,}81 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$.

$p = 120\,\mathrm{bar} = 1{,}2 \cdot 10^7\,\mathrm{Pa}$, $F_\mathrm{n} = 1{,}2 \cdot 10^7 \cdot 1{,}81 \cdot 10^{-3} = 21{,}7\,\mathrm{kN}$.

$M_f = 2 \cdot 0{,}42 \cdot 21{,}7 \cdot 10^3 \cdot 0{,}10 = 1{,}82\,\mathrm{kNm}$.

A 2. példában (80 bar, $d = 54\,\mathrm{mm}$, $r_\mathrm{m} = 0{,}12\,\mathrm{m}$, $\mu = 0{,}40$) 1,76 kNm adódott. Itt a nagyobb nyomás és a nagyobb μ növeli, a kisebb dugattyúfelület ($1{,}81 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$ a $2{,}29 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2$ helyett) és a kisebb közepes sugár csökkenti a nyomatékot, ezért az eredmény csak kb. 3%-kal nagyobb (1,82 kNm).

10.3.14.6. 5. feladat megoldása

Szükséges nyomaték: $M_\mathrm{sz} = 1{,}35 \cdot 220 = 297\,\mathrm{Nm}$.

Átrendezve: $F_\mathrm{n} = \frac{M_\mathrm{sz}}{z\mu r_\mathrm{m}} = \frac{297}{2 \cdot 0{,}30 \cdot 0{,}11} = \frac{297}{0{,}066} \approx 4500\,\mathrm{N}$.

Ellenőrzés: $M = z\mu F_n r_m = 2 \cdot 0{,}3 \cdot 4500 \cdot 0{,}11 = 297\,\mathrm{Nm}$. Tehát $F_\mathrm{n} \approx 4{,}5\,\mathrm{kN}$.

10.3.14.7. 6. feladat megoldása

A beragadt dugattyú csökkenti a betétekre kifejtett normálerőt, mert a hidraulikus nyomás nem jut teljesen a betétre; a dugattyú részben a nyeregben akad. Így F_n kisebb lesz, ezért a féknyomaték $M_f = 2\mu F_n r_m$ is csökken. Ellenőrzés: a féknyereg dugattyújának mozgathatóságát kézzel vagy nyomáspróbával vizsgáljuk, a vezetőcsapok szabad mozgását ellenőrizzük, a fékfolyadék nyomását manométerrel mérjük, és a betétek egyenletes kopását is figyeljük.

10.3.15. Rövid összefoglaló

A tengelykapcsoló két tengely között létesít kapcsolatot, és nyomatékot visz át; a fék a mozgási energiát hővé alakítja, és lassít, megállít vagy rögzít. A tengelykapcsolókat merev, kiegyenlítő, rugalmas, kapcsolható és önműködő csoportra osztjuk. A járművekben a legfontosabb a kapcsolható súrlódó tengelykapcsoló, amely a jármű kuplungjának elvi alapja. A szabadonfutó csak egy irányban viszi át a nyomatékot, és az indítómotor, illetve a kerékpár hátsó agyában is használják. A fékek lehetnek üzemi, rögzítő és vészfékek; súrlódó felületpárjuk dobféknél belső pofa–dob, tárcsaféknél betét–tárcsa. A súrlódó nyomatékot a $M = z\mu F_\mathrm{n} r_\mathrm{m}$ képlet adja; tárcsaféknél $M_f = 2\mu F_n r_m$. A nyomóerőt hidraulikus rendszernél a $F_n = pA$ összefüggéssel kapjuk. **Továbbvitt eredmény.** A súrlódó nyomaték képlete, a közepes sugár és a felületpárok számának helyes értelmezése közvetlenül használt a hajtások, a jármű-tengelykapcsolók és a fékrendszerek tárgyalásakor; a féknyomaték a kerékszintű lassulás és fékhatás számításának alapja (A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások). A fékeken és tengelykapcsolókon csak a gyártói adatok szerint, kopási határértékek betartásával, az előírt nyomatékokkal szabad dolgozni.

10.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gépelem-tankönyvek, MSZT/ISO szabványok (például tengelykapcsolók és fékek fogalommeghatározásai), gyártói javítási adatok.

Ellenőrizendő állítások: a megadott súrlódási tényezők, kopási határértékek, féknyomás- és nyomatékértékek tanulási példák; a gyártói adatokat és a járműfékekre vonatkozó ENSZ-EGB előírásokat (ECE R13, R13-H) a járműspecifikus alfejezetek tárgyalják. A könyv nem talál ki gyártói nyomatékot vagy kopási határt.

10.4. Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok

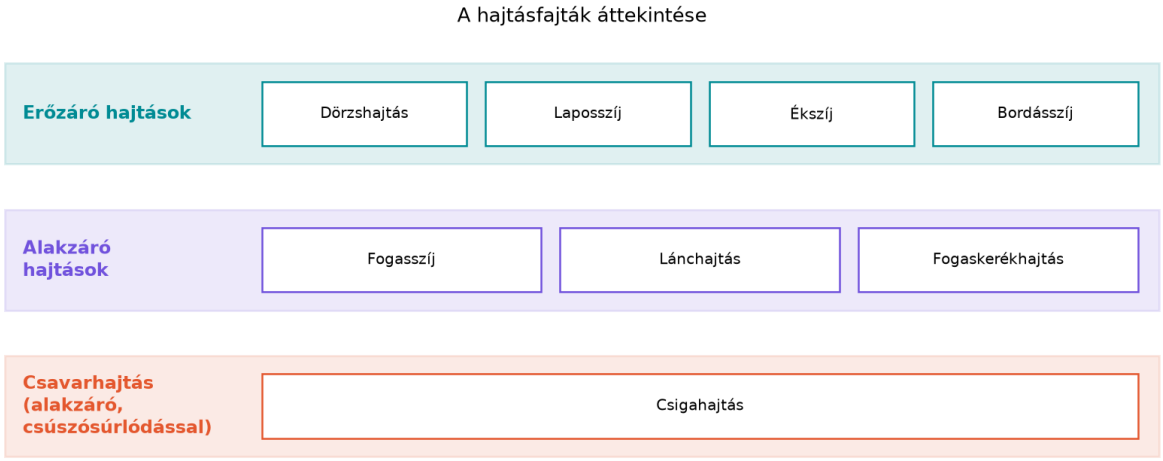
10.4.1. Motiváció

A műhelyben sok javítás abból indul, hogy a motor jár, de a segédberendezések nem hajtják meg egymást, vagy zajos a hajtás. Ha a generátor ékszíja csúszik, az akkumulátor nem töltődik; ha a vezérmű-szíj vagy -lánc elszakad, a dugattyúk és a szelepek ütközhetnek (ellenőrizendő: motorkonstrukciótól függ). Ahhoz, hogy ilyen hibákat megérts, és tudj megfelelő szíjat, láncot vagy fogaskereket választani, ismerned kell a hajtások áttételének, nyomatékának és hatásfokának számítását.

Ebben az alfejezetben a járművekben leggyakoribb hajtásfajtákat tanulod meg: a dörzs-, szíj-, lánc- és fogaskerékhajtást, valamint a forgattyús és bütykös mechanizmusok alapját. A cél nem a gépgyártás részletes méretezése, hanem az, hogy a járművön látott hajtást fel tudd ismerni, az áttételét ki tudd számolni, és a tipikus hibákat diagnosztizálni tudd.

10.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy négyhengeres Otto-motort. A főtengely szíjtárcsájáról egy hosszbordás szíj hajtja a generátort, a klímakompresszort és a szervopumpát; a főtengely másik végén fogasszíj vagy lánc hajtja a vezérműtengelyt. A váltóban fogaskerékpárok adják a sebességfokozatok áttételét, a kormányoszloptól a kormányműig kardántengely viszi a forgást. Mindegyik hajtás egy közös kérdésre ad választ: hogyan változtatjuk meg a fordulatszámot és a nyomatékot a hajtó és a hajtott elem között?



10.9. ábra. A hajtásfajták áttekintése - A járművekben előforduló fő hajtások csoportosítása; az áttétel minden típusra a hajtó/hajtott fordulatszám-viszony. A csigahajtás alakzáró csavarhajtás, kinematikai csúszás nélkül; a fogfelületek csúszósúrlódása csak a hatásfokát rontja.

Az ábra azt mutatja, hogy a hajtásokat erőzáró (súrlódáson alapuló) és alakzáró (alakkal kapcsolódó) csoportra oszthatjuk. A csigahajtás alakzáró, de a fogfelületek egymáson nagy sebességgel csúsznak (csúszósúrlódás), ezért hatásfoka kisebb; csavarhajtásként külön soroljuk.

10.4.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A hajtás **hajtó eleme** (hajtó kerék, tárcsa, fogaskerék) az, amely beviszi a forgást; a **hajtott elem** az, amely a hajtó elem forgását átveszi.

Definíció. A hajtás **áttétele** (hajtó/hajtott fordulatszám viszony) csúszásmentes hajtásnál:

$$i = \frac{n_{\text{hajtó}}}{n_{\text{hajtott}}} = \frac{\omega_{\text{hajtó}}}{\omega_{\text{hajtott}}} = \frac{z_{\text{hajtott}}}{z_{\text{hajtó}}} = \frac{d_{\text{hajtott}}}{d_{\text{hajtó}}},$$

ahol n a fordulatszám (1/min), ω a szögsebesség (rad/s), z a fogszám, d a tárcsa- vagy osztókör-átmérő. Ha $i > 1$, akkor **lassító hajtás** (a hajtott fordulatszáma kisebb), ha $i < 1$, akkor **gyorsító hajtás**. A járműves gyakorlatban a generátort hajtó szíjhajtás jellemzően gyorsító ($i < 1$), a vezérműhajtás pedig lassító ($i = 2$, mert a vezérműtengely fél fordulatszámmal forog).

Összefüggés. Ideális, veszteségmentes hajtásban a teljesítmény a hajtó és a hajtott oldalon azonos:

$$P_{\text{hajtó}} = M_{\text{hajtó}}\,\omega_{\text{hajtó}} = M_{\text{hajtott}}\,\omega_{\text{hajtott}}.$$

Ebből a hajtott nyomaték:

$$M_{\text{hajtott}} = M_{\text{hajtó}}\,i.$$

Valós hajtásban a súrlódás és egyéb veszteségek miatt a hajtott oldali teljesítmény kisebb:

Definíció. A hajtás **hatásfoka**:

$$\eta = \frac{P_{\text{hajtott}}}{P_{\text{hajtó}}} = \frac{M_{\text{hajtott}}\,\omega_{\text{hajtott}}}{M_{\text{hajtó}}\,\omega_{\text{hajtó}}}.$$

Így a hajtott nyomaték valós esetben:

$$M_{\text{hajtott}} = M_{\text{hajtó}}\,i\,\eta.$$

Definíció. Szíjhajtásnál a **csúszás** (s) azt fejezi ki, hogy a hajtott tárcsa kerületi sebessége mennyivel kisebb a hajtó tárcsáénál:

$$s = \frac{v_{\text{hajtó}} - v_{\text{hajtott}}}{v_{\text{hajtó}}}.$$

A csúszás miatt a tényleges áttétel:

$$i_{\text{valós}} = \frac{i_{\text{elméleti}}}{1 - s}.$$

Továbbvitt eredmény. Az áttétel és a hajtott nyomaték fenti számítását használjuk a vezérműhajtásnál Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje, a bolygóműveknél Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó, valamint a kerékpárok hajtóművénél Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű.

10.4.4. Felépítés és működés

10.4.4.1. Dörzs- és szíjhajtások

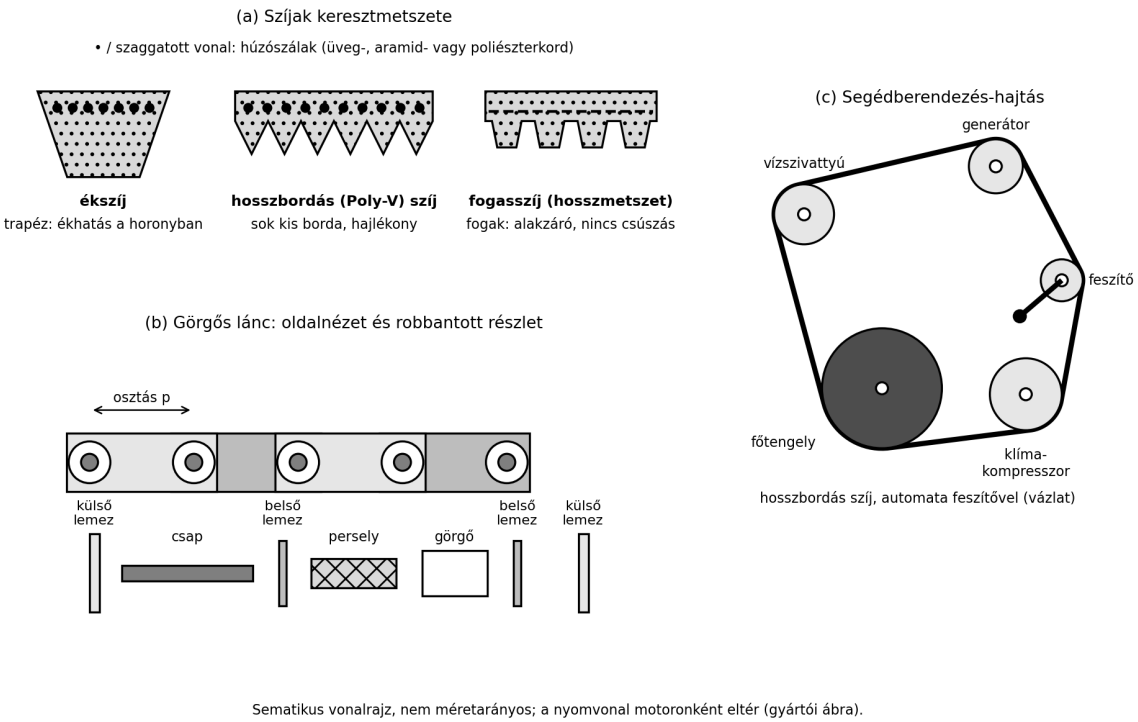
A **dörzshajtás** két, egymáshoz szorított tárcsa közötti súrlódással viszi át a forgást. Előnye az egyszerű felépítés és a túlterheléskor fellépő megcsúszás (ami védi a hajtást), hátránya a nagy tengelyterhelés és a jelentős csúszás. Járművekben ma már ritkán található, de elvként meg kell érteni.

A **laposszíj** hajlékony, nagy tengelytáv áthidalására alkalmas, de nagy előfeszítést igényel, és csúszásra hajlamos. Hatásfoka jellemzően 0,95–0,98 (ellenőrizendő: gyártói adat).

Az **ékszíj** trapéz keresztmetszetű; a tárcsa hornyában ékhatás lép fel, ezért azonos előfeszítő erő mellett nagyobb kerületi erőt tud átvinni, mint a laposszíj. A csúszás kisebb, de nem nulla. A járművekben a generátor, a vízszivattyú és a szervopumpa hajtására klasszikusan ékszíjakat használtak. Egy ékszíj több tárcsát is meghajthat, de az áttétel minden tárcsapárra külön számolható.

A **hosszbordás szíj** (bordásszíj, Poly-V típusú) több, kis bordával rendelkezik; hajlékonyabb, mint az ékszíj, ezért kisebb tárcsaátmérőt és nagyobb áttételt tesz lehetővé. A modern személygépkocsikban ez a leggyakoribb segédberendezés-hajtás, gyakran automata feszítővel. A csúszás itt is fellép, de jól beállított feszesség mellett kicsi.

A **fogasszíj** alakzáró hajtás: a szíj belső oldalán fogak vannak, amelyek a tárcsák fogaiba kapcsolódnak. Nincs csúszás, ezért a hajtó és hajtott tengely szöghelyzete pontosan szinkronban marad. Ezért használják vezérműhajtásra, ahol a főtengely és a vezérműtengely helyzete kritikus. Hátránya, hogy a fogasszíj öregszik, és a gyártó által előírt ciklusban cserélni kell (ellenőrizendő: a gyártói karbantartási terv).



10.10. ábra. Szíjak keresztmetszete, a görgős lánc részei és a segédberendezés-hajtás nyomvonala

Az ábra (a) része az ékszíj trapéz, a hosszbordás szíj sokbordás és a fogasszíj fogazott alakját mutatja a húzószálakkal; (b) része a görgős lánc részeit (külső és belső lemez, csap, persely, görgő, osztás p); (c) része egy segédberendezés-hajtás nyomvonalát főtengely-, generátor-, vízszivattyú- és klímakompresszor-tárcsával és automata feszítővel.

Figyelem. A szíjhajtás beállításánál a túlzott előfeszítés megnöveli a csapágyterhelést és a szíj kopását; a túl kicsi előfeszítés csúszást, sípolást, melegedést és a hajtott berendezés nem megfelelő működését okozza.

10.4.4.2. Lánchajtás

A lánchajtás szintén alakzáró: a láncszemek a lánckerék fogaiba kapcsolódnak. Előnye a fogasszíjhoz képest a nagyobb terhelhetőség, a hosszabb élettartam és a kisebb helyigény; hátránya a nagyobb zaj, a kenésigény és a láncnyúlás. Járművekben vezérműhajtásra és egyes segédberendezések hajtására használják. A láncnyúlás miatt feszítőelemre van szükség; a kopott lánc megnyúlik, és a vezérlés szöghelyzete eltér a névlegestől.

Jellemző lánctípusok: görgős lánc, csendes (fogazott) lánc. A lánckerék fogszáma és a lánc osztása határozza meg az áttételt; a lánchajtás áttétele a fogszámok arányából számítható, mint a fogaskeréknél.

10.4.4.3. Fogaskerékhajtás

A fogaskerékhajtás a legfontosabb alakzáró hajtás. Fogaskerékpár esetén a hajtó és hajtott kerék fogai egymásba kapcsolódnak, és a forgást csúszás nélkül viszik át. Az áttétel a fogszámok aránya:

$$i = \frac{z_{\text{hajtott}}}{z_{\text{hajtó}}}.$$

A fogazat alapvető geometriai jellemzője az **evolvens profil**: a fog oldalfelülete olyan görbe, amely állandó szögsebesség-átvitelt biztosít, és a tengelytáv kis hibáira kevésbé érzékeny. Az evolvens fogazat fogai kapcsolódás közben gördülnek egymáson, ezért a hatásfok igen jó, fogaskerékpáronként jellemzően 0,98–0,99 (ellenőrizendő: gyártói adat).

Fogaskerék-változatok: - **Egyenes fogazat**: a fogak a tengellyel párhuzamosak; egyszerű, de zajos. - **Ferde fogazat**: a fogak a tengellyel szöget zárnak be, a kapcsolódás fokozatosan jön létre, ezért csendesebb és nagyobb terhelhetőségű, de tengelyirányú erőt ébreszt. - **Belső fogazat**: a fogak egy gyűrű belső oldalán vannak; tipikus példa a bolygómű gyűrűkereke. Az áttétel itt is a fogszámok aránya, de a forgásirány megegyező. - **Kúpkerék**: egymást metsző tengelyek között viszi át a forgást, jellemzően 90°-os tengelyirányváltásra. - **Fogasléc**: egyenesbe kiterített fogaskerék; forgó mozgást egyenes vonalú mozgássá alakít, például a kormányműben. - **Csigahajtás**: egy csiga (egy- vagy többbekezdésű csavarorsó) és egy csigakerék kapcsolódik. Nagy áttétel érhető el egy fokozatban: ha a csiga z_1 bekezdésű és a csigakerék z_2 fogú, akkor $i = z_2/z_1$. A csigahajtás önzáró is lehet, de hatásfoka alacsonyabb, jellemzően 0,5–0,9 a bekezdések számától és a kenéstől függően (ellenőrizendő: gyártói adat).

A **bolygómű** speciális fogaskerék-rendszer, amely napkerékből, bolygókerekekből, gyűrűkerékből és bolygókarból áll. Az áttétel attól függ, melyik elem áll, és melyik a hajtó/hajtott. A bolygómű az automata nyomatékváltók és a hibrid hajtások alapja; részletesen a Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó alfejezetben tárgyaljuk.

10.4.4.4. Mechanizmusok előkészítése

A **forgattyús hajtómű** a dugattyús motorok alapja. A forgattyús tengely egyenletes forgása a hajtórúdon keresztül a dugattyú váltakozó irányú egyenes vonalú mozgásává alakul át. A dugattyú lökete a forgattyús sugár kétszerese: $s = 2r$. Ezt használjuk a motor lökettérfogat-számításánál Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás.

A **bütykös hajtás** forgó bütyökprofillal periodikus emelőmozgást hoz létre, például a szelepek nyitására. A bütyökprofil alakja meghatározza a szelepemelés nagyságát és időbeli lefutását; ezt a(z) A töltéscsere vezérlése: vezérlési diagram, szelepek, szelephézag, hidraulikus szelepemelők alfejezetben vizsgáljuk.

10.4.5. Kidolgozott példák

1. példa (ékszíj hajtás, csúszással). Egy személygépkocsi motorjának főtengely-tárcsa átmérője $d_1 = 150\,\text{mm}$, a generátortárcsa átmérője $d_2 = 60\,\text{mm}$. A motor fordulatszáma $n_1 = 3000\,1/\text{min}$. A szíj csúszása $s = 0{,}02$.

Az elméleti áttétel:

$$i_{\text{elm}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{60}{150} = 0{,}4.$$

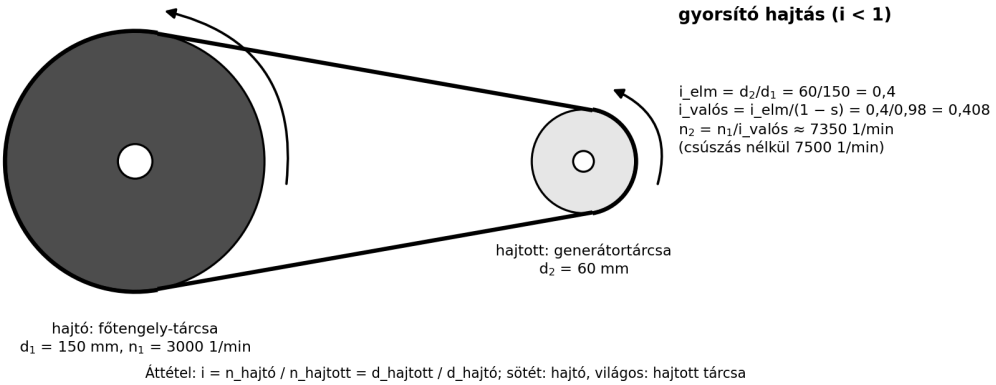
A tényleges áttétel:

$$i_{\text{valós}} = \frac{i_{\text{elm}}}{1-s} = \frac{0{,}4}{1-0{,}02} = \frac{0{,}4}{0{,}98} = 0{,}408.$$

A generátor fordulatszáma:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{\text{valós}}} = \frac{3000}{0{,}408} = 7350\,1/\text{min}.$$

Csúszás nélkül 7500 1/min lenne, tehát a 2%-os csúszás kb. 150 1/min fordulatszám-csökkenést okoz. ∎



10.11. ábra. Az 1. példa szíjhajtása: 150 mm-es főtengely-tárcsa hajtja a 60 mm-es generátortárcsát, gyorsító hajtás

Az ábra az 1. példa állapotát mutatja: a sötét hajtó tárcsa nagyobb, ezért a hajtás gyorsító ($i < 1$), a generátor 7350 1/min-tel forog. A HTML-változatban szíj-, fogaskerék- és kétfokozatú hajtás állítható; a 2. példa (400 1/min, 235 Nm) és a 4. feladat (200 1/min) beállításai is kipróbálhatók.

2. példa (fogaskerékpár, nyomatékmódosítás). Egy hajtómű hajtó fogaskereke $z_1 = 20$ fogú, a hajtott kerék $z_2 = 60$ fogú. A hajtó fordulatszáma $n_1 = 1200\,1/\text{min}$, a hajtó nyomatéka $M_1 = 80\,\text{Nm}$. A hajtás hatásfoka $\eta = 0{,}98$.

Az áttétel:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{60}{20} = 3.$$

A hajtott fordulatszám:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1200}{3} = 400\,1/\text{min}.$$

A hajtott nyomaték:

$$M_2 = M_1\, i\, \eta = 80 \cdot 3 \cdot 0{,}98 = 235\,\text{Nm}.$$

A fogaskerékpár tehát harmadára csökkenti a fordulatszámot, és közel háromszorosára növeli a nyomatékot (a veszteségek miatt kicsit kevésbé). ∎

10.4.6. Minőségellenőrzés

A hajtások ellenőrzésénél a gyártói javítási adat az elsődleges. Az alábbi ellenőrzések tanulási példák (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

- **Szíj feszessége**: a szíjat a két tárcsa között meghatározott erővel benyomva a lehajlást mérik, vagy automata feszítő esetén a feszítő helyzetét jelölésekkel ellenőrzik.
- **Szíj és tárcsák kopása**: repedés, kifényesedés, hiányzó borda, éles tárcsahorony, fogasszíjnál fogkopás.
- **Láncfeszesség**: a lánc megnyúlását a feszítő helyzete vagy a lánc lehajlása mutatja; a kopott láncot és lánckerekeket együtt cserélik.
- **Fogaskerék-hézag**: a fogaskerekek kapcsolódási hézagát hézagmérővel vagy fogaskerék-mérőműszerrel ellenőrzik; a túl nagy hézag zajt, a túl kicsi hézag melegedést okoz.

10.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy autó motortere hidegindítás után éles, csikorgó hangot ad, és a műszerfalon halványan világít az akkumulátor visszajelző. A szerelő megállapítja, hogy a hosszbordás szíj csúszik a generátortárcsán. Ellenőrzi a szíj feszességét: a benyomásra mért lehajlás nagyobb, mint az előírt érték. Megvizsgálja az automata feszítőt: a jelölés a kopott tartományban van. A szíj bordái kifényesedtek, a generátortárcsa hornya enyhén kopott. A szerelő új szíjat és új automata feszítőt szerel be a gyártói előírás szerint, majd járó motornál ellenőrzi, hogy a csikorgás megszűnt-e, és a töltőfeszültség a megadott tartományban van (ellenőrizendő: gyártói érték). A tanulság: a csúszó szíj nemcsak zajt okoz, hanem a generátor alacsonyabb fordulatszáma miatt csökkenti a töltési teljesítményt.

10.4.8. Tipikus hibák

Hiba 1: az áttétel reciprokának használata. Gyakori, hogy valaki az áttételt $i = d_{\text{hajtó}}/d_{\text{hajtott}}$ alakban írja fel, mert a hajtó átmérőt teszi a számlálóba. A járműves gyakorlatban az áttétel a hajtó és hajtott fordulatszám viszonya, ezért $i = d_{\text{hajtott}}/d_{\text{hajtó}}$. Ha a generátortárcsa kisebb, akkor $i < 1$. A hibás felírás ellentétes következtetésre vezet.

Hiba 2: a csúszás elhanyagolása. Szíjhajtásnál a hajtott fordulatszám a csúszás miatt mindig kisebb az elméletinél. Ha valaki a csúszást figyelmen kívül hagyja, a generátor fordulatszámát túlbecsüli, és tévesen ítéli meg a töltési teljesítményt.

Hiba 3: a hatásfok elhagyása a nyomatékszámításnál. A hajtott nyomaték számításánál a veszteségeket is figyelembe kell venni: $M_{\text{hajtott}} = M_{\text{hajtó}} \cdot i \cdot \eta$. A hatásfok elhagyása a ténylegesnél nagyobb nyomatékot ad.

Hiba 4: túlfeszített szíj. A túlzott előfeszítés csökkenti a csúszást, de tönkreteszi a generátor- és a vízszivattyú-csapágyat. A feszességet mindig a gyártói előírás szerint kell beállítani.

10.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a fogasszíj csúszásmentes, ezért alkalmas vezérműhajtásra? Indokold!
2. Egy fogaskerékpár hajtó kereke 25 fogú, a hajtott kerék 75 fogú. Mekkora az áttétel? Lassító vagy gyorsító hajtás?
3. Egy szíjhajtás elméleti áttétele $i_{\text{elm}} = 0{,}5$, a csúszás $s = 0{,}03$. Mekkora a tényleges áttétel?
4. Miért előnyös a hosszbordás szíj a klasszikus ékszíjjal szemben?

5. Mi a különbség a belső fogazat és a külső fogazat között? Hol találkozol belső fogazattal a járműben?
6. Miért alacsonyabb a csigahajtás hatásfoka, mint egy fogaskerékpáré?

10.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld az áttételt, és számold ki egy fogaskerékpár áttételét, ha a hajtó fogaskerék $z_1 = 18$, a hajtott $z_2 = 54$ fogú.

2. feladat (A). Egy ékszíj hajtás hajtó tárcsa átmérője 160 mm, a hajtott tárcsa átmérője 80 mm. Csúszás nélkül számold ki az áttételt, és határozd meg, gyorsító vagy lassító a hajtás.

3. feladat (B). Az 1. feladat fogaskerékpárjának hajtó fordulatszáma $n_1 = 900\,1/\text{min}$, a hajtó nyomatéka $M_1 = 60\,\text{Nm}$, a hatásfok $\eta = 0{,}97$. Számold ki a hajtott fordulatszámot és a hajtott nyomatékot.

4. feladat (B). Egy kétfokozatú hajtómű első fokozatának áttétele $i_1 = 2{,}5$, a másodiké $i_2 = 3$. A bemenő fordulatszám $n_1 = 1500\,1/\text{min}$. Mekkora a kimenő fordulatszám, ha a hatásfokot most együttesen $\eta = 0{,}95$-nek vesszük? (A hatásfok a fordulatszámot nem befolyásolja, csak a nyomatékot.)

5. feladat (C). Egy vezérműhajtásnál miért használnak fogasszíjat vagy láncot ékszíj helyett? Magyarázd el a csúszás és a szöghelyzet szempontjából, és számold ki a vezérműtengely fordulatszámát, ha a főtengely fordulatszáma $2400\,1/\text{min}$, és az áttétel $i = 2$.

6. feladat (D). Ügyfél panasza: a generátor ékszíj hajtása hidegben csikorog, a feszültségjelző lámpa halványan világít. Milyen mérésekkel és ellenőrzésekkel döntöd el, hogy a szíj, a feszítő, a generátor vagy a tárcsák hibásak? Vázold a vizsgálat lépéseit.

10.4.11. Megoldások

10.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A fogasszíj fogai alakzáróan kapcsolódnak a tárcsákhoz, ezért nincs csúszás, így a hajtó és hajtott tengely szöghelyzete szinkronban marad. Ez a vezérműhajtásnál alapvető.
2. $i = z_2/z_1 = 75/25 = 3$. Mivel $i > 1$, lassító hajtás.
3. $i_{\text{valós}} = i_{\text{elm}}/(1 - s) = 0{,}5/(1 - 0{,}03) = 0{,}5/0{,}97 = 0{,}515$.
4. A hosszbordás szíj hajlékonyabb, kisebb tárcsaátmérőt és nagyobb áttételt tesz lehetővé, és több segédberendezést képes egyetlen szíjjal hajtani.
5. A belső fogazatnál a fogak egy gyűrű belső oldalán vannak; tipikus példa a bolygómű gyűrűkereke.
6. A csigahajtásnál a csiga és a csigakerék között jelentős csúszó súrlódás van, ami nagyobb hőveszteséget okoz, mint a fogaskerékpár gördülő kapcsolódása.

10.4.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A). Az áttétel a hajtó és hajtott fordulatszám viszonya. Fogaskerékpárra: $i = z_{\text{hajtott}}/z_{\text{hajtó}} = 54/18 = 3$. Lassító hajtás.

2. feladat (A). $i = d_{\text{hajtott}}/d_{\text{hajtó}} = 80/160 = 0{,}5$. Mivel $i < 1$, gyorsító hajtás.

3. feladat (B). $i = 3$, $n_2 = n_1/i = 900/3 = 300\,1/\text{min}$. A hajtott nyomaték: $M_2 = M_1 \cdot i \cdot \eta = 60 \cdot 3 \cdot 0{,}97 = 174{,}6\,\text{Nm} \approx 175\,\text{Nm}$.

4. feladat (B). Az összes áttétel: $i_{\text{össz}} = i_1 \cdot i_2 = 2{,}5 \cdot 3 = 7{,}5$. A kimenő fordulatszám: $n_{\text{ki}} = n_{\text{be}}/i_{\text{össz}} = 1500/7{,}5 = 200\,1/\text{min}$. A hatásfok a nyomatékot csökkenti, de a fordulatszámot nem befolyásolja, ezért a kimenő fordulatszám $200\,1/\text{min}$.

5. feladat (C). Az ékszíj csúszása miatt a hajtó és hajtott tengely szöghelyzete nem marad pontosan szinkronban, ami a vezérműtengelynél a szelepvezérlés időzítését elrontaná. A fogasszíj és a lánc alakzáró hajtás, ezért csúszásmentes, így a főtengely és a vezérműtengely közötti szöghelyzet állandó. A vezérműtengely fordulatszáma: $n_{\text{vezérmű}} = n_{\text{főtengely}}/i = 2400/2 = 1200\,1/\text{min}$.

6. feladat (D). Vizsgálati lépések: (1) szemrevételezés: a szíj repedése, kifényesedése, a tárcsák kopása; (2) a szíj feszességének ellenőrzése a gyártói módszerrel; (3) az automata feszítő helyzetének ellenőrzése; (4) a generátor szabad forgásának és csapágyának ellenőrzése; (5) járó motornál a töltőfeszültség mérése; (6) ha a feszesség és a tárcsák rendben vannak, de a generátor nem tölt megfelelően, a generátor villamos ellenőrzése. A diagnózis alapján cserélhető a szíj, a feszítő, a generátor vagy a tárcsák.

10.4.12. Rövid összefoglaló

A hajtások a járműben a forgást és a nyomatékot viszik át egyik tengelyről a másikra. A hajtás áttétele a hajtó és hajtott fordulatszám viszonya: $i = n_{\text{hajtó}}/n_{\text{hajtott}}$, fogaskeréknél $i = z_{\text{hajtott}}/z_{\text{hajtó}}$, szíjnál $i = d_{\text{hajtott}}/d_{\text{hajtó}}$. A hajtott nyomaték $M_{\text{hajtott}} = M_{\text{hajtó}} \cdot i \cdot \eta$, ahol η a hatásfok. Szíjhajtásnál a csúszás miatt a tényleges áttétel $i_{\text{valós}} = i_{\text{elm}}/(1 - s)$. A dörzs-, lapos- és ékszíj hajtások erőzáróak, csúsznak; a fogasszíj, a lánc és a fogaskerék alakzáróak, csúszásmentesek. A fogasszíj és a lánc ezért alkalmas vezérműhajtásra, mert a főtengely és a vezérműtengely szöghelyzete pontosan szinkronban marad. A fogaskerék evolvens profilja állandó szögsebesség-átvitelt ad; a ferde fogazat csendesebb, a belső fogazat a bolygóművekben, a kúpkerék tengelyirányváltásra, a fogasléc egyenes mozgásra, a csigahajtás nagy áttételre szolgál. A forgattyús hajtómű és a bütykös hajtás a motor mechanizmusainak alapja. **Továbbvitt eredmény.** Az áttétel, a hajtott nyomaték és a csúszás számítását használjuk a Rugók, lengéscsillapítók, csövek és csőszerelvények, a Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje és a Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű tárgyalásánál; a hajtásfajták kiválasztási szempontjai a vezérműhajtás diagnosztikájában is visszatérnek.

10.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a fizikai és gépészeti alapelvekből (áttétel, csúszás, hatásfok) építkezik; ezek stabil tudás. A konkrét hatásfoktartományok, szíj- és lánctípusok, valamint a gyártói beállítási értékek (előfeszítés, lehajlás, csereperiódus, hézag) tanulási példák, és a gyártói javítási adatokkal, illetve a vonatkozó szabványokkal ellenőrizendők. A járműkategóriák és a vezérműhajtás áttétele szintén ellenőrizendő a konkrét típusra. A felsorolt forrástípusok: MSZT szabványok, ISO szabványok (fogaskerekek, szíjhajtások), gyártói javítási utasítások és tankönyvi ábrák.

10.5. Rugók, lengéscsillapítók, csövek és csőszerelvények

10.5.1. Motiváció

A műhelyben az autószerelő gyakran találkozik rugóval, lengéscsillapítóval és csővel. A futóműrugó cseréjekor meg kell érteni, miért és hogyan tárolja a rugó az energiát, milyen karakterisztikájú alkatrészt kap a jármű, és miért kell a lengéscsillapítónak a rugóval együtt dolgoznia. A fékcső vagy az üzemanyagcső javításakor pedig a csőkötés kiválasztása dönt a tömítettségről

és a közlekedésbiztonságról: egy rosszul kivitelezett peremezés vagy egy rosszul kiválasztott roppantógyűrű a legjobb esetben csöpögést, rosszabb esetben féknyomás-vesztést, tüzet vagy környezetszennyezést okoz. Ez az alfejezet ezeket a gépelemeket alapozza meg, amelyeket később a futómű rugózásánál is felhasználunk.

10.5.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hagyományos acél csavarrugót a futóműben. A kerékről érkező ütés összenyomja a rugót: a rugó átmenetileg mechanikai energiát tárol, majd visszaadja azt. Ha a rugó egymagában lenne, a tömeg sokáig lengene, mert a rugóban tárolt energia alig disszipálódna. A lengéscsillapító (teleszkópos, olajat fojtásszelepeken, dugattyúkon keresztül átpréselő elem) a lengésből hőt csinál, ezért a kerék hamar visszatér a nyugalmi helyzetbe. Minden futóműben van tehát egy energiatároló (rugó) és egy energiát hővé alakító (lengéscsillapító) egység.

10.5.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **rugómerevség** vagy **rugóállandó** az erő és az alakváltozás hányadosa. Ha lineáris a rugó, a C (vagy k) merevséget a következő összefüggés adja:

$$C = \frac{F}{f},$$

ahol F a rugóra ható erő, f pedig az erő irányában mért behajlás (alakváltozás). A merevség SI-mértékegysége N/m, de a járműgyakorlatban gyakran N/mm. Az átszámítás: $1\,\mathrm{N/mm} = 1000\,\mathrm{N/m}$.

Definíció. A **rugókarakterisztika** a rugóerő és a behajlás közötti függvénykapcsolat. A leggyakoribb karakterisztikák: **lineáris** (az erő az alakváltozással arányos), **progresszív** (a merevség a behajlás növekedésével nő), **degresszív** (a merevség a behajlással csökken). A járművek futóműrugójánál a progresszív karakterisztika komfortot és terhelésérzékenységet is ad.

Definíció. A **sajátfrekvencia** (önlengési frekvencia) az a frekvencia, amellyel egy csillapítatlan vagy alulcsillapított mechanikai rendszer magára hagyva leng. Egyszabadságfokú, csillapítás nélküli tömeg–rugó rendszerre:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}},$$

ahol m a rezgő tömeg, C a rugómerevség. A sajátfrekvenciát a futómű hangolásakor az emberi test érzékenysége miatt is figyelembe kell venni.

Definíció. A **csillapítási tényező** (d) a csillapítóerő és a dugattyúsebesség hányadosa: $F_\mathrm{d} = d \cdot v$, mértékegysége $\mathrm{N \cdot s/m}$. A **kritikus csillapítás** az az érték, amelynél a rendszer éppen nem leng túl, hanem a lehető leggyorsabban visszatér a nyugalmi állapotba. A kritikus csillapítási tényező:

$$d_c = 2\sqrt{C\,m}.$$

A **csillapítási fok** $\zeta = d/d_\mathrm{c}$. Személyautó-futműveknél a csillapítási fok jellemzően a kritikusnál jóval kisebb (kb. 0,2–0,4 – ellenőrizendő: szakirodalom), így a karosszéria egy-két kis túllengés után megnyugszik; a kritikus csillapítás túl kemény futóművet adna, amely az útegyenetlenségeket közvetlenül továbbítaná.

10.5.4. Felépítés és működés

10.5.4.1. Rugók fajtái és anyagai

A rugók feladata a járműben: az ütések és rezgések rugalmas felvétele, a kerék talajjal való érintkezésének fenntartása, továbbá adott esetben erővel kapcsolatos visszahúzás vagy nyitás (pl. fékpofa-visszahúzó rugó, szeleprugó). A rugó mindig rugalmasan alakváltozik, és az alakváltozáskor tárolt energiát elengedve visszatér eredeti alakjába, feltéve, hogy nem léptük túl a rugalmassági határt.

- **Hengeres (csavar) nyomórugók**: a leggyakoribb futómű- és szeleprugók. Huzalból csavart spirális alak, a menetek összenyomáskor közelítenek egymáshoz. A végek általában köszörültek, hogy merőleges felfekvő felületet adjanak.
- **Húzórugók**: a menetek vége úgy van kialakítva (horog, szem), hogy húzásra dolgozzon. Például a dob fékpofáinak visszahúzó rugója.
- **Kúpos vagy progresszív rugók**: a menetátmérő változó, így a karakterisztika progresszív lesz. A futóműben hamarabb összenyomódnak a lágyabb részek, majd a kisebb átmérőjű, merevebb részek.
- **Hajlított rugók**: ide soroljuk a **laprugókat** (haszonjárműveken, pótkocsikon) és a **spirálrugókat**. A laprugó több acéllapból áll, a lapok egymáson csúsznak, ezért saját csillapításuk is van. Régi járműveken gyakori, ma már elsősorban haszonjárműveknél.
- **Torziós rugók**: csavarásra dolgoznak, például stabilizátorrúd (keresztstabilizátor), illetve régi futómű.

A rugóanyagok jellemzően **rugóacélok**, amelyek magas széntartalmú, szilíciummal vagy krómmal ötvözött acélok. A pontos összetételt és hőkezelést a szabvány rögzíti (pl. EN 10089 – ellenőrizendő: pontos szabványszám és osztályok). A rozsdamentes rugók korrózióállóbbak. A rugó felületi hibája, korróziós göbre vagy hajszálrepedése miatt a rugó hirtelen törhet, ezért a rugófelületet tisztán, korróziótól védve kell tartani.

10.5.4.2. Rugókarakterisztika és rugómunka

Lineáris rugónál a merevség minden behajlásnál ugyanakkora. Ekkor a rugóban tárolt energia (rugómunka) **W** a behajlás és az erő szorzatának fele:

$$W = \frac{1}{2} F f = \frac{1}{2} C f^2.$$

Ez azért van így, mert az erő az alakváltozás közben fokozatosan, nulláról F-re nő, tehát az átlagos erő $F/2$. A járműrugónál a statikus terhelésből adódó energia a lassú, a dinamikus lengésből származó energia pedig a gyors terhelés alatt tárolódik. Ha a rugó nem lineáris, a karakterisztikát görbeként ábrázoljuk, és a munka a görbe alatti terület.

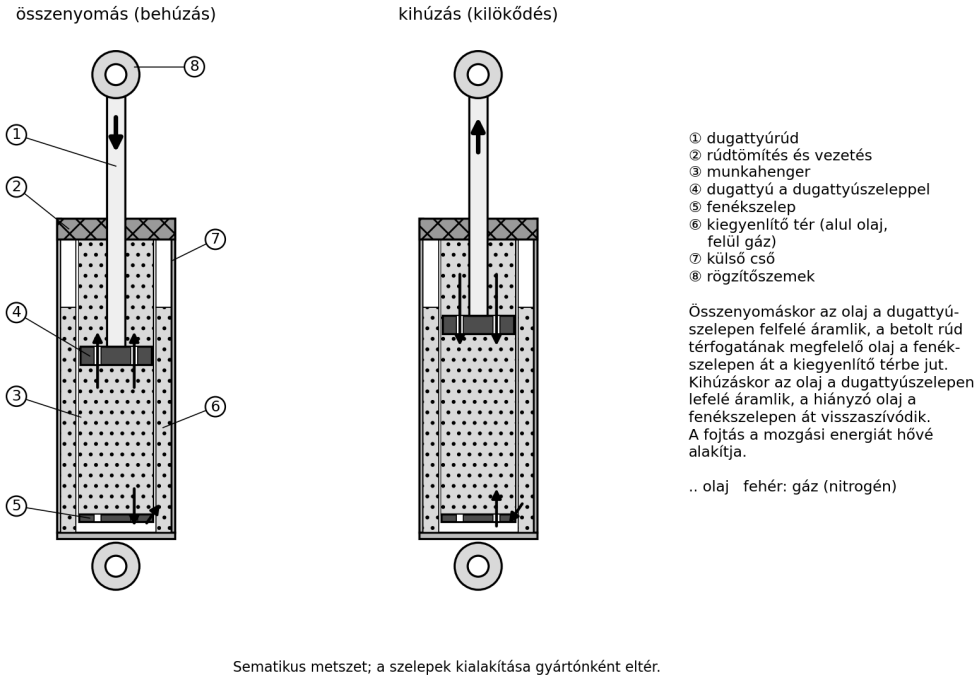
A progresszív rugó előnye, hogy kis terhelésnél lágy (komfortos), nagyobb terhelésnél vagy nagyobb behajlásnál merevedik, így elkerülhető a gyakori ütközés a beütőütközőig. A degresszív rugó ritkább, de például a kúpos tányérrugóknál (Belleville-tányérok) fordul elő.

10.5.4.3. Egyszerű lengőrendszer és lengéscsillapítók

Egy járműkerék felfüggesztését modellezhetjük tömeg–rugó–csillapító rendszerként. A **sajátfrekvencia** a tömeggel és a merevséggel kifejezve adódik. Ha a rugómerevség túl nagy, a

sajátfrekvencia magas, a futómű kemény; ha túl kicsi, a sajátfrekvencia alacsony, a jármű „hintázik”. A csillapítás a lengés amplitúdóját csökkenti; ha a csillapítás kisebb a kritikusnál, a tömeg túlleng, ha nagyobb, a rendszer lassan, de túllengés nélkül tér vissza.

A **lengéscsillapító** (teleszkópos lengéscsillapító) működése: a dugattyúrúd mozgásakor a hengerben lévő olajat kis keresztmetszetű fojtásokon és szelepeken kényszerítik át. A fojtás energiát von el a mozgástól, és azt hővé alakítja. A teleszkópos lengéscsillapítónak van **behúzási** és **kilökődési** iránya; a csillapítóerő sebességfüggő. A **gáznyomásos** lengéscsillapítóban a folyadékra gáz (jellemzően nitrogén) nyomást ad, ami megakadályozza az olaj habzását. A **szintszabályozós légrugó** vagy hidraulikus futómű ennél bonyolultabb; ezeket a későbbi alfejezet tárgyalja.



10.12. ábra. Kétcsöves teleszkópos lengéscsillapító metszete az olaj útjával összenyomáskor és kihúzáskor

Az ábrán összenyomáskor az olaj a dugattyúszelepen felfelé áramlik, és a betolt dugattyúrúd térfogatának megfelelő olaj a fenékszelepen át a kiegyenlítő térbe jut; kihúzáskor az olaj a dugattyúszelepen lefelé áramlik, a hiányzó olaj a fenékszelepen át visszaszívódik. A kiegyenlítő tér felső részében gázpárna van.

10.5.4.4. Csövek, csőszerelvények, szelepek és tartályok

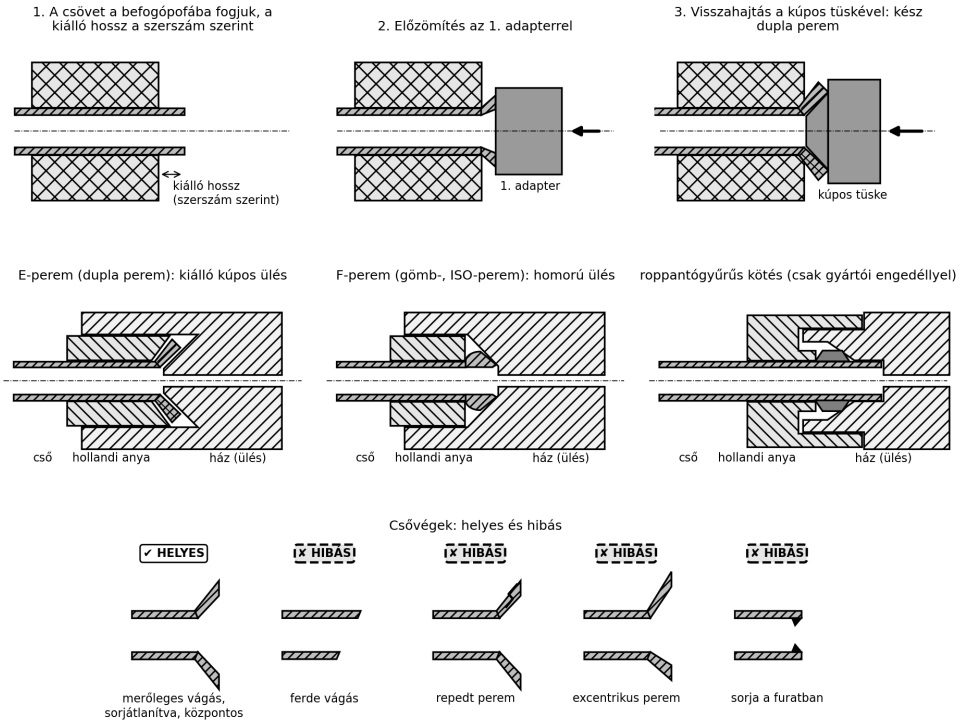
A járműben különböző közegek áramlanak csövekben: fékfolyadék, üzemanyag, hűtőfolyadék, motorolaj, szervo folyadék, klímahűtőközeg, légrugó levegő, kipufogógáz, AdBlue. A cső anyagát a közeg, a nyomás, a hőmérséklet és a rezgés határozza meg.

- **Acél csövek**: alkalmasak nagy nyomásra és magas hőmérsékletre, de korrózióra hajlamosak. A fékrendszerben jellemzően acél (réz-bundolt vagy rozsdamentes) csövek, az üzemanyagrendszerben is acélcsövet használnak. A fékcső jellemző külső átmérője 4,75 mm vagy 6,0 mm, a falvastagság 0,7 mm körüli (ellenőrizendő: típusfüggő). A csővégek **peremezettek** (európai járműveken jellemzően F- (ISO-, gömb-) vagy E-perem – ellenőrizendő:

DIN 74234 / ISO 4038 és a gyártói adat) és hollandi anyával csatlakoznak a fékhengerhez vagy főfékhengerhez.

- **Rézcső** (valójában réz-nikkel ötvözet): nagyon jól hajlítható, korrózióálló, ezért a fék- és üzemanyagcsöveknél a javítási gyakorlatban kedvelt. Hajlításkor nem reped, de a nyomás tűrése kisebb az acélnál, ezért a gyártói előírás betartása kötelező.
- **Műanyag csövek** (PA, PTFE, nylon): üzemanyag, AdBlue, pneumatika. Könnyű, ellenáll sok közegnek, de mechanikai védelemre szorul.
- **Gumi, elasztomer csövek**: hűtő, üzemanyag, fékpuhacsövek (flexibilis fékcsőtömlők, a fékrendszer jóváhagyásának részeként – ellenőrizendő: ECE R13-H, ISO 3996). Rögzítésük, bilincseik, kötéseik az öregedés miatt gyakran cserére szorulnak.

A **csőkötések** kiválasztása a cső anyaga, a közeg és a nyomás szerint történik. A hidraulikus fékrendszerben a gyári csővégek peremezettek, kúpos ülékbe hollandi anyával csatlakoznak; a roppantógyűrűs kötés pneumatikus és kisnyomású rendszerekben használatos, hidraulikus fékcsövön csak akkor, ha a gyártó kifejezetten engedélyezi. A két kötéstípus: - **Peremes (kiemelkedő dupla perem) kötés**: a csővéget cél-szerszámmal (peremezőszerszám) kétszeresen visszahajtják, így kúpos ülékhez illeszkedik a hollandi anyával. Európai járműveken a fékcsővégek jellemzően F- (ISO-, gömb-) vagy E-peremesek (ellenőrizendő: DIN 74234 és a gyártói adat); egyszeres perem hidraulikus fékrendszerben nem használható. A peremezés előtt a csővég leélezése, a peremezőszerszám előírás szerinti használata kötelező. - **Roppantógyűrűs kötés**: a gyűrű a csőre csúszik, az anya meghúzásakor a gyűrű beleroppan a csőbe és a kúpos ülékbe, így fémtömítést ad. A csővágásnak merőlegesnek kell lennie, a csövet nem szabad elfordulni. Személygépkocsi fékrendszerében javításként nem szokásos (ellenőrizendő: a hazai műszaki vizsga gyakorlata); a gyári javítócsövek előre peremezve érkeznek.



Európai fékcsővégek jellemzően F- vagy E-peremesek (ellenőrizendő: DIN 74234, gyártói adat); egyszeres perem hidraulikus fékhez nem használható; roppantógyűrű fékcsőhöz csak a gyártó engedélyével. Sematikus metszet, a falvastagság eltúlozva.

10.13. ábra. Fékcső-peremezés: a dupla perem kialakítása, E- és F-perem, roppantógyűrűs kötés metszete, helyes és hibás csővégek

Az ábra felső sora a dupla perem kialakítását mutatja (befogás, előzömítés, visszahajtás), a középső sor a kész E- (dupla) és F- (gömb-) perem, valamint a roppantógyűrűs kötés metszetét, az alsó sor a helyes és a hibás csővégeket. A peremtípus és a meghúzási nyomaték gyártói adat (ellenőrizendő); egyszeres perem hidraulikus fékrendszerben nem használható, roppantógyűrűs kötés fékcsőhöz csak a gyártó engedélyével.

Az **üzemanyag- és AdBlue-csöveknél** VDA gyorscsatlakozókat, karos vagy bajonettzáras csatlakozókat, illetve hőre zsugorodó tömlővégeket használnak. A csatlakozót csak a megfelelő célszerszámmal szabad oldani, mert a műanyag reteszek eltörhetnek. A **pneumatikus rendszerekben** (pl. keréknyomás-állítás, légrugó) roppantógyűrűs vagy csavaros csavarkötések, továbbá gyorscsatlakozó idomok jellemzőek.

A csövek **felfüggesztése** rezgésálló kialakítású legyen. A rögzítő bilincsnek, gumibaknak mereven kell tartania a csövet, de el kell kerülni a kifáradást okozó hajlító rezgéseket. A csővezetékeket a gyártói nyomvonalon, megfelelő távolságban kell elhelyezni, a hőforrásoktól és mozgó alkatrészektől védve.

Szelepek, csapok, tartályok. A légfékrendszerben a levegőt **légtartályok** tárolják. A tartályon **biztonsági szelep** van (túlnyomás ellen), **leeresztő csap** (kondenzvíz eltávolítására), **visszacsapó szelep** (a kompresszor felőli ágban). A **gömbcsap** villás karral nyitható-zárható, a **tömszelence** a csaporsónál megakadályozza a szivárgást. A klímarendszerben a kompresszor oldalán nagynyomású, az elpárolgó oldalán kisnyomású oldal, a tartályos szárító és a kondenzátor alkotja a rendszert. A **nyomástartó edények** (légtartály, klímakomponensek, CNG/LPG palack) külön minősítési és időszakos nyomáspróba-alá esnek (ellenőrizendő: hatályos közlekedési és nyomástartó edény szabályozás).

10.5.5. Kidolgozott példák

1. példa (egyszerű rugómerevség és behajlás).

Adott egy futóműrugó, amelynek merevsége $C = 45\,\mathrm{N/mm}$. A rugóra az adott kerék statikus terhelése $F = 3{,}2\,\mathrm{kN}$. Mennyi a statikus behajlás?

- Adott: $C = 45\,\mathrm{N/mm} = 45\,000\,\mathrm{N/m}$; $F = 3{,}2\,\mathrm{kN} = 3200\,\mathrm{N}$.
- Keresett: f.
- Képlet: $f = F/C$.
- Behelyettesítés: $f = \frac{3200\,\mathrm{N}}{45\,000\,\mathrm{N/m}} = 0{,}0711\,\mathrm{m} = 71{,}1\,\mathrm{mm}$.
- Ellenőrzés: a 71 mm behajlás reális egy autó futóműrugónál; ha a tömeg 320 kg körül van kerékenként, a merevség 45 N/mm ilyen értéket ad. ∎

2. példa (csavarrugó merevségének közelítő számítása).

Egy hengeres csavarrugó huzalátmérője $d = 12\,\mathrm{mm}$, közepes menetátmérője $D_m = 90\,\mathrm{mm}$, aktív menetszáma $n = 6$. A rugó anyagának nyírási modulusa $G = 80\,000\,\mathrm{MPa}$. Számítsa ki a rugó merevségét!

- Adott: $d = 12\,\mathrm{mm}$, $D_m = 90\,\mathrm{mm}$, $n = 6$, $G = 80\,000\,\mathrm{MPa} = 80\,000\,\mathrm{N/mm^2}$.
- Képlet: $C = \dfrac{G\,d^4}{8\,D_m^3\,n}$.

- Behelyettesítés:

$$C = \frac{80\,000\,\mathrm{N/mm^2} \cdot (12\,\mathrm{mm})^4}{8 \cdot (90\,\mathrm{mm})^3 \cdot 6} = \frac{80\,000 \cdot 20\,736}{8 \cdot 729\,000 \cdot 6}.$$

  A számláló: $80\,000\,\mathrm{N/mm^2} \cdot 20\,736\,\mathrm{mm^4} = 1{,}659 \cdot 10^9\,\mathrm{N \cdot mm^2}$; a nevező: $8 \cdot 729\,000\,\mathrm{mm^3} \cdot 6 = 3{,}499 \cdot 10^7\,\mathrm{mm^3}$.

$$C = \frac{1{,}659 \cdot 10^9}{3{,}499 \cdot 10^7}\,\mathrm{N/mm} \approx 47{,}4\,\mathrm{N/mm}.$$

- Ellenőrzés: a 47 N/mm merevség nagyságrendileg beleillik a járműrugók tartományába. ∎

3. példa (nyomás alatti cső falvastagsága).

Egy fékrendszerben az üzemi nyomás maximuma $p = 120\,\mathrm{bar}$. A fékcső külső átmérője $D = 6\,\mathrm{mm}$. Az anyagra megengedett feszültség $\sigma_{\mathrm{meg}} = 150\,\mathrm{MPa}$. Legalább mekkora legyen a cső falvastagsága?

- Adott: $p = 120\,\mathrm{bar} = 12\,\mathrm{MPa}$; $D = 6\,\mathrm{mm}$; $\sigma_{\mathrm{meg}} = 150\,\mathrm{MPa}$.
- Képlet (kerek vékonyfalú cső, Barlow-formula közelítés): $s = \dfrac{p\,D}{2\,\sigma_{\mathrm{meg}}}$.
- Behelyettesítés:

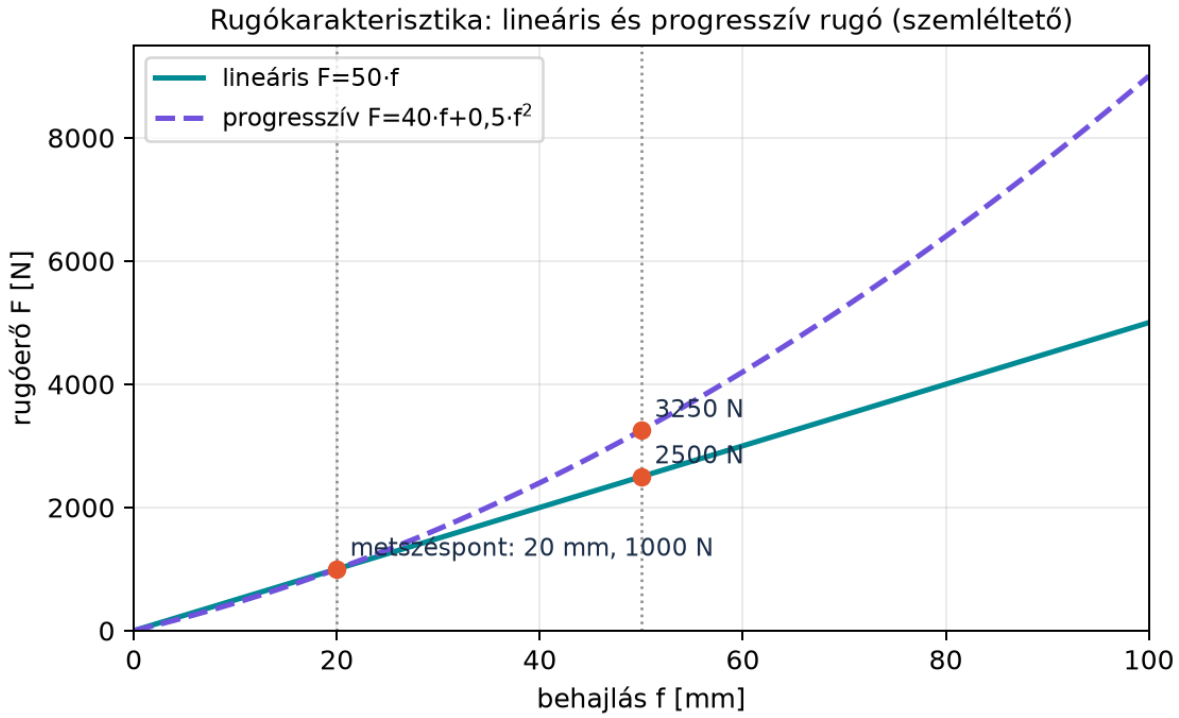
$$s = \frac{12\,\mathrm{MPa} \cdot 6\,\mathrm{mm}}{2 \cdot 150\,\mathrm{MPa}} = \frac{72}{300}\,\mathrm{mm} = 0{,}24\,\mathrm{mm}.$$

- Ellenőrzés: a minimális elméleti falvastagság 0,24 mm, de a gyakorlatban 0,7 mm körüli falvastagságot használnak a korrózió, a hajlítás és a vibráció miatt (ellenőrizendő: a járműgyártó adata). A példa mutatja, hogy a nyomás túlélése önmagában nem elég, a mechanikai igénybevétel és a szerelés is falvastagságot követel. ∎

A fenti számítások mind azt mutatják, hogy a rugó- és csőméretezésnél az egyszerű összefüggések jó becslést adnak, de a járműipari kiválasztásnál a gyártói előírás és a típusvizsgálat a döntő.

10.5.6. Rugókarakterisztika és lengés szemléltetése

Az alábbi diagram egy lineáris és egy progresszív rugó erő–behajlás görbéjét mutatja 0 és 100 mm behajlás között. A lineáris karakterisztikánál a merevség állandó, a progresszívnél a nagyobb behajlásnál az erő meredekebben nő. A járműfutóműveknél a progresszív rugó kis behajlásnál komfortos, nagyobb behajlásnál stabilabb.



10.14. ábra. Rugókarakterisztika: lineáris és progresszív rugó (szemléltető) - Példaképletekből számított, nem mérési adat. A lineáris: F=50*f, a progresszív: F=40*f+0,5*f^2, ahol f (mm) és F (N).

A görbe azt mutatja, hogy 50 mm behajlásnál a lineáris erő 2500 N, míg a progresszív erő $40 \cdot 50 + 0{,}5 \cdot 2500 = 2000 + 1250 = 3250$ N; tehát 50 mm-nél a progresszív rugó ad nagyobb erőt, mert a nagyobb behajlás felé merevedik. A két görbe 20 mm-nél (1000 N) metszi egymást: ez alatt a progresszív rugó lágyabb (komfort), fölötte merevebb. A sajátfrekvencia és a csillapítás vizsgálatakor a karakterisztikát a munkaponti merevséggel közelítjük; a munkapont a statikus behajlás.

10.5.7. Minőségellenőrzés

A rugókat és lengéscsillapítókat rendszeresen ellenőrizni kell:

- **Rugóhossz és rugóülő**: a rugó szabad hosszát, a menetek egyenletességét, a horpadásokat, karcokat, korróziós göbreket nézd meg. A repedt rugó **nem javítható**, ki kell cserélni.
- **Lengéscsillapító vizsgálat**: műhelyben a kerek lenyomásakor a csillapító hatását nézzük; a lengéscsillapító szivárgását, a rúdkorróziót, a rögzítő gumi szemeket. A műszaki vizsgán lengéscsillapító-próbapad is előfordul (ellenőrizendő: hatósági módszer).
- **Csővezetékek**: a fékcső korrózióját (különösen a műanyag bevonat sérülése mögött), a csőkötések tömítettségét, a hajlítási sugarakat, a rögzítő bilincseket ellenőrizni. A fékcsövet soha nem szabad kalapáccsal kiegyengetni, ha sérült, cserélni kell.
- **Nyomáspróba**: a légfékrendszernél a tartály nyomás alatt tartását, a biztonsági szelep működését, a csatlakozók szivárgását kell vizsgálni. A légtartály leeresztő csapjából naponta le kell engedni a kondenzvizet.
- **Klímarendszer**: a nagynyomású oldal próbanyomása a típustól függ; a nyomáspróbát csak megfelelő F-gáz végzettséggel szabad végezni (ellenőrizendő: hatályos F-gáz szabályozás).

10.5.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszkodja, hogy a jármű jobb eleje „süppedős”, kanyarban bizonytalan, és a műszaki vizsgán megbukott lengéscsillapításra. A műhelyben a járművet emelőre emelik, lekötik az akkumulátort, majd a futóművet átvizsgálják. A járművet a gyártói emelési pontokon felemelik, és műhelyi járműemelőn mechanikusan reteszelik vagy bakra támasztják. A jobb első rugó egyik menete törött, a lengéscsillapító olajos, a rúd korrodált. A törött rugó miatt a statikus behajlás megnőtt, a munkapont eltolódott, és a sajátfrekvencia is megváltozott. A rossz lengéscsillapító nem disszipálta a lengést, ezért a kerék pattogott.

A javítás során a gyártói előírás szerint a rugót és a lengéscsillapítót párban (ugyanazon tengelyen mindkét oldalt) cserélik. A rugóült a típusnak megfelelő, a csillapító felső és alsó csavarjait új önzáró anyával, a gyártói nyomatékkal húzzák meg (ellenőrizendő: pontos nyomaték). A beépítés után a járművet lemérték, a kerékdőlést és az utánfutást ellenőrizték. A próbaút során a lengés megszűnt, a fék- és kormányrendszer is megfelelt.

Figyelem. A rugóstag rugója beépítve is előfeszített, nagy energiát tárol (például 3,2 kN rugóerőnél és 70 mm összenyomásnál $W = \tfrac{1}{2} F f \approx 110\,\mathrm{J}$ – tanulási becslés). A felső rögzítőanyát csak a gyártó által előírt, ép, a rugóhoz illő rugóösszehúzóval összenyomott rugónál szabad oldani; a pofák a rugómenetekre átlósan, teljes felfekvéssel kerüljenek, ütvecsavarozó az összehúzón tilos; a rugó síkjában senki ne álljon. Sérült, korrodált rugót összehúzó nélkül tilos bontani (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

10.5.9. Gyakorlati útmutató – csőjavítási ellenőrzőlista

Bár ez az alfejezet a gépelemeket tárgyalja, a praktikus ellenőrzés a műhelyben fontos. A csőjavításhoz tartozó általános lépések:

Biztonsági korlát. A bemutatott lépések tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkoznak. A fékrendszeren végzett munka biztonsági rendszer, csak előírás szerint végezhető.

1. Azonosítsd a járművet, a cső anyagát, átmérőjét, a csővégek típusát a gyártói dokumentáció alapján.
2. Készítsd elő a rendszert a bontásra (fékrendszernél a pedált pedálrögzítővel enyhén lenyomva rögzítsd, hogy bontáskor kevesebb fékfolyadék follyon ki; klímánál a hűtőközeget F-gáz-képesítéssel, lefejtő állomással nyerd vissza).
3. A sérült csőszakaszt jelöld meg, a gyártói előírás szerint bontsd a csatlakozókat és rögzítéseket.
4. Az új csövet hajlítsd megfelelő hajlítószerszámmal, ne kézzel törd; a hajlítási sugár a cső átmérőjének legalább 3–5-szöröse legyen (ellenőrizendő: gyártói előírás).
5. A csővégeket készítsd elő: vágd merőlegesen, sorjázd le, tisztítsd meg; a peremezést célszerszámmal végezd (roppantógyűrűt fékcsőhöz csak a gyártó engedélyével).
6. Szereld be a csövet, a csatlakozókat a gyártói nyomatékkal húzd meg.
7. Légtelenítsd a rendszert a gyártói sorrend szerint (fékrendszer).
8. Ellenőrizd a tömítettséget nyomáspróbával, töröld szárazra a csatlakozókat, és nézd meg, hogy nincs-e szivárgás.
9. Dokumentáld a munkát, a csere alkatrészeket és a nyomatékokat.

Figyelem. Fékcsövet **tilos** házilag javítani roppantógyűrűvel akkor, ha a gyártó peremezett csövet ír elő. A helytelen csőkötés féknyomás-vesztést és balesetet okozhat.

Környezetvédelem. A leeresztett fékfolyadék, a csőtisztító oldószer, a sérült cső és a gumitömlő veszélyes hulladéknak minősülhet. A fékfolyadék soha nem kerülhet a talajba vagy a csatornába; megfelelő, feliratozott tárolóban gyűjtsd.

10.5.10. Tipikus hibák

1. **A rugómerevség és a rugóterhelés összekeverése.** A tanuló azt hiszi, ha a rugó merevsége nagy, akkor nagyobb terhelést bír. Valójában a merevség az erő/alakváltozás arányt adja, nem a maximális terhelést. A teherbírást a megengedett feszültség és a geometria határozza meg.
2. **A rugók egyoldali cseréjének hiánya.** A futóműrugót vagy a lengéscsillapítót gyakran csak a sérült oldalon cserélik, pedig a másik oldal hasonló igénybevételt kapott. A párban történő csere a jármű stabilitásához szükséges.
3. **Hibás csőperemezés.** A csővéget nem sorjázzák le vagy nem pontosan merőlegesen vágják, ezért a perem reped vagy nem fekszik fel teljesen a kúpos ülékre. A kész peremet mindig vizuálisan ellenőrizni kell, és tömítettség-próbát kell végezni.
4. **Nem megfelelő csőkötés kiválasztása.** A fékrendszerben a roppantógyűrűs kötést rosszul használják, ha a peremezett cső előírt. A roppantógyűrű nem biztosítja a gyárilag előírt biztonságot, és szivárgáshoz vezethet.

10.5.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a rugómerevség az erő és az alakváltozás hányadosa? Indokold!
2. Egy rugóra $F = 2400\,\mathrm{N}$ erő hat, behajlása $f = 40\,\mathrm{mm}$. Mennyi a rugó merevsége N/mm és N/m egységben?
3. Mi a különbség a lineáris és a progresszív rugókarakterisztika között?
4. Miért van szükség a lengéscsillapítóra a rugó mellett a jármű futóművében?
5. Mi a dupla peremezett csővég előnye a fékrendszerben az egyszerű vágott csővéggel szemben?

10.5.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg egy futóműrugó merevségét, ha $F = 3700\,\mathrm{N}$ terhelésre $f = 55\,\mathrm{mm}$ behajlást mérnek!

2. feladat (A). Egy hengeres csavarrugó huzalátmérője $d = 10\,\mathrm{mm}$, közepes menetátmérője $D_m = 70\,\mathrm{mm}$, aktív menetszáma $n = 5$, nyírási modulusa $G = 80\,000\,\mathrm{MPa}$. Számítsd ki a rugó merevségét!

3. feladat (B). Egy lineáris rugó behajlása $f_1 = 20\,\mathrm{mm}$ erő $F_1 = 800\,\mathrm{N}$ hatására. Mekkora erő kell $f_2 = 60\,\mathrm{mm}$ behajláshoz, és mennyi a rugó munkája a 60 mm behajlás során?

4. feladat (B). Fékrendszerben a maximális nyomás $p = 150\,\mathrm{bar}$. A fékcső külső átmérője $D = 6\,\mathrm{mm}$, megengedett feszültség $\sigma_{\mathrm{meg}} = 160\,\mathrm{MPa}$. Milyen minimális falvastagság adódik a Barlow-közelítés szerint? Hasonlítsd össze a gyakorlatban használt 0,7 mm falvastagsággal, és magyarázd az eltérést!

5. feladat (C). Adott egy tömeg–rugó rendszer merevséggel $C = 50\,000\,\mathrm{N/m}$ és tömeggel $m = 300\,\mathrm{kg}$ (kerékenként). Számítsd ki a csillapítatlan sajátfrekvenciát! Mi történik a sajátfrekvenciával, ha a tömeg 450 kg-ra nő (teljes terhelés)? Indokold!

6. feladat (D). Egy műhelyben az ügyfél fékrendszerének jobb első fékcsövén korróziót találtak. A gyártó 6 mm átmérőjű, dupla peremezett acélcsövet ír elő. A szerelő azt mondja, hogy

roppantógyűrűs kötéssel megjavítja, mert az gyorsabb. Mi a helyes eljárás, és miért? Nevezz meg legalább két biztonsági és tömítettségi szempontot!

10.5.13. Megoldások

10.5.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A rugómerevség definíció szerint $C = F/f$, az erő és az alakváltozás hányadosa. Ez lineáris rugónál állandó.
2. $C = \frac{2400\,\mathrm{N}}{40\,\mathrm{mm}} = 60\,\mathrm{N/mm} = 60\,000\,\mathrm{N/m}$.
3. Lineáris rugónál az erő a behajlással arányos, a merevség állandó. Progresszív rugónál a merevség a behajlás növekedésével nő, így nagyobb behajlásnál nagyobb erőt ad.
4. A rugó tárolja az energiát, de nem disszipálja, ezért a tömeg tartósan lengene. A lengéscsillapító csillapítja a lengést, energiát hővé alakít, így a kerék hamar visszatér a nyugalmi helyzetbe.
5. A dupla peremezett csővég nagy fémfelületet ad a kúpos üléken, egyenletes tömítést biztosít, repedésre kevésbé hajlamos, mint a vágott él. Az egyszerű vágott csővég nem tömít, és kivágódhat.

10.5.13.2. 1. feladat megoldása

- Adott: $F = 3700\,\mathrm{N}$, $f = 55\,\mathrm{mm}$.
- Képlet: $C = F/f$.
- Behelyettesítés: $C = \frac{3700\,\mathrm{N}}{55\,\mathrm{mm}} \approx 67{,}3\,\mathrm{N/mm}$.
- Ellenőrzés: a 67 N/mm reális futóműrugónál. ∎

10.5.13.3. 2. feladat megoldása

- Adott: $d = 10\,\mathrm{mm}$, $D_m = 70\,\mathrm{mm}$, $n = 5$, $G = 80\,000\,\mathrm{MPa} = 80\,000\,\mathrm{N/mm^2}$.
- Képlet: $C = \frac{G\,d^4}{8\,D_m^3\,n}$.
- Számolás:
  $d^4 = 10^4 = 10\,000\ \mathrm{mm^4}$;
  $D_m^3 = 70^3 = 343\,000\ \mathrm{mm^3}$.

$$C = \frac{80\,000 \cdot 10\,000}{8 \cdot 343\,000 \cdot 5} = \frac{800\,000\,000}{13\,720\,000} \approx 58{,}3\,\mathrm{N/mm}.$$

- Ellenőrzés: a merevség a várt tartományban van. ∎

10.5.13.4. 3. feladat megoldása

- Adott: $f_1 = 20\,\text{mm}$, $F_1 = 800\,\text{N}$.
- Képlet: $C = \frac{F_1}{f_1}$; az erő $F_2 = C f_2$; a munka $W = \frac{1}{2} C f_2^2$.
- Merevség: $C = \frac{800\,\text{N}}{20\,\text{mm}} = 40\,\text{N/mm}$.
- Erő: $F_2 = 40\,\text{N/mm} \cdot 60\,\text{mm} = 2400\,\text{N}$.
- Munka: $W = \frac{1}{2} \cdot 40\,\text{N/mm} \cdot (60\,\text{mm})^2 = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 3600\ \text{N mm} = 72\,000\,\text{N mm} = 72\,\text{J}$.
- Ellenőrzés: $1\,\text{N mm} = 0{,}001\,\text{J}$, tehát a munka 72 J. ∎

10.5.13.5. 4. feladat megoldása

- Adott: $p = 150\,\text{bar} = 15\,\text{MPa}$; $D = 6\,\text{mm}$; $\sigma_{\text{meg}} = 160\,\text{MPa}$.
- Képlet: $s = \frac{p\,D}{2\,\sigma_{\text{meg}}}$.
- Behelyettesítés:

$$s = \frac{15\,\text{MPa} \cdot 6\,\text{mm}}{2 \cdot 160\,\text{MPa}} = \frac{90}{320}\,\text{mm} \approx 0{,}281\,\text{mm}.$$

- A gyakorlatban használt 0,7 mm falvastagság ennél jóval nagyobb, mert a csőnek hajlítási, rezgési, korróziós és szerelési igénybevételeket is el kell viselnie. A Barlow-közelítés csak a belső nyomásra ad minimális értéket. ∎

10.5.13.6. 5. feladat megoldása

- Adott: $C = 50\,000\,\text{N/m}$, $m = 300\,\text{kg}$.
- Képlet: $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}}$.
- Behelyettesítés:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{50\,000}{300}} \approx \frac{1}{6{,}283}\sqrt{166{,}7} \approx \frac{12{,}91}{6{,}283} \approx 2{,}05\,\text{Hz}.$$

- Ha $m = 450\,\text{kg}$:

$$f_0' = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{50\,000}{450}} \approx \frac{1}{6{,}283}\sqrt{111{,}1} \approx \frac{10{,}54}{6{,}283} \approx 1{,}68\,\text{Hz}.$$

- A sajátfrekvencia csökken, mert a nagyobb tömeg lassabb lengésre képes. Ezért a jármű terhelés hatására puhábbnak érződik, a futómű behajlása nagyobb. ∎

10.5.13.7. 6. feladat megoldása

A helyes eljárás a gyártói előírás szerinti **dupla peremezett acélcső** használata. A roppantógyűrűs kötés nem helyettesíti a peremezett kialakítást, mert: - A fékrendszerben nagy a nyomás (150 bar), és a roppantógyűrű nem ad olyan megbízható, fáradásálló tömítést, mint a kúpos ülék. - A roppantógyűrű kötésben a cső anyaga befelé horpadhat, ami feszültséggyűjtő helyet képez, és repedéshez vezethet. - A gyártói alkatrész-minősítés (gépjármű fékcső) a peremezett kivitelhez tartozik; a biztonsági rendszeren nem szabad eltérni. - A javítás minőségét és a tömítettséget a gyártói javítási útmutató szerint, nyomáspróbával és vizuális ellenőrzéssel kell ellenőrizni.

10.5.14. Rövid összefoglaló

A rugók a járműben energia tárolására és az ütések rugalmas felvételére szolgálnak. A rugómerevség $C = F/f$, az erő és az alakváltozás hányadosa; a rugókarakterisztika lehet lineáris, progresszív vagy degresszív. A hengeres csavarrugó merevsége a huzalátmérő, a közepes menetátmérő, az aktív menetszám és a nyírási modulus függvénye. A rugó által tárolt munka lineáris esetben $W = \frac{1}{2} C f^2$. A csillapítatlan tömeg–rugó rendszer sajátfrekvenciája $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{C/m}$; a lengéscsillapító ezt a lengést csillapítja, energiát disszipál. A jármű csövei (fékcső, üzemanyagcső, hűtő-, klímacső) acélból, rézből, műanyagból vagy gumiból készülnek. A fékrendszerben a peremezett (dupla perem) csővég a jellemző, a roppantógyűrűs kötés csak ott használható, ahol a gyártó előírja. A csőfalvastagság a belső nyomás mellett a mechanikai és korróziós hatások miatt nagyobb. A tartályok, szelepek és csapok (légtartály, biztonsági szelep, visszacsapó) a nyomástartó rendszerek része. **Továbbvitt eredmény.** A rugókarakterisztika és a lengőrendszer ismeretét a Rugózás és lengéscsillapítás alfejezetben használjuk fel, ahol a futómű rugó és lengéscsillapító rendszerét részletesen tárgyaljuk.

10.5.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben felhasznált fizikai, mechanikai összefüggések a klasszikus rugó- és szilárdságtani alapokon nyugszanak. Az alábbi pontok ellenőrzést igényelnek a kiadás előtt: - A rugóanyagok szabványjelölése (pl. EN 10089) és hőkezelési előírásai. - A fékcső átmérőkre és falvastagságra vonatkozó gyártói/típus adatok. - A peremezett csővég (dupla perem) és a roppantógyűrű alkalmazhatóságának konkrét gyártói előírásai. - A nyomástartó edényekre és a légfékrendszerre vonatkozó hatályos közlekedési és munkavédelmi előírások. - A lengéscsillapító-próbapad hatósági követelményei. - Az F-gáz rendelet (klímaberendezések) hatályos tanúsítványi és nyilvántartási előírásai.

IV. RÉSZ – Elektrotechnika, elektronika és villamos mérések

11 Villamos alapfogalmak és egyenáramú hálózatok

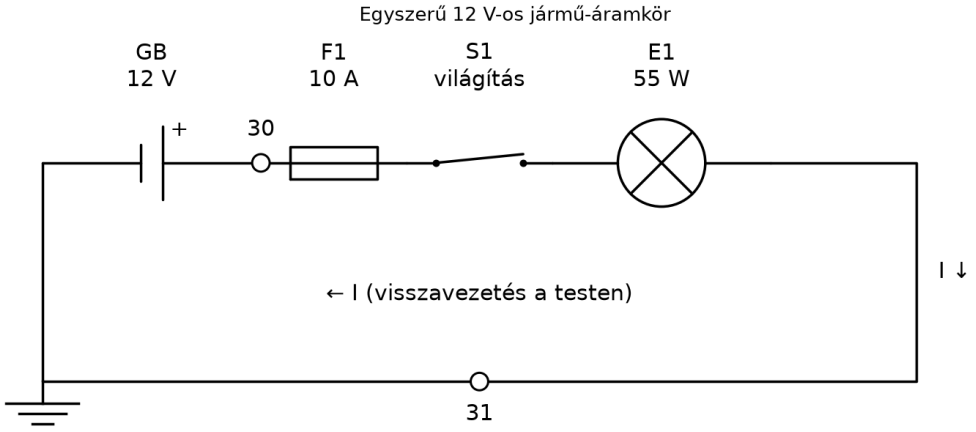
11.1. Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok

11.1.1. Motiváció: miért a villamos alapfogalmakkal kezdünk?

A műhelyben minden hibakeresés villamos alapmennyiségekkel dolgozik: a tompított fény halvány, az ülésfűtés nem melegít, az indítómotor lassan forgat, a biztosíték kiolvad. Ilyenkor feszültséget, áramot, ellenállást és teljesítményt mérünk vagy számolunk. Ha ezeket rosszul értelmezzük, félrevezethetjük magunkat. Ez az alfejezet az egyenáramú járműhálózat legfontosabb törvényét, az Ohm-törvényt és az energia-, valamint teljesítményszámításokat alapozza meg, amelyekre később a hálózatszámítás, az akkumulátor és a generátor diagnosztikája épül.

11.1.2. Szemléletes kép: egy tompított fény áramköre

Képzeljünk el egy egyszerű 12 V-os jármű-áramkört: egy akkumulátor, egy biztosíték, egy világításkapcsoló és egy 55 W-os izzó. A vezetékek rézből készülnek, a visszavezetés a karosszériatesten és rögzített testpontokon keresztül történik. Amikor a kapcsoló zár, a töltéshordozók rendezett áramlása jön létre az áramkörben.



11.1. ábra. Egyszerű 12 V-os jármű-áramkör - Elvi oktatórajz; az S1 kapcsoló működtetett (zárt) állapotban rajzolva, a nyíl a hagyományos áramirány. A kapcsoló zárt állapotában az áram a pozitív kapocstól a biztosítékon, kapcsolón és izzón át a test felé folyik. A kapocsjelölések (30/31) gyártói rajz szerint ellenőrizendők.

Az ábrán balról jobbra az akkumulátor, az F1 biztosíték, az S1 kapcsoló és az E1 izzó látható. Az alsó ág a jármű testpontja. A DIN 72552 szerinti gyakorlatban a 30-as kapocs az akkumulátor

közvetlen pozitív oldala, a 31-es a test/negatív oldal **(ellenőrizendő: gyártói rajz)**. A kapcsoló zárt állapotában az áram a pozitív kapocstól a fogyasztón át a test felé folyik; a fizikában a hagyományos áramirányt használjuk, vagyis úgy vesszük, hogy a pozitív töltéshordozók mozognak, noha a fémekben ténylegesen az elektronok vándorolnak ellentétes irányban.

11.1.3. Villamos alapfogalmak: töltés, feszültség, áram

Definíció. Az elektromos töltés az anyagok egyik alapvető tulajdonsága; mértékegysége a coulomb, jele C. Az elektron töltése negatív, nagysága

$$e \approx 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}.$$

Az atommagban lévő proton pozitív töltésű, az elektronhéjban lévő elektron negatív. A fémekben a vegyértékelektronok gyengén kötöttek, ezért külső elektromos tér hatására elmozdulhatnak: ezek a szabad töltéshordozók. A szigetelőanyagokban a töltéshordozók erősen kötöttek, ezért az áram nem, vagy alig tud folyni.

Definíció. A villamos feszültség két pont között a potenciálkülönbség: megadja, mennyi munkát végez a villamos tér egységnyi töltésen, miközben azt az egyik pontból a másikba mozgatja. Jele U, mértékegysége a volt:

$$1\,\mathrm{V} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}.$$

A gyakorlatban a feszültséget gyakran „elektromos nyomásnak” is mondják: a vízanalógiában a vízszintkülönbségnek felel meg. A járművön az akkumulátor névleges feszültsége 12 V, de a generátor töltése miatt járó motornál ez jellemzően 13,5–14,5 V lehet **(ellenőrizendő: járműtípus és gyártói érték)**.

Definíció. Az áramerősség a vezető keresztmetszetén időegység alatt átáramló töltés mennyisége. Jele I, mértékegysége az amper:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

ahol ΔQ az átáramló töltés coulombban, Δt az idő másodpercben. Az 1 A azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt 1 C töltés halad át.

Az áram hatásai a járművillamosságban:

- **Hőhatás:** az izzószál felizzik, az ülésfűtés melegít, de a rossz csatlakozó is melegszik.
- **Mágneses hatás:** a relé, az indítómotor, a generátor és a befecskendező mágnesszelepek működnek.
- **Kémiai hatás:** az akkumulátor töltésekor és kisütésekor kémiai átalakulás zajlik.
- **Élettani hatás:** nagyobb feszültségen áramütés; ezt a 12 V-os hálózaton kívül elsősorban a nagyfeszültségű hibrid/elektromos rendszereknél kell komolyan venni.

11.1.4. Ellenállás, vezetés és az Ohm-törvény

Definíció. A villamos ellenállás az anyag azon tulajdonsága, hogy akadályozza a töltéshordozók áramlását. Jele R, mértékegysége az ohm:

$$1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}.$$

A vezetés az ellenállás reciproka, jele G, mértékegysége a siemens:

$$G = \frac{1}{R}.$$

Fémes vezetőre állandó hőmérsékleten érvényes az **Ohm-törvény**:

$$U = I \cdot R,$$

amelyből

$$I = \frac{U}{R}, \qquad R = \frac{U}{I}.$$

Összefüggés. Az Ohm-törvény azt fejezi ki, hogy adott ellenálláson a feszültség és az áramerősség egyenesen arányos. A $R = U/I$ alakot mérésre is használjuk: ha a fogyasztón U feszültséget mérünk, és a körben I áram folyik, a kettő hányadosa a fogyasztó üzemi ellenállása.

Megjegyzés. A járműhálózatban a feszültség nem mindig pontosan 12 V. A fényszóró izzójának teljesítményét is a tényleges kapocsfeszültség határozza meg, ezért a gyártói katalógusokban a teljesítmény mellett a mérési feszültséget is feltüntetik **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.

11.1.5. Anyagi tényezők: fajlagos ellenállás és hőmérsékletfüggés

A vezető ellenállása az anyagától, hosszától és keresztmetszetétől függ:

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

ahol ρ a fajlagos ellenállás, l a vezeték hossza méterben, A a keresztmetszet négyzetméterben.

Anyag	Fajlagos ellenállás ρ ($\Omega \cdot \mathrm{m}$)	Jellemző jármű-alkalmazás
Réz (Cu)	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$	vezetékek, tekercsek
Alumínium (Al)	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$	nagyobb keresztmetszetű kábelek
Sárgaréz	$6 \cdot 10^{-8}$	csatlakozók, kapcsok
Acél	$2 \cdot 10^{-7}$	testpontok, kötőelemek

Az értékek szobahőmérsékleti, kerekített anyagjellemzők; tervezéshez a katalógusadat a mérvadó.

A járművezetékeknél a keresztmetszetet mm^2-ben adjuk meg, ezért át kell váltani:

$$1\,\mathrm{mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2.$$

A fémek ellenállása a hőmérséklet növekedésével általában nő, mert a melegedő rácsban az iontörzsek erősebb rezgése akadályozza az elektronok mozgását. A változás kis hőmérséklet-tartományban lineárisan közelíthető:

$$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)],$$

ahol R_0 a T_0 alaphőmérséklethez tartozó ellenállás, α pedig a hőmérsékleti tényező. Rézre $\alpha \approx 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$ jellemző. Ez a járműgyakorlatban fontos: egy 25 K hőmérséklet-emelkedés a réz ellenállását körülbelül 10%-kal növeli.

NTC/PTC előkészítés. A fémek, így a réz, PTC-jellegűek: melegedésre ellenállásuk nő. Ezzel szemben egyes félvezető kerámiák, például a jármű hűtőfolyadék-hőmérséklet-jeladójában használt NTC-termisztorok ellenállása melegedésre csökken. Ezt a későbbi érzékelős alfejezetek használják fel.

11.1.6. Villamos munka, teljesítmény és hatásfok

Definíció. A villamos munka az áram által végzett energiaátadás. Ha egy fogyasztón U feszültség hat, és t időn át I áram folyik, akkor a munka

$$W = U \cdot I \cdot t.$$

Mértékegysége a joule:

$$1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{W} \cdot \mathrm{s}.$$

A járműgyakorlatban gyakran wattórában számolunk:

$$1\,\mathrm{Wh} = 3600\,\mathrm{J}.$$

Definíció. A villamos teljesítmény az időegység alatt végzett munka:

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I.$$

Mértékegysége a watt. Ohm-törvény felhasználásával további két alakot kapunk:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}.$$

A $P = I^2 R$ alak a gyakorlatban a vezetékeken és csatlakozókon keletkező hőveszteség számításához hasznos: ugyanaz az áram a nagyobb ellenállású, korrodált csatlakozón több hőt fejleszt.

Definíció. A hatásfok a hasznos és a felvett teljesítmény hányadosa:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{hasznos}}}{P_{\mathrm{felvett}}}.$$

Százalékban kifejezve: $\eta_{\%} = \eta \cdot 100$. A járművillamos rendszerben nem minden fogyasztó célja a fény vagy a mechanikai munka; például az ülésfűtésnél a hő a hasznos energia, ezért a hatásfokot mindig az adott fogyasztó feladatához képest értelmezzük.

Figyelem. A 12 V-os járműhálózat feszültsége önmagában általában nem életveszélyes, de rövidzárlat esetén a kis belső ellenállású akkumulátor több száz ampert is leadhat. Ez súlyos égési sérülést, tüzet és akkumulátor-robbanást okozhat. A biztosíték, a kábelkeresztmetszet és a csatlakozó a gyártói előírás szerinti védelmi lánc.

Továbbvitt eredmény. Az áramköri feszültség a soros részeken úgy oszlik meg, hogy a forrásfeszültség a vezeték-, csatlakozó- és fogyasztó-ellenállások feszültségeinek összege. Ezt az összegzési szabályt és az $U = I \cdot R$, valamint $P = U \cdot I$ összefüggéseket a Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás alfejezet fejleszti tovább hálózatszámítási módszerekké.

11.1.7. Kidolgozott példák

11.1.7.1. 1. példa: tompított fény izzójának árama és ellenállása

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $P = 55\,\mathrm{W}$.
Keresett: az izzó áramfelvétele és üzemi ellenállása.
Számítás:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{55\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 4{,}58\,\mathrm{A}.$$

Az üzemi ellenállás:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\,\mathrm{V}}{4{,}58\,\mathrm{A}} \approx 2{,}62\,\Omega.$$

Ellenőrzés: $P = I^2 R = 4{,}58^2 \cdot 2{,}62 \approx 55\,\mathrm{W}$, tehát a számítás konzisztens. ∎

11.1.7.2. 2. példa: ülésfűtés teljesítménye, árama és energiája

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $P = 120\,\mathrm{W}$, üzemidő $t = 45\,\mathrm{min} = 0{,}75\,\mathrm{h}$.
Keresett: a felvett áram és a fogyasztott energia.
Számítás:

$$I = \frac{120\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 10\,\mathrm{A}.$$

$$W = P \cdot t = 120\,\mathrm{W} \cdot 0{,}75\,\mathrm{h} = 90\,\mathrm{Wh}.$$

Ellenőrzés: a 90 Wh azonos $324\,000\,\mathrm{J}$ energiával: $90 \cdot 3600$. Az áram nagyságrendje 10 A, ami egy 15 A-es biztosítékot indokol. ∎

11.1.7.3. 3. példa: vezeték ellenállása és feszültségesése

Adott: egy 12 V-os fényszóró áramkör, amelynél feltesszük, hogy a fogyasztó külön testvezetékkel csatlakozik a testponthoz (sok modern járműben így van), ezért a pozitív és a testvezeték hosszát is számoljuk: összesen $l = 6\,\mathrm{m}$, keresztmetszete $A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2$, anyaga réz, $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\,\Omega \cdot \mathrm{m}$. Az izzó árama $I = 4{,}58\,\mathrm{A}$.
Keresett: a vezeték ellenállása és a rajta eső feszültség.

Számítás: először a keresztmetszetet váltjuk át:

$$A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2 = 1{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2.$$

$$R_{\text{vezeték}} = \rho \frac{l}{A} = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\,\Omega \cdot \mathrm{m} \cdot \frac{6\,\mathrm{m}}{1{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2} \approx 0{,}068\,\Omega.$$

A feszültségesés:

$$U_{\text{esés}} = I \cdot R_{\text{vezeték}} = 4{,}58\,\mathrm{A} \cdot 0{,}068\,\Omega \approx 0{,}31\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a 0,31 V a 12 V-nak körülbelül 2,6%-a. Ez még elfogadható, de rossz csatlakozóval soros plusz ellenállás esetén gyorsan nő. ∎

11.1.7.4. 4. példa – ellenpélda: a hideg izzószál csapdája

Egy tanuló a kiépített 55 W-os izzót ellenállásmérővel méri, és $0{,}25\,\Omega$ értéket kap (a mérőzsinórok ellenállását levonva). Kiszámolja:

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{0{,}25\,\Omega} = 48\,\mathrm{A},$$

és arra következtet, hogy az izzó zárlatos. Ez hibás következtetés: a hideg wolframszál ellenállása sokkal kisebb, mint az izzó üzemi hőmérsékletén (a hideg és üzemi ellenállás aránya wolframszálnál kb. 10-szeres, tanulási becslés). A bekapcsolás pillanatában valóban nagy áramlökés lehet, de a szál azonnal felizzik, ellenállása megnő, és az áram beáll az üzemi 4,58 A körüli értékre. A hideg ellenállás tehát nem használható az üzemi teljesítmény ellenőrzésére.

11.1.8. Minőségellenőrzés

A műhelyi mérésnél a következőket érdemes ellenőrizni:

- A feszültségmérést párhuzamosan, a fogyasztó kapcsaira kötött multiméterrel végezzük; az árammérést sorosan vagy lakatfogóval.
- Az ellenállásmérést mindig feszültségmentes áramkörön, lehetőleg a vizsgált alkatrész legalább egy kivezetésének leválasztásával végezzük; a párhuzamosan kötött más fogyasztók meghamisítják az eredményt.
- Kis ellenállás mérésekor a mérőzsinórok ellenállását (összeérintett tüskékkel mért érték) levonjuk.
- A számított értékeket nagyságrendileg ellenőrizzük: 12 V-os hálózaton egy 50–60 W-os fogyasztó árama néhány amper, nem tíz- vagy több száz amper.

- Feszültségesést úgy mérünk, hogy a fogyasztó be van kapcsolva, mert csak terhelés alatt folyik áram.
- A mért hálózati feszültség és a fogyasztó adattáblája alapján számított áram tájékoztató jellegű; az adott járművön a tényleges üzemi feszültség eltérhet **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.

11.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: a jobb oldali tompított fény jelentősen halványabb, mint a bal oldali.

Tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás: a műhelyben először rátekintünk az izzóra, mert az egyszerű okokkal érdemes kezdeni. Az izzó nem feketedett el, ezért mérünk. Az akkumulátor feszültsége 12,3 V. A bal oldali izzó kapcsán 11,8 V, a jobb oldalin csak 11,0 V mérhető. Az 55 W-os izzó üzemi ellenállása körülbelül 2,62 Ω, ezért a jobb oldali izzó árama:

$$I = \frac{11{,}0\,\mathrm{V}}{2{,}62\,\Omega} \approx 4{,}20\,\mathrm{A}.$$

A jobb oldali izzó tényleges teljesítménye:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{11{,}0^2}{2{,}62} \approx 46{,}2\,\mathrm{W}.$$

A névleges 55 W-hoz képest ez körülbelül 16%-os teljesítménycsökkenés, ami jól látható fényerőkülönbséget okoz. A feszültségesés a plusz ágon 0,5 V, a testponton 0,8 V. A korrodált testcsavar és a szorult csatlakozó soros ellenállása

$$R_{\mathrm{hiba}} \approx \frac{1{,}3\,\mathrm{V}}{4{,}2\,\mathrm{A}} \approx 0{,}31\,\Omega.$$

A hibás részt megtisztítjuk, a testpontot csiszoljuk, majd a csatlakozást újra meghúzzuk. Az ellenőrző mérés után az izzón 12,1 V mérhető, a feszültségesés a testponton 0,1 V alá csökken. A fényszóró visszaáll a várt fényerőre.

11.1.10. Tipikus hibák

Hiba 1: ellenállásmérés feszültség alatt. Az ellenállásmérő a saját belső áramát használja, ezért feszültség alatt hibás értéket adhat, és a műszer is károsodhat. Mindig feszültségmentesítsünk, mielőtt ellenállást mérünk.

Hiba 2: hideg izzó ellenállásából következtetés az üzemi áramra. A hideg ellenállásból számított áram irreálisan nagy, és zárlatnak tűnhet. Az izzószál hőmérsékletfüggése erős, ezért az üzemi ellenállást a névleges teljesítményből vagy meleg állapotban végzett mérésből becsüljük.

Hiba 3: csak az egyik irány hosszával számolunk. Ha a fogyasztó külön testvezetéket kap, annak hossza is az áramkör része, és az egyik irány elhanyagolásával körülbelül felére becsüljük a vezetékellenállást és a feszültségesést. Karosszéria-visszavezetésnél a testkábel és a testpont átmeneti ellenállása számít – ezt mutatja a Valós esetben mért testponti feszültségesés.

Hiba 4: a 12 V-ot merev értéknek tekintjük. A motor leállítva a hálózati feszültség lehet 12 V körüli, járó motornál a töltőfeszültség ennél magasabb. A teljesítmény- és áramszámításnál mindig a mért, tényleges kapocsfeszültséget használjuk.

11.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A rézvezeték ellenállása a hőmérséklet emelkedésével csökken.

2. Igaz vagy hamis? A 12 V-os járműhálózat feszültsége nem életveszélyes, ezért az akkumulátor kivezetéseit nyugodtan rövidre zárhatjuk.

3. Egy 12 V-os fogyasztó 4 A-t vesz fel. Mennyi az ellenállása és a teljesítménye?

4. Miért nő meg a feszültségesés a korrodált csatlakozón?

5. Hiba a leírásban: „A 0,75 mm² keresztmetszetű, 10 m hosszú rézvezeték ellenállása 0,002 Ω, ezért 20 A áramnál csak 0,04 V feszültséget ejt.” Számolja ki a helyes értéket.

11.1.12. Feladatok

1. feladat (A)
Definiálja a villamos feszültséget és az áramerősséget, és adja meg a mértékegységeiket.

2. feladat (A)
Egy 12 V-os járműizzó teljesítménye 60 W. Számítsa ki az áramfelvételét és az üzemi ellenállását. Ellenőrizze a teljesítményt a $P = I^2R$ összefüggéssel.

3. feladat (B)
Egy fényszóró áramköre 50 W-ot fogyaszt 12 V-on. A vezeték rézből készült, keresztmetszete $2{,}5\,\mathrm{mm}^2$, a pozitív és a külön testvezeték együttes hossza (oda-vissza) 14 m. Számítsa ki a vezeték ellenállását, a rajta eső feszültséget és az izzóra jutó feszültséget. A réz fajlagos ellenállása $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\,\Omega \cdot \mathrm{m}$.

4. feladat (B)
Egy hátsóablak-fűtés teljesítménye 150 W, a hálózati feszültség 12 V. Mekkora a fűtőszál árama? Mennyi energiát fogyaszt 30 perc alatt? Ha egy csatlakozó átmeneti ellenállása 0,15 Ω, mekkora az azon keletkező hőteljesítmény?

5. feladat (C)
Egy réztekercs ellenállása 20 °C-on 0,60 Ω. Üzem közben 85 °C-ra melegszik. Számítsa ki az üzemi ellenállását és a feszültségesését 8 A áramnál. A réz hőmérsékleti tényezője $\alpha = 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$. Magyarázza meg, miért fontos ez a járművillamos rendszerben.

6. feladat (D)
Egy ködlámpa névleges értéke 24 W / 12 V. Az izzó halványan világít. Méréskor az akkufeszültség 12,4 V, az izzó kapcsain 10,8 V mérhető. Számítsa ki az izzó üzemi ellenállását, a valós áramot, a feszültségesést és a hibás csatlakozó/vezeték-szakasz ellenállását. Milyen javítást javasol, és milyen mérési értéket vár a javítás után?

11.1.13. Megoldások

11.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A fémek, így a réz, melegedésre növelik ellenállásukat: PTC-jellegűek.

2. Hamis. A rövidre zárás veszélyes: hatalmas áram, tűz, égés, akkumulátor-károsodás lehet.

3. $R = 12\,\mathrm{V}/4\,\mathrm{A} = 3\,\Omega$; $P = 12\,\mathrm{V} \cdot 4\,\mathrm{A} = 48\,\mathrm{W}$.

4. A korrózió szűkíti a vezető keresztmetszetet és/vagy növeli az átmeneti ellenállást; adott áramnál a $U = I \cdot R$ szerint a feszültségesés nő.

5. $A = 0{,}75 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2$; $R = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{10}{0{,}75 \cdot 10^{-6}} \approx 0{,}227\,\Omega$; $U = 20 \cdot 0{,}227 = 4{,}53\,\mathrm{V}$. A leírás értékei hibásak.

11.1.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A feszültség két pont közötti potenciálkülönbség, amely megadja, hogy a villamos tér egységnyi töltésen mennyi munkát végez; mértékegysége a volt (V). Az áramerősség a vezető keresztmetszetén időegység alatt átáramló töltés; mértékegysége az amper (A).

2. feladat (A)

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 5\,\mathrm{A}.$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\,\mathrm{V}}{5\,\mathrm{A}} = 2{,}4\,\Omega.$$

Ellenőrzés:

$$P = I^2 R = 5^2 \cdot 2{,}4 = 60\,\mathrm{W}.$$

3. feladat (B)
Áramerősség:

$$I = \frac{50\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} \approx 4{,}17\,\mathrm{A}.$$

Keresztmetszet:

$$A = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2.$$

Vezeték-ellenállás:

$$R_{\text{vezeték}} = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{14\,\mathrm{m}}{2{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2} \approx 0{,}095\,\Omega.$$

Feszültségesés a vezetéken:

$$U_{\text{esés}} = I \cdot R_{\text{vezeték}} = 4{,}17 \cdot 0{,}095 \approx 0{,}40\,\mathrm{V}.$$

Az izzóra $12 - 0{,}40 = 11{,}6\,\mathrm{V}$ jut.

4. feladat (B)
Áram:

$$I = \frac{150\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 12{,}5\,\mathrm{A}.$$

Energia 30 perc, azaz 0,5 h alatt:

$$W = 150\,\mathrm{W} \cdot 0{,}5\,\mathrm{h} = 75\,\mathrm{Wh}.$$

A csatlakozó hőteljesítménye:

$$P_{\text{veszteség}} = I^2 \cdot R = 12{,}5^2 \cdot 0{,}15 = 23{,}4\,\mathrm{W}.$$

5. feladat (C)

$$R_{85} = 0{,}60\,[1 + 0{,}0039 \cdot (85 - 20)] = 0{,}60\,[1 + 0{,}2535] \approx 0{,}752\,\Omega.$$

Feszültségesés 8 A-nél:

$$U = I \cdot R = 8 \cdot 0{,}752 \approx 6{,}02\,\mathrm{V}.$$

A melegedés növeli a tekercs ellenállását, ezért csökkenhet az áram, és nő a veszteségi feszültség. A járművillamos rendszerben a melegedő motor- vagy fűtőköri vezetékeken a feszültségesés nagyobb lehet, mint hidegen.

6. feladat (D)
Az izzó üzemi ellenállása:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{12^2}{24} = 6\,\Omega.$$

A mért kapocsfeszültségnél az izzó árama:

$$I_{\text{tényleges}} = \frac{10{,}8\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 1{,}8\,\mathrm{A}.$$

A feszültségesés a vezeték- és csatlakozószakaszon:

$$U_{\text{esés}} = 12{,}4 - 10{,}8 = 1{,}6\,\mathrm{V}.$$

A hibás szakasz ellenállása:

$$R_{\text{hiba}} = \frac{1{,}6\,\mathrm{V}}{1{,}8\,\mathrm{A}} \approx 0{,}89\,\Omega.$$

Ez nagy átmeneti ellenállás: korrodált csatlakozó vagy rossz testpont a valószínű ok. Javítás: csatlakozók tisztítása, a testpont csiszolása, új összeszerelés. Ellenőrzés: az izzón a feszültség közel 12,4 V, a feszültségesés 0,2 V alatt maradjon, és a fényerő térjen vissza.

11.1.14. Rövid összefoglaló

Az elektromos töltés mértékegysége a coulomb; a feszültség (V) a potenciálkülönbség, az áramerősség (A) pedig az időegység alatt átáramló töltés. A fémek szabad elektronjai teszik lehetővé a járműhálózati áramot. Az ellenállás (Ω) az áramlás akadályozása, és a fémes vezetőre adott hőmérsékleten érvényes az Ohm-törvény: $U = I \cdot R$. A vezeték ellenállása $R = \rho l / A$, és a fémek ellenállása melegedésre PTC-jelleggel nő. A villamos munka $W = UIt$, a teljesítmény $P = UI = I^2R = U^2/R$, a hatásfok pedig a hasznos és felvett teljesítmény hányadosa. A 12 V-os rendszer is tűzveszélyes lehet, ezért a biztosítékot és a kábelezést gyártói adatok szerint kell kezelni. **Továbbvitt eredmény:** az Ohm-törvény és a feszültségosztás elve a Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás alfejezetben válik hálózatszámítási módszerré.

11.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: elektrotechnikai szakkönyvek, anyagszerkezeti alapismeretek, járművillamossági gyakorlati útmutatók. Ellenőrizendő: a réz fajlagos ellenállása és hőmérsékleti tényezője, a járműhálózat jellemző feszültségszintjei, a DIN 72552 kapocsjelölés pontos alkalmazása, valamint a konkrét járműhöz tartozó biztosíték- és kábeladatok.

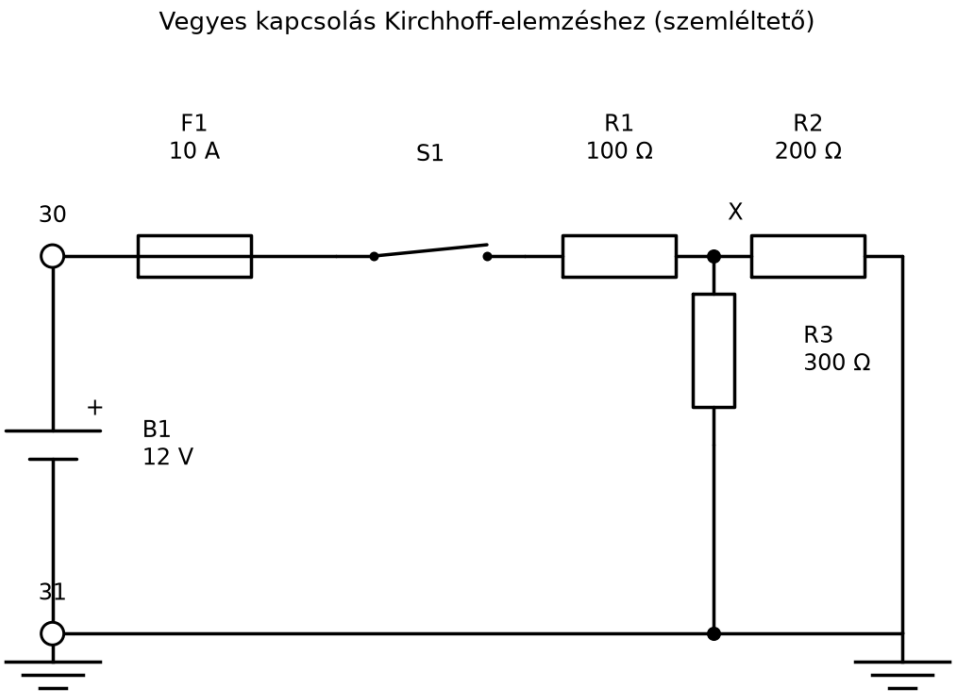
11.2. Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás

11.2.1. Motiváció

Egy dízel jármű hideg reggelen nehezen indul, a műhelyben arra gyanakszunk, hogy az indítórendszerben túl nagy a feszültségesés. Máskor a hűtőfolyadék-hőmérséklet jelzője hideg motornál is magas értéket mutat, pedig a motor nem melegedett túl. Ilyenkor nem elég a feszültség, áram és ellenállás fogalmát ismerni; azt kell pontosan látni, hogyan oszlik meg a feszültség egy áramkörben, és hogyan ágazik el az áram. Ezt tanítják a Kirchhoff-törvények, a soros és párhuzamos kapcsolás eredője, valamint az osztókapcsolások. A hibás csatlakozókon fellépő átmeneti ellenállás jelensége is ezek nélkül érthetetlen marad, pedig a járművillamossági hibák jelentős része itt keletkezik.

11.2.2. Szemléletes kép: a járművillamossági áramkör mint úthálózat

Képzeljük el a fedélzeti hálózatot úgy, mintha egy városi úthálózat lenne: az akkumulátor a szivattyútelep, a vezetékek az utak, a fogyasztók pedig kapuk, amelyek akadályozzák a forgalmat. A csomópontokban az autók nem tűnhetnek el; ahány autó bemegy, annyinak ki is kell jönnie. A zárt körben haladva, bármilyen útvonalon visszatérünk, a szintkülönbségek összege nulla. Ezt a két szabályt fogalmazzák meg villamos mennyiségekkel Kirchhoff törvényei.



11.2. ábra. Vegyes kapcsolás Kirchhoff-elemzéshez (szemléltető) - A rajz tanulási vázlat: U=12 V, R1 soros, R2 és R3 párhuzamosan kapcsolva. Az áramirányok és hurkok a szövegben. Nem gyártói kapcsolási rajz.

Az ábrán az akkumulátor bal oldalon látható, a 30-as kapocs a felső, a 31-es kapocs az alsó sín. A biztosíték, a kapcsoló és az R_1 ellenállás soros ágban van, majd az R_2 és R_3 ellenállás párhuzamosan ágazik el. Az X pont csomópont, ahol az R_1-en átfolyó teljes áram kettéválik: egy része R_2-n, másik része R_3-on folyik tovább, majd a két ág újra egyesül a testsínen. Ezt az áramot számoljuk ki a következőkben.

Definíció. Csomópont: a kapcsolás olyan pontja, ahol legalább három vezeték vagy alkatrész-kivezetés találkozik. A fenti rajzon ilyen az X pont, valamint a 30-as és 31-es sín csatlakozási pontja, ha a testvezetékeket is beleszámítjuk.

Definíció. Hurok: a kapcsolási rajzon kijelölhető, zárt vezetékút, amelyen elindulva ugyanoda jutunk vissza, és egyetlen elemet sem érintünk kétszer.

11.2.3. Kirchhoff törvényei

Összefüggés. Kirchhoff I. (csomóponti) törvénye: egy csomópontban a befolyó és elfolyó áramok algebrai összege nulla:

$$\sum I_{\text{be}} = \sum I_{\text{ki}}$$

Ha a befolyó áramot pozitívnak, az elfolyót negatívnak vesszük, akkor $\sum I = 0$. Ez az elektromos töltésmegmaradás kifejezése: a csomópontban töltés nem halmozódhat fel, nem tűnhet el.

Összefüggés. Kirchhoff II. (huroktörvénye): egy zárt hurokban a feszültségemelkedések és feszültségesések előjeles összege nulla:

$$\sum U_i = 0$$

Ez az energiamegmaradásból következik: ha egy töltésegységet körbeviszünk a hurkon, a teljes elektromos energiaváltozás nulla kell legyen. A gyakorlatban a feszültségforrás által adott feszültség egyenlő a hurkon lévő fogyasztókon eső feszültségek összegével.

A Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok alfejezetben az Ohm-törvényt már használtuk:

$$U = I \cdot R$$

Ezt kapcsoljuk össze a két Kirchhoff-törvénnyel.

Szabály. Vegyes kapcsolás megoldási sorrendje:
1. Keressük meg a tisztán soros és tisztán párhuzamos részeket, és vonjuk össze azokat eredő ellenállássá.
2. Számítsuk ki a teljes áramkört: az akkumulátor-feszültséget osszuk el a teljes eredő ellenállással.
3. Visszafelé haladva bontsuk ki az összevont részeket, számítva az osztóképleteket.
4. Ellenőrizzük a Kirchhoff-törvényekkel, hogy a csomópontban az áramok összege nulla, és a hurokban a feszültségek összege nulla.

11.2.4. Soros és párhuzamos kapcsolás, eredő ellenállás

Definíció. Soros kapcsolás: az elemek azonos áramú hurokban követik egymást, nincs köztük csomópont. Mindegyik elem árama azonos.

Összefüggés. Soros kapcsolás eredője:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

Definíció. Párhuzamos kapcsolás: az alkatrészek mindkét kivezetése közös csomópontokhoz csatlakozik, így az áram szétágazik.

Összefüggés. Párhuzamos kapcsolás eredője, két ellenállásra a gyakorlatban jól használható törtes alak:

$$\frac{1}{R_{\text{eredő}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

amiből

$$R_{\text{eredő}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Több párhuzamos ellenállás esetén a reciprokos képletet kell használni:

$$\frac{1}{R_{\text{eredő}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

11.2.5. Feszültségosztó és áramosztó

Összefüggés. Feszültségosztó (terheletlen soros osztó): ha az U feszültség két sorosan kapcsolt ellenálláson oszlik meg, akkor az R2-n eső feszültség:

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Vagy általánosan, az R_x ellenálláson eső feszültség:

$$U_x = U \cdot \frac{R_x}{\sum R}$$

Összefüggés. Áramosztó: ha az I áram két párhuzamos ellenálláson oszlik meg, akkor az R1 ág árama:

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

és az R2 ág árama:

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Fontos tanulság: a párhuzamos ágak közül a **kisebb ellenállás ágán folyik a nagyobb áram**, mert a szorzatban a másik ág ellenállása szerepel. Ez a gépjármű-villamosságban is megmutatkozik: ha egy fogyasztóval párhuzamosan (pl. nedves, sérült szigetelésen át) kis ellenállású átvezetés keletkezik, azon nagy áram folyik, a közös vezetéken és biztosítékon nő a feszültségesés, ezért a többi fogyasztó is halványabb lesz, vagy kiold a biztosíték.

11.2.6. Wheatstone-híd

Definíció. Wheatstone-híd: két feszültségosztó párhuzamos kapcsolása, ahol a két osztópont közé egy mérőműszer vagy érzékelő kerül. A hidat akkor nevezzük kiegyenlítettnek, ha a két közbülső csomópont feszültsége azonos, ezért a középső ágban nem folyik áram. Ezt az állapotot használják ki például régi huzalos légtömegmérőkben, hőmérséklet-érzékelős hidakban vagy nyúlásmérő bélyeges mérésben.

Összefüggés. Kiegyenlítési feltétel négy hídellenállásra:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Ekkor a híd A és B pontja között a feszültség nulla. Ha az egyik ellenállás megváltozik, a híd kimozdul, és az A-B feszültség eltér nullától. A járműtechnikában a régi huzalos légtömegmérőnél a levegő sebessége hűti a huzalt, megváltoztatja az ellenállását, amely a hídban feszültségváltozást okoz; ezt az értéket dolgozza fel a motorvezérlő. Ma már gyakoribb a digitális jelű légtömegmérő, de a híd elve a mérőhidas érzékelőkben és a feszültségosztós jeladókban tovább él.

11.2.7. Az áram hőhatása

Amikor az áram ellenálláson folyik át, a töltéshordozók ütköznek a rácsszerkezettel, és az elektromos energia hővé alakul. Ezt a Joule-törvény írja le.

Összefüggés. Joule-törvény: az ellenálláson t idő alatt keletkező hő:

$$W = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$$

ha az ellenállás állandó. A teljesítmény:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R$$

Megjegyzés. A régi mértékegység, a kalória átszámítása: $1\,\text{cal} \approx 4{,}19\,\text{J}$ (ellenőrizendő: pontos érték). A járműjavításban leggyakrabban J és W egységet használunk.

Hőterjedés. A keletkező hő három módon távozik: **hővezetéssel** (pl. az izzítógyertya fém teste átadja a hőt a hengerfejnek), **hőáramlással** (pl. a hűtőlevegő elszállítja a hőt a biztosító környezetéből) és **hősugárzással** (pl. az izzószál, az izzítógyertya fűtőspirálja sugároz). A járművillamossági alkatrészek tervezésénél mindhárom tényezőt figyelembe kell venni.

Alkalmazások.
- **Izzítógyertya:** a dízel hidegindításakor a fűtőspirálon átfolyó áram felhevíti a hegyét, ami hidegindításkor segíti a befecskendezett tüzelőanyag párolgását és öngyulladását (a dízelmotorban az öngyulladást a sűrítés hőmérséklete adja, a gyertya nem gyújt). Jellemző árama több amper, teljesítménye típusonként néhány száz W (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Biztosító:** az olvadószál méretezése pontosan a Joule-hőre épül: a névleges áram fölött a szál elolvad, és megszakítja az áramkört, mielőtt a vezeték vagy a fogyasztó károsodna.
- **Fűtés:** ablakfűtés, ülésfűtés, visszapillantó tükör fűtés, dízel üzemanyag-szűrő fűtés, kartergáz-fűtés – mindegyik ellenállásfűtés.

11.2.8. Átmeneti ellenállás és feszültségesés-mérés

Definíció. Átmeneti ellenállás: a csatlakozó, kapocs, biztosítéktartó vagy testpont érintkezési felületén keletkező, a tervezettnél nagyobb ellenállás. Okozhatja oxidáció, fellazult csavar, korrózió, szennyeződés, melegedés miatt visszamaradt lágyulás.

Előírás. A jármű elektromos rendszerén a feszültségeséseket terhelés alatt, a gyártó által megadott határértékek szerint kell ellenőrizni. Példaként: 12 V-os indítókörben a pozitív ágon mért esés jellemzően nem haladhatja meg a 0,5 V értéket, a testoldalon pedig a 0,3 V értéket (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

Szabály. Feszültségesés-mérés elve: a feszültségmérőt mindig a vizsgált szakasz két végére kell kötni, miközben az áramkör terhelt. Ha a mért feszültségesés nagyobb, mint az előírt, az átmeneti ellenállás jelenlétét jelzi, még akkor is, ha ellenállásmérővel kis értéket mérnénk, mert az ellenállásmérés nem hozza létre a valódi terhelő áramot.

Figyelem. Az átmeneti ellenállás melegedést okoz: $P = I^2R$. Nagy áramú körben egy kis ellenállás is jelentős hőt termel, ami tovább rongálja az érintkezést, és akár tüzet is okozhat. A fellazult, megpörkölődött csatlakozót nem szabad csak összehúzni; a sérült csatlakozót a gyártó szerint ki kell cserélni.

Továbbvitt eredmény. A feszültségosztó és az átmeneti ellenállás itt tanult elvét használjuk a Generátorok, belső ellenállás és a szuperpozíció alfejezetben, amikor a generátor belső ellenállását és a kapocsfeszültség-változást vizsgáljuk. A feszültségosztó a diódás és Zener-diódás áramköröknél a Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók, a mérőműszerek feszültségmérő bekötésénél a Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó, valamint a jármű elektromos hálózat áramútjainak kapocsjelöléses elemzésénél a(z) A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz alfejezetben tér vissza.

11.2.9. Kidolgozott példák

11.2.9.1. 1. példa: vegyes kapcsolás eredője, áramai és feszültségei

Adott: az ábrán látható 12 V-os hálózat, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$.
Keresett: az eredő ellenállás, a teljes áram, az egyes ellenállások feszültsége és árama.
Megoldás:

Először: a párhuzamos R2-R3 rész eredője:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60\,000}{500} = 120\,\Omega$$

A teljes eredő R1 soros R23-vel:

$$R_{\text{ö}} = R_1 + R_{23} = 100 + 120 = 220\,\Omega$$

Főáram:

$$I = \frac{U}{R_{\text{ö}}} = \frac{12}{220} = 0{,}0545\,\text{A} = 54{,}5\,\text{mA}$$

R1 feszültsége:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 0{,}0545 \cdot 100 = 5{,}45\,\text{V}$$

A párhuzamos rész feszültsége:

$$U_{23} = U - U_{R1} = 12 - 5{,}45 = 6{,}55\,\text{V}$$

R2 és R3 árama:

$$I_{R2} = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{6{,}55}{200} = 0{,}0328\,\text{A} = 32{,}8\,\text{mA}$$

$$I_{R3} = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{6{,}55}{300} = 0{,}0218\,\text{A} = 21{,}8\,\text{mA}$$

Ellenőrzés: a csomóponti törvény szerint $I_{R2} + I_{R3} = 32{,}8 + 21{,}8 = 54{,}6\,\text{mA}$, ami jó egyezésben van az 54,5 mA főárammal. A kerekítésből adódó eltérés elfogadható. A huroktörvény szerint $5{,}45 + 6{,}55 = 12\,\text{V}$. ∎

11.2.9.2. 2. példa: feszültségosztó a hűtőfolyadék NTC-érzékelőjénél

Adott: a motorvezérlő 5 V-os tápfeszültségét egy felhúzó ellenálláson át NTC hőmérséklet-érzékelőre kötik, amely a test felé osztja le a feszültséget. $U = 5\,\mathrm{V}$, $R_1 = 2{,}2\,\mathrm{k\Omega}$, az NTC ellenállása hidegen $R_{\mathrm{NTC,hideg}} = 5{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, melegen $R_{\mathrm{NTC,meleg}} = 500\,\Omega$.
Keresett: a jelkimenet feszültsége hidegen és melegen.
Megoldás: a feszültségosztó képlet:

$$U_{\mathrm{jel}} = U \cdot \frac{R_{\mathrm{NTC}}}{R_1 + R_{\mathrm{NTC}}}$$

Hidegen:

$$U_{\mathrm{jel,hideg}} = 5 \cdot \frac{5000}{2200 + 5000} = 5 \cdot \frac{5000}{7200}$$

$$= 5 \cdot 0{,}694 = 3{,}47\,\mathrm{V}$$

Melegen:

$$U_{\mathrm{jel,meleg}} = 5 \cdot \frac{500}{2200 + 500} = 5 \cdot \frac{500}{2700}$$

$$= 5 \cdot 0{,}185 = 0{,}926\,\mathrm{V}$$

Az eredmény jól mutatja a negatív hőmérsékleti együtthatójú (NTC) érzékelő működését: a hőmérséklet növekedésekor az ellenállása csökken, ezért a jel feszültsége csökken. A motorvezérlő ezt a csökkenő feszültséget értelmezi hőmérsékletként. ∎

11.2.9.3. 3. példa: hőképződés egy izzítógyertyán

Adott: 12 V-os dízel indítási rendszer, az izzítógyertya ellenállása melegen $R = 0{,}8\,\Omega$, áramfelvétele $I = 15\,\mathrm{A}$. A gyertya 8 másodpercig működik.
Keresett: a teljesítmény és a hő.
Megoldás:

$$P = I^2 \cdot R = 15^2 \cdot 0{,}8 = 225 \cdot 0{,}8 = 180\,\mathrm{W}$$

A hő:

$$W = P \cdot t = 180 \cdot 8 = 1440\,\mathrm{J}$$

Ez a hő jórészt a fűtőtestben és annak környezetében jelenik meg. Ha ezt 100 g vízre számítjuk át, a hőmérséklet-emelkedés:

$$\Delta T = \frac{W}{c \cdot m} = \frac{1440}{4{,}19 \cdot 100} \approx 3{,}4\,\mathrm{K}$$

Ez csak szemléltető átszámítás, az izzítógyertya valós hőmérséklete sokkal magasabb, mert a hő nem vízbe, hanem fém és égéstéri levegő környezetbe távozik, és a hőátadási feltételek eltérnek. ∎

11.2.9.4. 4. példa: Wheatstone-híd egyensúlya és kimozdulása

Adott: híd, $U = 5\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 150\,\Omega$.
Keresett:
a) Mekkora R_4 értéknél egyensúlyozott a híd?
b) Ha $R_4 = 350\,\Omega$, mekkora a híd A–B pontja közötti feszültség?
Megoldás:
a) Egyensúly:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{200 \cdot 150}{100} = 300\,\Omega$$

b) A két osztópont feszültsége:

$$U_A = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{200}{100 + 200} = 5 \cdot 0{,}667 = 3{,}33\,\mathrm{V}$$

$$U_B = U \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 5 \cdot \frac{350}{150 + 350} = 5 \cdot 0{,}7 = 3{,}50\,\mathrm{V}$$

$$U_{AB} = U_A - U_B = 3{,}33 - 3{,}50 = -0{,}17\,\mathrm{V}$$

A negatív előjel csak a mérési irányt jelzi; a híd kimozdulásának nagysága $0{,}17\,\mathrm{V}$. Ez a feszültségkülönbség jelzésként szolgál a vezérlőegység számára. ∎

11.2.10. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista:
- A kiszámított eredő ellenállás kisebb-e a legkisebb párhuzamos elem ellenállásánál?
- A csomóponti törvény szerint a befolyó és elfolyó áramok összege nulla-e?
- A huroktörvény szerint a tápfeszültség egyenlő a soros feszültségesések összegével?
- Az osztóképletben a kiválasztott ellenállás van-e a számlálóban?
- A feszültségesés-mérésnél terhelés alatt mérünk-e?
- A mértékegységek végig szerepelnek-e minden lépésnél?

11.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy középkategóriás dízel járműnél a hűtőfolyadék-hőmérséklet-jelző indítás után azonnal magas értéket mutat. A diagnosztikai műszer élő adatai szerint a hőmérséklet-érzékelő jele 0,3 V, ami erősen túl magas hőmérsékletet jelent, pedig a motor hideg. Az első gondolat az érzékelő cseréje lenne. A feszültségosztó elvét alkalmazva ellenőrizzük a felhúzó ellenállást és a csatlakozó érintkezését. Kiderül, hogy az érzékelő csatlakozójába víz jutott, a jelvezeték és a test között oxidos, nedves szivárgóút alakult ki (az 5 kΩ-os érzékelővel párhuzamosan kb. 145 Ω), ezért az alsó ág eredője kb. 140 Ω-ra esik, és a jel 0,3 V körülire csökken: $5\,\mathrm{V} \cdot \frac{140}{2200+140} \approx 0{,}3\,\mathrm{V}$. A motorvezérlő ezt tévesen magas hőmérsékletnek értelmezi. Ha viszont a testágba soros átmeneti ellenállás kerülne (pl. 80 Ω), a jel kissé nőne (3,47 → 3,49 V), a vezérlő hidegebbnek látná a motort; szakadásnál a jel 5 V-ra ugrik. A csatlakozó tisztítása és tömítése után a jel visszatér a helyes 3,5 V körüli értékre, a hiba megszűnik.

Egy másik esetben az indítómotor lassan forgat. Az indítókör pozitív ágán a feszültségesést terhelés alatt megmérve 0,9 V esést kapunk a gyári 0,5 V határérték helyett. A melegedő csatlakozó az akkumulátor pozitív sarujánál mozogni kezdett, megégett. A saru és a csatlakozó felület cseréje, tisztítása és korrózióvédelme után az esés 0,15 V-ra csökken, az indítómotor újra megfelelő fordulatszámmal forgat.

11.2.12. Gyakorlati útmutató: feszültségesés-mérés csatlakozókon

Cél: átmeneti ellenállás kimutatása a jármű 12 V-os elektromos hálózatának nagyáramú körében.

Jármű- és adatazonosítás: gyártmány, típusszám, alvázszám, motorszám, gyártási év, a vizsgált áramkör kapocsjelölései. A mérési határértékeket a gyártó javítási kézikönyvéből kell kikeresni.

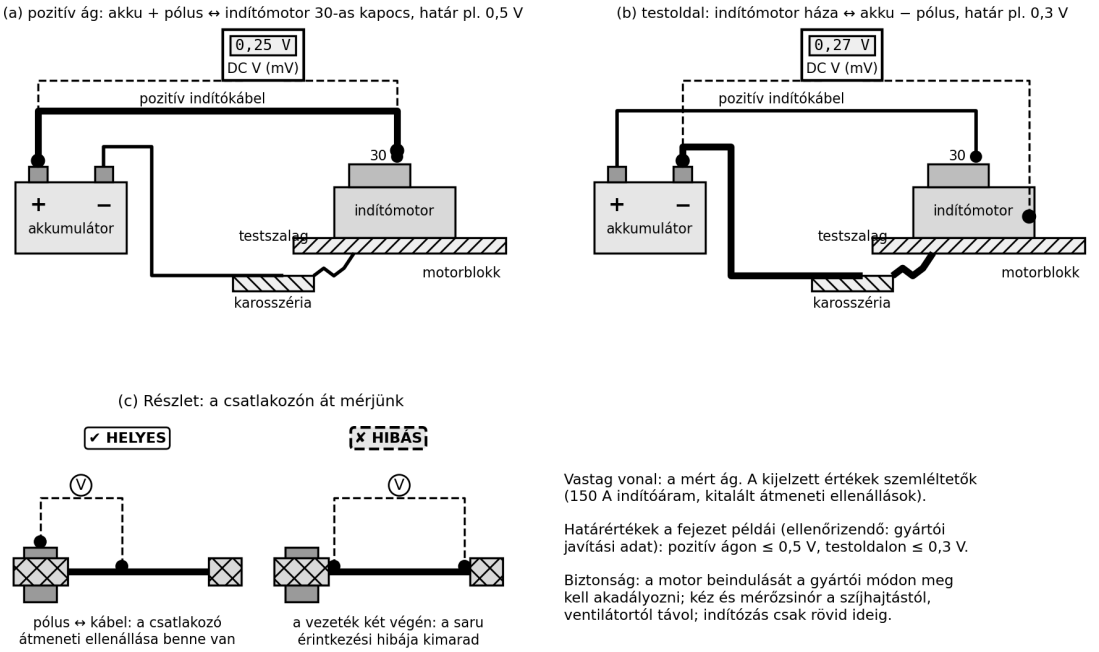
Szükséges eszközök: multiméter (DC V, mV tartomány), mérőzsinórok, csatlakozó- és sorkapocstisztító, korrózióvédő kenőanyag, szigetelőkesztyű, feszültségmentesített mérési pontok azonosításához kapcsolási rajz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A feszültség alatt álló járművillamossági mérésnél tűzveszély és rövidzárlat-veszély áll fenn; a multimétert a megfelelő méréshatárba kell állítani, a mérőzsinórokat hibaüzenet és sérülés nélküli állapotban kell használni. Az akkumulátor lekötésekor először a negatív pólust kell leoldani, felszereléskor utoljára kell visszakötni (ellenőrizendő: gyártói előírás az adatmentésre és a rendszerek tanítására).

Környezetvédelem. A korrodált csatlakozókból eltávolított szennyeződést, oxidot és a cserélt alkatrészeket veszélyes hulladékként, a műhely szabályzata szerint kell gyűjteni. A tisztítószert biztonsági adatlapja szerint kell kezelni.

Munkalépések:
1. Győződjünk meg arról, hogy a jármű rögzítőfékje behúzott, a sebességváltó üresben van, és a kerekek kiékeltek.
2. Az áramkör terhelését a vizsgálathoz megfelelően hozzuk létre: világításnál a fogyasztó bekapcsolásával; indítókörnél a motor beindulását a gyártói eljárással akadályozzuk meg (ellenőrizendő), a mérőzsinórokat a forgó alkatrészektől (szíj, ventilátor) távol vezetjük, a segítő csak a mérő jelzésére és legfeljebb kb. 5 s-ig indítózik (ellenőrizendő: gyártói adat). Automata váltónál a választókar P állásban van.
3. A multimétert DC V tartományba, lehetőleg mV felbontásra állítsuk.

4. A pozitív ág méréséhez kössük a műszer egyik mérőzsinórját a vizsgált csatlakozó feszültségforrás felőli oldalára, a másikat a fogyasztó felőli oldalára.
5. A testoldali esésnél a mérőzsinórt a fogyasztó testpontja és az akkumulátor negatív pólusa közé kötjük.
6. A terhelést kapcsoljuk be, és olvassuk le a feszültségesést. Jegyezzük fel az értéket.
7. Hasonlítsuk össze a gyártói határértékkel. Például indítókörben: pozitív ágon 0,5 V, testoldalon 0,3 V alatt (ellenőrizendő).
8. Ha az érték nagy, keressük meg a melegedő csatlakozót, bontsuk meg, tisztítsuk meg, és ha kell, cseréljük ki a sérült érintkezőt.
9. Mérés után végezzük el a javítást, húzzuk meg a gyártó által előírt nyomatékkal a kötést (ellenőrizendő), majd mérjünk újra.
10. Dokumentáljuk a mért értékeket a munkalapon: előtti és utáni feszültségesés, javítás módja, alkatrészek.



11.3. ábra. Feszültségesés-mérés az indítókörön: a mérőzsinórok helye a pozitív ágon és a testoldalon, valamint a csatlakozón át mért helyes és a vezeték végein mért hibás elrendezés

Az ábra a 4–5. lépést mutatja: a pozitív ágon az akkumulátor + pólusa és az indítómotor 30-as kapcsa, a testoldalon az indítómotor háza és az akkumulátor − pólusa közé kötjük a műszert, terhelés (indítózás) alatt. A részlet a tipikus hibát szemlélteti: a csatlakozón át kell mérni, mert a vezeték két végén mérve a saru átmeneti ellenállása kimarad. A HTML-változatban a mérőpontok választhatók, a műszer szimulált (szemléltető) átmeneti ellenállásokkal számol.

Tipikus hiba:
- Az ellenállásmérővel végzett hideg ellenőrzés értéke jó lehet, de a meleg, terhelt állapotot nem mutatja.
- A mérést nem a csatlakozón, hanem a vezeték két végén végzik, így a csatlakozó érintkezési hibája kimutathatatlan.
- A testoldali esés mérését elfelejtik, pedig a világítás és az indítómotor hibái gyakran testoldali átmeneti ellenállásból fakadnak.

11.2.13. Tipikus hibák

1. **A csomóponti törvényt a huroktörvénnyel keverik.** Gyakran hallani: „a csomópontban a feszültségek összege nulla.” Ez helytelen. A csomópontban az áramok összege nulla, a feszültségek összegét a hurokra kell felírni. A szerelői számítás így téves egyenletet ad.
2. **A feszültségosztó képletét rosszul állítják fel.** A leggyakoribb hiba, hogy az R_1 és R_2 közül a rossz ellenállást teszik a számlálóba. A számlálóba mindig az az ellenállás kerül, amelyen a feszültséget keressük. Egy járműműszer-jeladónál ezért fontos, hogy a jelvonal a test felőli oldalon legyen, különben a vezérlő teljesen más értéket lát.
3. **A párhuzamos eredőt egyszerűen összeadással számolják.** Párhuzamos kapcsolásnál az eredő mindig kisebb a legkisebb ellenállásnál. Ha valaki $200 + 300 = 500\,\Omega$ eredőt kap, azzal a teljes áramot is tévesen számítja. Az ilyen számítási hibát könnyű felismerni a nagyságrend-ellenőrzéssel.
4. **A feszültségesés-mérést feszültségmentes állapotban vagy ellenállásmérővel végzik.** Az átmeneti ellenállás csak terhelés alatt, feszültségesés-módszerrel látszik megbízhatóan. Az ellenállásmérő kis árama nem hozza létre azt a melegedést és oxidréteg-átütési állapotot, mint a valódi terhelés.

11.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz-e: „A csomóponti törvény szerint egy zárt hurokban a feszültségek összege nulla.”
2. Számítsd ki két párhuzamos ellenállás, $R_1 = 100\,\Omega$ és $R_2 = 250\,\Omega$, eredőjét.
3. Egy $12\,\mathrm{V}$-os feszültségosztóban $R_1 = 3\,\mathrm{k\Omega}$ és $R_2 = 1\,\mathrm{k\Omega}$ van sorosan, a kimenet R_2-n. Mekkora a kimeneti feszültség?
4. Miért kell a feszültségesést terhelés alatt mérni?
5. Mikor kiegyenlített egy Wheatstone-híd?
6. Mi a hiba ebben az állításban: „Ha egy csatlakozó ellenállása megnő, a melegedése csökken, mert kevesebb áram folyik.”
7. Melyik irányba mozdul a jel testzárlatnál (párhuzamos szivárgásnál), illetve soros átmeneti ellenállásnál egy felhúzó ellenállásos NTC-osztón?

11.2.15. Feladatok

1. feladat (A)
Számítsa ki három sorosan kapcsolt ellenállás ($R_1 = 120\,\Omega$, $R_2 = 220\,\Omega$, $R_3 = 330\,\Omega$) eredőjét. Mekkora áram folyik az áramkörben $U = 12\,\mathrm{V}$ feszültség hatására?

2. feladat (A)
Egy feszültségosztó $U = 5\,\mathrm{V}$ feszültségen $R_1 = 1{,}5\,\mathrm{k\Omega}$ és $R_2 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ ellenállásokból áll. Mekkora a feszültség R_2-n?

3. feladat (B)
Az ábrán látható vegyes kapcsolásban $U = 12\,\mathrm{V}$, $R_1 = 47\,\Omega$, $R_2 = 100\,\Omega$, $R_3 = 150\,\Omega$. Számítsa ki az eredő ellenállást, a főáramot, és minden ellenállás áramát és feszültségét.

4. feladat (B)
Egy párhuzamos kapcsolás ágába $I = 2{,}5\,\mathrm{A}$ teljes áram folyik be. Az ágak ellenállása $R_1 = 6\,\Omega$ és $R_2 = 3\,\Omega$. Számítsa ki az áramosztóval mindkét ág áramát, és ellenőrizze a csomóponti törvényt.

5. feladat (C)
Wheatstone-hídban $U = 10\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 150\,\Omega$, $R_4 = 320\,\Omega$. Számítsa ki a híd A–B pontja közötti feszültséget, és állapítsa meg, hogy az A vagy a B pont van magasabb potenciálon, illetve mekkora az egyensúlyi R_4 értéke.

6. feladat (D)
Egy jármű világítási körén a fényszóró bal oldalon párásodik, és észrevehetően halványabb. A jobb oldali izzó feszültségét mérve az izzó kapcsain terhelés alatt 13,2 V-ot kapunk, a bal oldalinál csak 10,1 V-ot. Az izzótest felé vezető csatlakozón 2,4 V feszültségesést mérünk, a testoldalon 0,7 V-ot. Mi a legvalószínűbb hiba, milyen méréssel igazolja, és hogyan javítja? A határérték a gyártó szerint pozitív oldalon 0,5 V, testoldalon 0,3 V (ellenőrizendő).

11.2.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A huroktörvény mondja ki, hogy a feszültségek algebrai összege egy zárt hurokban nulla. A csomóponti törvény az áramokra vonatkozik.

2. $R_{\text{eredő}} = \frac{100 \cdot 250}{100+250} = \frac{25\,000}{350} \approx 71{,}4\,\Omega$. Értéke kisebb a kisebbik ellenállásnál.

3. $U_2 = 12 \cdot \frac{1}{3+1} = 12 \cdot 0{,}25 = 3\,\mathrm{V}$.

4. Mert az átmeneti ellenállás feszültségesése csak akkor mutatkozik meg, ha tényleges terhelő áram folyik; az ellenállásmérő kis árama nem hozza létre a valós igénybevételt.

5. Ha $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, vagyis a két feszültségosztó azonos arányban osztja le a tápfeszültséget, így a középső ágban nincs áram.

6. A hiba: ha a csatlakozó ellenállása nő, akkor a rajta eső feszültség nő, és a melegedés $P = I^2 R$ szerint a növekvő R-rel és az áram hatásával együtt általában nő, nem csökken. Az áram kis mértékű csökkenése nem kompenzálja az ellenállásnövekedés okozta hőtermelést.
7. Párhuzamos szivárgásnál az alsó ág eredője csökken, így a jelfeszültség csökken (a vezérlő melegebbnek látja a motort); soros átmeneti ellenállásnál az alsó ág ellenállása nő, a jel nő (hidegebb), szakadásnál 5 V-ra ugrik.

1. feladat (A)
Soros eredő: $R_{\text{ö}} = 120 + 220 + 330 = 670\,\Omega$.
Áram: $I = \frac{U}{R_{\text{ö}}} = \frac{12}{670} = 0{,}0179\,\mathrm{A} = 17{,}9\,\mathrm{mA}$.
Ellenőrzés: a soros ellenállások feszültségeinek összege $U_1 + U_2 + U_3 = 0{,}0179 \cdot (120 + 220 + 330) = 0{,}0179 \cdot 670 = 12\,\mathrm{V}$.

2. feladat (A)
Feszültségosztó: $U_2 = 5 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}5+1{,}0} = 5 \cdot \frac{1}{2{,}5} = 2\,\mathrm{V}$.
Ellenőrzés: R_1 feszültsége $5 \cdot \frac{1{,}5}{2{,}5} = 3\,\mathrm{V}$, összegük $2 + 3 = 5\,\mathrm{V}$.

3. feladat (B)
A párhuzamos R_2 és R_3 eredője:

$R_{23} = \frac{100 \cdot 150}{100+150} = \frac{15\,000}{250} = 60\,\Omega$.
Teljes eredő: $R_{\text{ö}} = R_1 + R_{23} = 47 + 60 = 107\,\Omega$.
Főáram: $I = \frac{12}{107} = 0{,}112\,\text{A} = 112\,\text{mA}$.
$U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}112 \cdot 47 = 5{,}27\,\text{V}$.
$U_{23} = U - U_1 = 12 - 5{,}27 = 6{,}73\,\text{V}$.
$I_{R2} = \frac{6{,}73}{100} = 0{,}0673\,\text{A} = 67{,}3\,\text{mA}$.
$I_{R3} = \frac{6{,}73}{150} = 0{,}0449\,\text{A} = 44{,}9\,\text{mA}$.
Ellenőrzés: $I_{R2} + I_{R3} = 112{,}2\,\text{mA} \approx 112\,\text{mA}$, és $5{,}27 + 6{,}73 = 12\,\text{V}$. A kerekítésből adódó kis eltérés elfogadható.

4. feladat (B)
$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 2{,}5 \cdot \frac{3}{6+3} = 2{,}5 \cdot \frac{3}{9} = 0{,}833\,\text{A}$.
$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} = 2{,}5 \cdot \frac{6}{9} = 1{,}667\,\text{A}$.
Ellenőrzés: $0{,}833 + 1{,}667 = 2{,}5\,\text{A}$, a csomóponti törvény teljesül.

5. feladat (C)
A két osztópont feszültsége:
$U_A = U \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 10 \cdot \frac{200}{100+200} = 10 \cdot 0{,}667 = 6{,}67\,\text{V}$.
$U_B = U \cdot \frac{R_4}{R_3+R_4} = 10 \cdot \frac{320}{150+320} = 10 \cdot \frac{320}{470} = 6{,}81\,\text{V}$.
$U_{AB} = U_A - U_B = 6{,}67 - 6{,}81 = -0{,}14\,\text{V}$.
A B pont magasabb potenciálon van, mert az A-hoz képest negatív a különbség.
Az egyensúlyi ellenállás: $R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{200 \cdot 150}{100} = 300\,\Omega$.

6. feladat (D)
A tünetek: a bal oldali izzó feszültsége jóval alacsonyabb, mint a jobb oldali, a csatlakozó felé vezető pozitív ágon 2,4 V, a testoldalon 0,7 V esés mérhető. A gyártói határértékeket túllépő feszültségesés csatlakozó-átmeneti ellenállásra utal, különösen a pozitív oldalon. A párásodás és a halvány fény is megerősíti, hogy a csatlakozó nagy valószínűséggel melegszik és oxidálódott.
Méréssel igazoljuk: a fényszóró izzó foglalatához vezető pozitív ág csatlakozójának két oldalán, terhelés alatt, mV felbontású multiméterrel mérjük a feszültségesést. Ha az esés a határérték felett van, akkor a csatlakozó szétszedése után szemrevételezéssel ellenőrizzük az érintkezők oxidációját, megolvadt szigetelését.
Javítás: a csatlakozót feszültségmentes állapotban bontjuk, az érintkezőket cseréljük vagy alaposan megtisztítjuk, korrózióvédő kenőanyaggal kezeljük, majd a gyártó szerinti meghúzási nyomatékkal rögzítjük. Végül újra megmérjük a feszültségesést. A helyes eredménynek 0,5 V, illetve testoldalon 0,3 V alatt kell lennie (ellenőrizendő). A javítás után ellenőrizzük az izzó fényét és a munkalapon dokumentálunk.

11.2.17. Rövid összefoglaló

A Kirchhoff-törvények a járművillamossági hibakeresés alapjai. A csomóponti törvény szerint egy csomópontban a befolyó és elfolyó áramok összege nulla, a huroktörvény szerint pedig egy zárt hurokban a feszültségek előjeles összege nulla. A soros kapcsolású ellenállások összeadódnak, a párhuzamosok eredője kisebb a legkisebb ellenállásnál; két ellenállásra $R_{\text{eredő}} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$. A feszültségosztó képlet $U_x = U \cdot \frac{R_x}{\sum R}$, az áramosztó $I_x = I \cdot \frac{R_{\text{másik}}}{R_1+R_2}$. A Wheatstone-híd akkor kiegyenlített, ha $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$. Az áram hőhatása $P = I^2 R$, a hővezetés, hőáramlás és hősugárzás határozza meg az izzítógyertya, a biztosító és a fűtőbetétek működését. A csatlakozókon fellépő átmeneti ellenállást terhelés alatti feszültségesés-méréssel mutatjuk ki; a melegedő, oxidált csatlakozót ki kell cserélni. A feszültségosztó és a feszültségesés-mérés elvét a generátor, a félvezetős áramkörök, a méréstechnika és a fedélzeti hálózat diagnosztikája alfejezetekben használjuk tovább.

11.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjelek (kapcsolási rajz), gyártói javítási kézikönyvek feszültségesési határértékei, elektrotechnikai tankönyvi alapok.

Ellenőrizendő állítások:
- a kalória pontos átszámítása 4,1868 J/cal;
- az indítókör feszültségesési határértékei (pozitív 0,5 V, test 0,3 V) gyártótól függenek;
- a 12 V-os jármű elektromos rendszer mérési biztonsági követelményei;
- a példaként használt izzítógyertya ellenállása és árama típusfüggő.

11.3. Generátorok, belső ellenállás és a szuperpozíció

11.3.1. Motiváció

Az autószerelő műhelyben az egyik legjellegzetesebb villamos panasz: téli reggelen az indítómotor alig forgatja a motort, a fedélzeti feszültség indítás közben 9 V alá zuhan, pedig nyugalomban 12,5 V-ot mérünk. A kulcskérdés az, hogy miért nem tartja az akkumulátor a feszültségét terhelés alatt. A válasz a **valódi feszültséggenerátor belső ellenállása**. Ugyanezt a modellt használjuk a töltőgenerátor-diagnosztikában, a bikázás megtervezésében, valamint annak megértéséhez, hogy egy kondenzátor miért nem töltődik fel végtelen gyorsan. Ebben az alfejezetben ezt a modellt és a belőle következő számításokat építjük fel, hogy később a mérési eredményeket ne csak leolvasd, hanem értelmezd is.

11.3.2. Szemléletes kép: a helyettesítő kapcsolás

Képzelj el egy vízszivattyút, amely egy szűk csatlakozócsonkon át táplál egy nagyméretű csövet. Ha nincs vízfogyasztás, a rendszer nyomása a szivattyú névleges értéke; ha viszont nagy vízáram indul, a szűk csonkon eső nyomás miatt a csőben már kisebb nyomást mérsz. A feszültséggenerátorok is így viselkednek: az ideális forráson kívül egy belső ellenállást is figyelembe kell venni.

11.4. ábra. Valódi feszültséggenerátor helyettesítő kapcsolása terheléssel - Szemléltető kapcsolási rajz: az ideális U0 forrás és a belső Rb ellenállás sorba kapcsolva alkotja a valódi generátort (szaggatott keret); a kapcsain (+, −) mérhető Uk kapocsfeszültség a terhelő Rt-vel párhuzamos voltmérőn olvasható le.

Az ábrán a kapocsfeszültséget (U_k) a R_t terheléssel párhuzamosan mérjük. Az a pont, ahol a voltmérő csatlakozik, nem különleges: a terhelés sarkain.

11.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Az **ideális feszültséggenerátor** (ideal voltage source) olyan feszültségforrás, amelynek kapocsfeszültsége független a terhelőáramtól, belső ellenállása pedig zérus. A rajzon ez a forrás U_0.

Definíció. A **valódi feszültséggenerátor** (real voltage source) egy ideális U_0 forrás és a vele sorba kapcsolt R_b **belső ellenállás** (internal resistance) helyettesítő kapcsolásaként modellezhető. A fogyasztó felől nézve a forrás kapocsfeszültsége U_k (terminal voltage).

A hurokegyenletből:

$$U_0 - IR_b - IR_t = 0 \quad \Rightarrow \quad U_k = IR_t = U_0 - IR_b.$$

Az áram:

$$I = \frac{U_0}{R_b + R_t}.$$

A kapocsfeszültség feszültségosztóként:

$$U_k = \frac{R_t}{R_b + R_t} U_0.$$

Összefüggés. A forrás által leadott teljesítménynek két része van:

$$P_{\text{termelt}} = U_0 I, \qquad P_{\text{veszteség}} = I^2 R_b, \qquad P_t = U_k I = I^2 R_t.$$

A hatásfok:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{\text{termelt}}} = \frac{U_k}{U_0} = \frac{R_t}{R_b + R_t}.$$

Az **üresjárás** (open-circuit, $I = 0$) esetén $U_k = U_0$, a terhelés pedig úgy jelenik meg, hogy a belső ellenállás „osztja le” a feszültséget. A **rövidzár** (short circuit, $R_t = 0$) esetén a kapocsfeszültség $U_k = 0$ V, és a rövidzárási áram:

$$I_{\text{z}} = \frac{U_0}{R_b}.$$

Szabály. A **teljesítményillesztés** (maximum power transfer) akkor következik be, ha $R_t = R_b$. Ekkor a terhelésre jutó teljesítmény:

$$P_{\max} = \frac{U_0^2}{4R_b}.$$

A bizonyításhoz írjuk a leadott teljesítményt teljes négyzetes alakba:

$$P_t = \frac{U_0^2 R_t}{(R_b + R_t)^2} = \frac{U_0^2}{4R_b} \left[1 - \left(\frac{R_t - R_b}{R_t + R_b} \right)^2 \right].$$

A zárójeles kivonandó tag akkor nulla, ha $R_t = R_b$, így a teljesítmény tényleg maximális. Figyelj arra, hogy ekkor a hatásfok csak 50 %, mert a belső ellenálláson ugyanakkora teljesítmény veszik el, mint a terhelésen.

11.3.4. Generátorok soros és párhuzamos kapcsolása

Soros kapcsolás. Ha a források azonos irányban követik egymást, az ideális feszültségek előjelesen összeadódnak, a belső ellenállások pedig egyszerűen sorba kapcsolódnak:

$$U_{0\text{eredő}} = U_{01} + U_{02} + \cdots, \qquad R_{b\text{eredő}} = R_{b1} + R_{b2} + \cdots.$$

Például három, egyenként 2 V és 0,05 Ω belső ellenállású cella sorba kapcsolva 6 V eredő feszültséget és 0,15 Ω belső ellenállást ad.

Párhuzamos kapcsolás. Párhuzamos kapcsolásnak csak akkor van értelme, ha az ideális feszültségek közel azonosak. A belső ellenállások párhuzamosan kapcsolódnak:

$$R_{b\text{eredő}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}} + \cdots}.$$

Ha két 12 V-os, 0,02 Ω belső ellenállású akkumulátort párhuzamosan kötünk, az eredő belső ellenállás 0,01 Ω, így az indításkori feszültségesés kisebb.

Figyelem. A **bikázás** (jump start) során a gyakorlatban két akkumulátort kötünk párhuzamosan. Ha a feszültségük vagy a bekötésük nem megfelelő, a feszültségkülönbség hatására nagy keringő áram folyik:

$$I_{\text{keringő}} = \frac{U_{01} - U_{02}}{R_{b1} + R_{b2}},$$

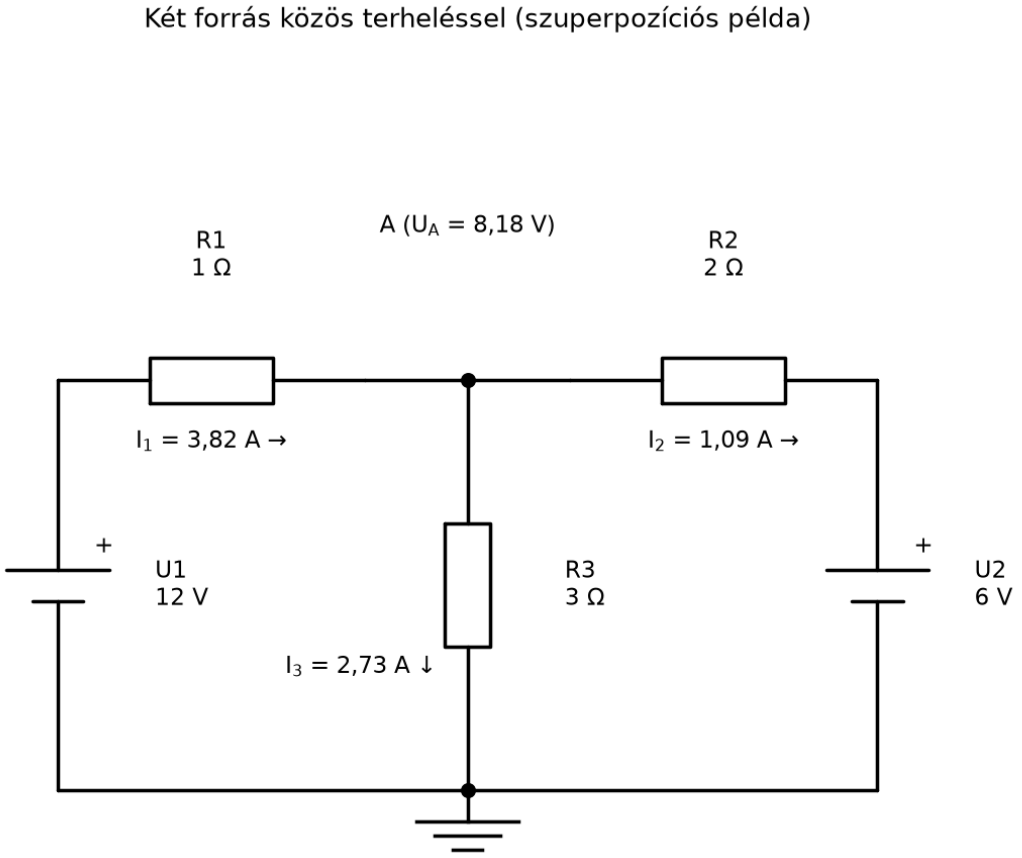
amely melegedést, szikrázást, sérülést okozhat. Műhelyi szabályok (mindig a gyártói előírás és a segédindítási útmutató szerint, **ellenőrizendő**):

1. Csak azonos névleges feszültségű (12 V–12 V) rendszert kössünk össze; fagyott vagy sérült akkumulátort tilos bikázni.
2. Sorrend: segítő + → lemerült +, majd segítő − → a fogadó jármű motorblokkjára vagy gyártói testpontjára, az akkumulátortól távol (a szikra a durranógáz közelében robbanást okozhat); leszereléskor fordított sorrend. Sok modern járműnél kijelölt segédindító pont van.
3. Fordított polaritásnál a két forrás feszültsége összeadódik: $I = (12{,}0 + 12{,}3)\ \text{V}/(0{,}02 + 0{,}03)\ \Omega \approx 486$ A – ív, kábelégés, akkumulátor-robbanás, vezérlőegységek károsodása.
4. Védőszemüveg viselése kötelező; zárt térben a töltéskor fejlődő durranógáz miatt tilos nyílt láng, szikra.

11.3.5. Szuperpozíció: több forrás hatása

A Kirchhoff-törvényekből következik, hogy egy lineáris hálózatban több forrás együttes hatása a források egyenkénti hatásának előjelhelyes összege. Ezt a módszert **szuperpozíciónak** (superposition) nevezzük. A kikapcsolt feszültséggenerátort **rövidzárral** helyettesítjük, de a belső ellenállása a kapcsolásban marad. (Áramgenerátor esetén a kikapcsolást szakadás jelenti, de ezzel most nem számolunk.)

Vegyünk egy egyszerű, de jól ellenőrizhető hálózatot: az $U_1 = 12$ V és $U_2 = 6$ V források sorosan kapcsolódnak a saját $R_1 = 1\ \Omega$ és $R_2 = 2\ \Omega$ belső ellenállásukkal, és mindkettő ugyanazt a $R_3 = 3\ \Omega$ terhelést táplálja. A kérdés: mekkora az R_3 árama, ha az áramot lefelé pozitívnak vesszük?



11.5. ábra. Két forrás közös terheléssel (szuperpozíciós példa) - Az U1 és U2 forrás a saját R1, illetve R2 belső ellenállásán át táplálja a közös R3 terhelést; az A csomópont feszültsége UA = 8,18 V. Az áramirányok a példa eredményei: I1 = 3,82 A az A felé, I3 = 2,73 A lefelé R3-on, I2 = 1,09 A az A-tól az U2 felé.

A rajzon a bal ág az U_1 forrás az R_1 belső ellenállással, a jobb ág az U_2 forrás az R_2-vel, középen az R_3 terhelés köti össze a közös A csomópontot a testtel. A nyilak a végeredmény áramirányait mutatják; a lépésenkénti számítás alább következik.

Első lépés – csak U_1 aktív. Az U_2 helyére rövidzár kerül, így R_2 és R_3 párhuzamos:

$$R_{23} = \frac{2 \cdot 3}{2+3} = 1{,}2\ \Omega, \qquad R_{\text{eredő1}} = R_1 + R_{23} = 2{,}2\ \Omega.$$

$$I_1' = \frac{12}{2{,}2} = 5{,}4545\ \text{A}.$$

Az áram oszlik az R_2 és R_3 között:

$$I_3' = 5{,}4545 \cdot \frac{2}{2+3} = 2{,}1818\ \text{A}.$$

Második lépés – csak U_2 aktív. Most U_1 helyettesül rövidzárral, tehát R_1 és R_3 párhuzamos:

$$R_{13} = \frac{1 \cdot 3}{1+3} = 0{,}75\ \Omega, \qquad R_{\text{eredő2}} = R_2 + R_{13} = 2{,}75\ \Omega.$$

$$I_2'' = \frac{6}{2{,}75} = 2{,}1818\ \text{A}.$$

$$I_3'' = 2{,}1818 \cdot \frac{1}{1+3} = 0{,}54545\ \text{A}.$$

Összegzés:

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 2{,}1818 + 0{,}54545 = 2{,}7273\ \text{A}.$$

Ellenőrzésként a közös csomópont feszültsége $U_A = 2{,}7273 \cdot 3 = 8{,}1818$ V. A bal oldali ágban folyó áram $(12 - 8{,}1818)/1 = 3{,}8182$ A, a jobb oldali ágban $(8{,}1818 - 6)/2 = 1{,}0909$ A folyik a terhelés felől az U_2 felé, és a csomóponti egyenlet $3{,}8182 = 2{,}7273 + 1{,}0909$ teljesül. A szuperpozíció tehát a hagyományos hurokszámítással is egyező eredményt ad.

A szuperpozíciót nemcsak papíron használjuk: diagnosztikai gondolkodásban is hasznos, mert megtanít arra, hogy egyszerre csak egy hibalehetőség hatását vizsgáld, a többit „kapcsold ki” gondolatban – például köss le egy gyanús fogyasztót, és nézd, hogyan változik a maradék hálózat feszültségesése.

11.3.6. Kidolgozott példák

11.3.6.1. 1. példa: feszültségesés indításkor

Adott: $U_0 = 12{,}6$ V, $R_b = 0{,}008\ \Omega$ (a kábelekkel együtt értendő, jó állapotú akkumulátorra jellemző érték; ellenőrizendő: gyártói adat), indításkor $I = 250$ A.
Keresett: a kapocsfeszültség, az indítómotor pillanatnyi ellenállása, a leadott teljesítmény és a hatásfok.
Számítás:

$$U_k = U_0 - I R_b = 12{,}6 - 250 \cdot 0{,}008 = 12{,}6 - 2{,}0 = 10{,}6\ \text{V}.$$

$$R_t = \frac{U_k}{I} = \frac{10{,}6}{250} = 0{,}0424\ \Omega = 42{,}4\ \text{m}\Omega.$$

$$P_t = U_k I = 10{,}6 \cdot 250 = 2650\ \text{W}.$$

$$P_{\text{veszteség}} = I^2 R_b = 250^2 \cdot 0{,}008 = 500\ \text{W}.$$

$$\eta = \frac{2650}{12{,}6 \cdot 250} = \frac{2650}{3150} = 0{,}841 = 84{,}1\,\%.$$

Ellenőrzés: a feszültségosztó képlettel $U_k = 12{,}6 \cdot 0{,}0424/(0{,}008 + 0{,}0424) = 12{,}6 \cdot 0{,}0424/0{,}0504 \approx 10{,}6$ V, tehát jó.

Továbbvitt eredmény. A valódi feszültségforrás kapocsfeszültsége terhelés alatt $U_k = U_0 - I R_b$; ezt a belsőellenállás fogalmát és az indításkori feszültségesést használjuk a(z) Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió alfejezetben, amikor az akkumulátor elektrokémiai viselkedését mutatjuk be, és a(z) Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó alfejezetben, ahol a forrás belső ellenállása korlátozza a kondenzátor töltőáramát.

11.3.6.2. 2. példa: feszültségosztás, hatásfok és teljesítményillesztés

Adott: $U_0 = 9$ V, $R_b = 0{,}5\ \Omega$, először $R_t = 4{,}5\ \Omega$.
Keresett: I, U_k, P_t, $P_{\text{veszteség}}$, η.
Számítás:

$$I = \frac{9}{0{,}5 + 4{,}5} = 1{,}8\ \text{A}.$$

$$U_k = 9 - 1{,}8 \cdot 0{,}5 = 8{,}1\ \text{V}.$$

$$P_t = 1{,}8^2 \cdot 4{,}5 = 14{,}58\ \text{W}, \qquad P_{\text{veszteség}} = 1{,}8^2 \cdot 0{,}5 = 1{,}62\ \text{W}.$$

$$\eta = \frac{8{,}1}{9} = 0{,}90 = 90\,\%.$$

Illesztésnél $R_t = 0{,}5\ \Omega$:

$$I = \frac{9}{0{,}5 + 0{,}5} = 9\ \text{A}, \qquad U_k = 9 - 9 \cdot 0{,}5 = 4{,}5\ \text{V}.$$

$$P_t = P_{\max} = 9^2 \cdot 0{,}5 = 40{,}5\ \text{W}, \qquad \eta = 50\,\%.$$

Ellenőrzés: a képletből $P_{\max} = 9^2/(4 \cdot 0{,}5) = 81/2 = 40{,}5$ W. A két számítás megegyezik.

11.3.6.3. Ellenpélda: a rövidzár félreértése

Gyakori hiba, hogy valaki a multiméterrel akarja „megmérni” a rövidzárási áramot, mert szerinte a belső ellenállás úgyis korlátozza. A fenti példában $I_z = 12{,}6/0{,}020 = 630$ A adódna, ami a valóságban a csatlakozók és vezetékek ellenállása miatt kisebb, de még mindig életveszélyes.

Tilos. Akkumulátort vagy feszültséggenerátort rövidre zárni, és a rövidzárási áramot közönséges multiméterrel mérni. A nagy áram ívet, égést, robbanásszerű gázképződést okozhat.

11.3.7. Minőségellenőrzés

A belső ellenállás meghatározásának egyszerű módszere a kétállapotú mérés. Először mérjük meg a nyugalmi/üresjárási kapocsfeszültséget, majd kapcsoljunk egy ismert terhelést, és mérjük egyszerre az áramot és a terhelt feszültséget:

$$R_b = \frac{U_{\text{üres}} - U_{\text{terhelt}}}{I_{\text{terhelés}}}.$$

Gyakorlat. Például egy akkumulátor üresjárási feszültsége 12,45 V, majd 30 A terhelésnél 11,90 V. Ekkor:

$$R_b = \frac{12{,}45 - 11{,}90}{30} = \frac{0{,}55}{30} = 0{,}0183\ \Omega = 18{,}3\ \text{m}\Omega.$$

Ez tanulási példa, a kapott 18,3 mΩ egy ép akkumulátorhoz képest magas (töltetlen vagy öregedett akkumulátorra utal); a valódi érték erősen függ a töltöttségtől, a hőmérséklettől és az akkumulátor típusától **(ellenőrizendő: gyártói határérték)**.

Ellenőrzőlista:
1. Mérőeszközök: feszültségmérő, lakatfogó árammérő.
2. A mérés előtt ellenőrizd a saruk tisztaságát és a biztosítékokat.
3. Terhelésként használj a gyártó által megadott ellenállást vagy diagnosztikai terhelőt.
4. A mérésből kapott R_b-t mindig a gyártói adathoz és a hőmérsékleti feltételekhez hasonlítsd.

11.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy a jármű hidegben „alig indul”, és indítás közben a műszerfal elsötétül. A műhelyben a technikus megméri a nyugalmi feszültséget: 12,30 V. Ez a feltölthető ólomakkumulátor nyugalmi feszültségéhez képest már alacsony, töltöttségre utaló problémát jelez **(ellenőrizendő: gyártói SoC-táblázat)**. Ezután indítás közben lakatfogóval méri az áramot: 180 A, a kapocsfeszültség pedig 8,9 V. A belső ellenállás:

$$R_b = \frac{12{,}30 - 8{,}9}{180} = \frac{3{,}4}{180} = 0{,}0189\ \Omega = 18{,}9\ \text{m}\Omega.$$

Egy ép, feltöltött indítóakkumulátor belső ellenállása ennél jóval kisebb, néhány mΩ (kb. 3–8 mΩ; ellenőrizendő: gyártói adat / akkumulátorteszter referencia), és indítás közben a kapocsfeszültség jellemzően nem esik kb. 9,6–10 V alá (ellenőrizendő). Az alacsony nyugalmi feszültség és a nagy belső ellenállás együtt akkumulátorhibára, például elszulfátosodott lemezekre vagy cellazárlatra utal. A technikus feltölti az akkumulátort, majd a terheléses mérést megismétli. Ha a belső ellenállás a gyártói határ fölött marad, az akkumulátort cseréli, és az indítási feszültségesést újra ellenőrzi.

11.3.9. Tipikus hibák

Hiba 1. A tanuló azt feltételezi, hogy az akkumulátor kapocsfeszültsége mindig a névleges 12 V, ezért nem érti az indításkori feszültségesést. **Helyes gyakorlat:** mindig a $U_k = U_0 - IR_b$ modellel számolj.

Hiba 2. A belső ellenállást úgy értelmezi, mint egy külső, cserélhető alkatrészt. **Helyes gyakorlat:** a belső ellenállás helyettesítő mennyiség, amely az akkumulátor elektrokémiai, hőmérséklet- és töltöttségfüggő viselkedését sűríti egyetlen ellenállásértékbe.

Hiba 3. Szuperpozíciónál a kikapcsolt feszültséggenerátort szakadásként kezeli, pedig rövidzárrá kell alakítani, és a belső ellenállást meg kell tartani.

Hiba 4. A teljesítményillesztést összekeverik a hatásfok-maximummal. **Helyes gyakorlat:** $R_t = R_b$ a maximális leadott teljesítményt adja, de a hatásfok ekkor 50 %; nagy hatásfokhoz $R_t \gg R_b$ kell.

11.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz/hamis: az ideális feszültséggenerátor belső ellenállása nulla, ezért kapocsfeszültsége mindig egyenlő az üresjárási feszültségével.

2. Számold ki: $U_0 = 12$ V, $R_b = 0{,}1\ \Omega$, $R_t = 3{,}9\ \Omega$; mekkora I és U_k?

3. Mi a hiba az alábbi mondatban? „A teljesítményillesztés akkor jön létre, ha a terhelő ellenállás minél nagyobb, mert akkor a legjobb a hatásfok.”

4. Két párhuzamosan kapcsolt akkumulátor: $U_{01} = 12{,}0$ V, $R_{b1} = 0{,}02\ \Omega$; $U_{02} = 12{,}3$ V, $R_{b2} = 0{,}03\ \Omega$. Mekkora keringő áram folyik?

5. Szuperpozíció esetén a kikapcsolt feszültséggenerátort mivel helyettesítjük?

11.3.11. Feladatok

1. feladat (A)
Írd fel a valódi feszültséggenerátor kapocsfeszültség-egyenletét, és nevezd meg a benne szereplő mennyiségeket.

2. feladat (A)
Egy forrás adatai: $U_0 = 6$ V, $R_b = 0{,}1\ \Omega$, $R_t = 9{,}9\ \Omega$. Számítsd ki az áramot, a kapocsfeszültséget, a terhelésre jutó teljesítményt, a belső ellenálláson veszteségként fellépő teljesítményt és a hatásfokot.

3. feladat (B)
Indítóakkumulátor: $U_0 = 12{,}4$ V, $R_b = 0{,}018\ \Omega$. Indításkor az áram 200 A. Határozd meg a feszültségesést, a kapocsfeszültséget, az indítómotor pillanatnyi ellenállását és a leadott teljesítményt. (Ez a feladat készíti elő a terhelés alatti kapocsfeszültség-értelmezést.)

4. feladat (B)
Három, egyenként 2 V feszültségű és 0,05 Ω belső ellenállású cellát sorosan, majd párhuzamosan kötünk. Add meg mindkét esetben az eredő üresjárási feszültséget és a belső ellenállást. Párhuzamos kapcsolásnál feltételezzük az azonos feszültséget.

5. feladat (C)
Szuperpozícióval számítsd ki az R_3 áramát: $U_1 = 10$ V, $R_1 = 2\ \Omega$; $U_2 = 5$ V, $R_2 = 4\ \Omega$; közös terhelés $R_3 = 6\ \Omega$. A két forrás a saját belső ellenállásán keresztül táplálja az R_3-at.

6. feladat (D)
Ügyfél autója hidegben nem indul. Mérések: nyugalmi kapocsfeszültség 12,55 V; indítás közben 9,10 V; mért indítóáram 240 A. Számítsd ki a belső ellenállást. Milyen további vizsgálatokat végeznél, mielőtt az akkumulátort cseréled?

11.3.12. Megoldások

11.3.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Az ideális forrás $R_b = 0$, ezért $U_k = U_0 - 0 \cdot I = U_0$ minden terhelésnél.

2. $I = 12/(0{,}1 + 3{,}9) = 3$ A; $U_k = 12 - 3 \cdot 0{,}1 = 11{,}7$ V.

3. A mondat a nagy hatásfok feltételét írja le, nem a teljesítményillesztést. A maximális leadott teljesítmény feltétele $R_t = R_b$, és ekkor a hatásfok 50 %.

4. $I = (12{,}3 - 12{,}0)/(0{,}02 + 0{,}03) = 0{,}3/0{,}05 = 6$ A.

5. Rövidzárral, miközben a belső ellenállása a kapcsolásban marad.

11.3.12.2. Feladatok – megoldások

1. feladat.
$U_k = U_0 - I R_b$, ahol U_0 az üresjárási feszültség, I a terhelőáram, R_b a belső ellenállás, U_k pedig a kapocsfeszültség.

2. feladat.

$$I = \frac{6}{0{,}1 + 9{,}9} = 0{,}6\ \text{A}; \qquad U_k = 6 - 0{,}6 \cdot 0{,}1 = 5{,}94\ \text{V}.$$

$$P_t = 0{,}6^2 \cdot 9{,}9 = 3{,}564\ \text{W}; \qquad P_{\text{veszteség}} = 0{,}6^2 \cdot 0{,}1 = 0{,}036\ \text{W}.$$

$$\eta = \frac{5{,}94}{6} = 0{,}99 = 99\,\%.$$

3. feladat.

$$\Delta U = 200 \cdot 0{,}018 = 3{,}6\ \text{V}; \qquad U_k = 12{,}4 - 3{,}6 = 8{,}8\ \text{V}.$$

$$R_t = \frac{8{,}8}{200} = 0{,}044\ \Omega = 44\ \text{m}\Omega.$$

$$P_t = 8{,}8 \cdot 200 = 1760\ \text{W}; \qquad P_{\text{veszteség}} = 200^2 \cdot 0{,}018 = 720\ \text{W}.$$

4. feladat.
Soros: $U_0 = 3 \cdot 2 = 6$ V, $R_b = 3 \cdot 0{,}05 = 0{,}15\ \Omega$.
Párhuzamos: $U_0 = 2$ V, $R_b = 0{,}05/3 = 0{,}0167\ \Omega$.

5. feladat.
Csak U_1 aktív: $R_{23} = 4 \cdot 6/(4+6) = 2{,}4\ \Omega$; $R_{\text{eredő}} = 2 + 2{,}4 = 4{,}4\ \Omega$; $I_1' = 10/4{,}4 = 2{,}2727$ A; $I_3' = 2{,}2727 \cdot 4/10 = 0{,}9091$ A.
Csak U_2 aktív: $R_{13} = 2 \cdot 6/(2+6) = 1{,}5\ \Omega$; $R_{\text{eredő}} = 4 + 1{,}5 = 5{,}5\ \Omega$; $I_2'' = 5/5{,}5 = 0{,}9091$ A; $I_3'' = 0{,}9091 \cdot 2/8 = 0{,}2273$ A.
Összeg: $I_3 = 0{,}9091 + 0{,}2273 = 1{,}1364$ A. Ellenőrzés: $U_A = 1{,}1364 \cdot 6 = 6{,}818$ V; az R_1-en $(10-6{,}818)/2 = 1{,}5909$ A; az R_2-n $(6{,}818-5)/4 = 0{,}4545$ A; $1{,}5909 = 1{,}1364 + 0{,}4545$ teljesül.

6. feladat.

$$R_b = \frac{12{,}55 - 9{,}10}{240} = \frac{3{,}45}{240} = 0{,}0144\ \Omega = 14{,}4\ \text{m}\Omega.$$

Ez az érték egy ép akkumulátor néhány mΩ-os referenciájához (ellenőrizendő) képest magas, tehát gyanús; tanulási példa, a döntéshez a gyártói hidegindítóáram- és belső ellenállás-határértékek **(ellenőrizendő)** szükségesek. Emellett ellenőrizni kell a töltöttséget, az akkumulátor-sarukat, az indítókábelek feszültségesését és az indítómotor áramfelvételét. Csak akkor cserélj, ha a töltés utáni ismételt mérés is a gyártói határ fölött van.

11.3.13. Rövid összefoglaló

A valódi feszültséggenerátort egy ideális U_0 forrással és egy sorba kapcsolt R_b belső ellenállással modellezzük. Terhelés alatt a kapocsfeszültség $U_k = U_0 - IR_b$, tehát a forrás feszültsége a belső ellenálláson eső IR_b értékkel csökken. Üresjárásban $U_k = U_0$, rövidzárban $U_k = 0$ és $I_z = U_0/R_b$. A leadott teljesítmény $P_t = U_k I$, a veszteség $I^2 R_b$, a hatásfok pedig U_k/U_0. Teljesítményillesztéskor $R_t = R_b$, ekkor a leadott teljesítmény maximális, $P_{\max} = U_0^2/(4R_b)$, de a hatásfok csak 50 %. Soros forrásoknál a feszültségek és belső ellenállások összeadódnak, párhuzamos kapcsolásnál az azonos feszültségű források belső ellenállásai párhuzamosan kapcsolódnak. A szuperpozíció szerint lineáris hálózatban a források egyenkénti hatásait előjelesen összegezzük úgy, hogy a kikapcsolt feszültséggenerátort rövidzárrá alakítjuk, de a belső ellenállása megmarad. **Továbbvitt eredmény:** a $U_k = U_0 - IR_b$ összefüggést használjuk az Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió alfejezetben az akkumulátor viselkedéséhez, valamint a Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó alfejezetben a töltőáram korlátozásához.

11.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

- A feszültséggenerátor, a belső ellenállás, a szuperpozíció és a teljesítményillesztés összefüggései általános elektrotechnikai tankönyvi anyagokból származnak, nem igényelnek jogszabályi forrást.
- Az akkumulátor belső ellenállására, a hidegindítóáramra és a gyártói határértékekre vonatkozó számértékek tanulási példák **(ellenőrizendő: gyártói javítási adat, akkumulátor-szabvány, például EN 50342-1 – szám és hatály ellenőrizendő)**.
- A bikázási és rövidzárási biztonsági előírások a járműgyártók és az akkumulátorgyártók útmutatói szerint ellenőrizendők.
- Az alfejezet a magyarországi műhelyekben használt multiméteres/lakatfogós mérési gyakorlatot ismerteti; a mérőműszer mérési kategóriájára és biztonsági besorolására a gyártói kézikönyv az irányadó **(ellenőrizendő)**.

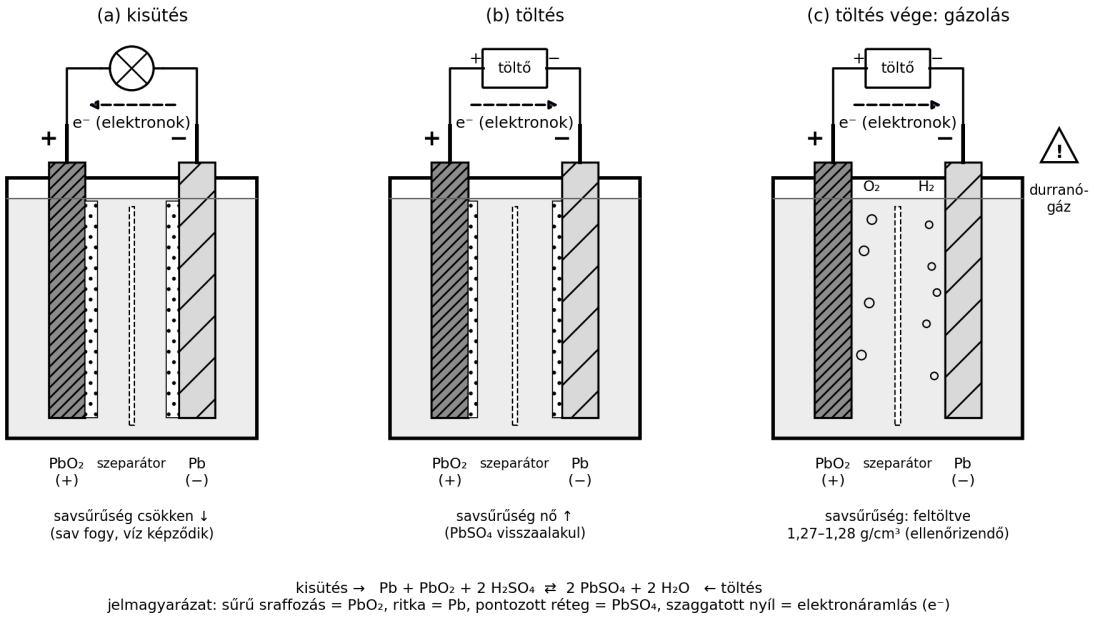
11.4. Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió

11.4.1. Motiváció

Egy reggeli műhelyhelyzet: a tegnap még hibátlanul induló autó ma csak lassan, alig forgatja az indítómotort, a sarukon pedig kékes-zöldes, morzsalékos bevonat látható. Ilyenkor a szerelő nem rögtön az indítómotorra gyanakszik, hanem először az akkumulátorra és a csatlakozásokra. Ahhoz, hogy helyes döntést hozzon, értenie kell, miért ad egy akkumulátor egyáltalán feszültséget, miért merül le, miért „forr” a töltés végén, és miért korrodál a saru. Mindez elektrokémiai folyamat: ugyanaz a tudás kell az akkumulátor töltéséhez, a galvanizált felületek felismeréséhez és a járművön megjelenő korróziós hibák megértéséhez is.

11.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy saválló műanyag cellát, benne két lemezcsoporttal: az egyik ólom-dioxid (PbO_2, sötétbarna), a másik szivacsos ólom (Pb, szürke). A lemezek nem érnek össze, köztük hígított kénsav (H_2SO_4) van, amely ionokat tartalmaz. Ha a két lemezre izzót kapcsolunk, az izzó világít, a cellában pedig mindkét lemez felületén ólom-szulfát ($PbSO_4$) képződik, az elektrolit sűrűsége pedig lassan csökken. Külső áramforrás hatására a folyamat visszafordul: töltéskor az ólom-szulfát visszaalakul ólommá és ólom-dioxiddá, az elektrolit sűrűsége nő.



11.6. ábra. Ólomakkumulátor cellája kisütéskor, töltéskor és a töltés végén (sematikus vonalrajz)

Az ábrán a bal oldali, sűrűn sraffozott lemez a pozitív (PbO_2), a jobb oldali, ritkán sraffozott a negatív (Pb), köztük a szeparátor; a pontozott réteg az ólom-szulfát. (a) Kisütéskor az elektronok a külső körben a negatív lemeztől az izzón át a pozitív felé áramlanak, mindkét lemezen $PbSO_4$ képződik, a savsűrűség csökken. (b) Töltéskor a töltő megfordítja a folyamatot. (c) A töltés végén a töltőáram már vizet bont: a pozitív lemezen oxigén, a negatívon hidrogén fejlődik (durranógáz).

11.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. - **Elektrolit:** olyan folyadék vagy megolvadt só, amely szabad ionokat tartalmaz, ezért áramot vezet. - **Elektrolízis:** egyenáram hatására az elektrolitban lejátszódó kémiai átalakulás; az anódon oxidáció, a katódon redukció történik. - **Galvánelem:** kémiai energiát villamos energiává alakító berendezés; elsődleges (nem tölthető) vagy másodlagos (újratölthető, akkumulátor) kivitelű. - **Akkumulátor:** olyan galvánelem, amely töltéssel ismételten feltölthető, és a kémiai energiát tárolja. - **Korrózió:** fémek károsodása kémiai vagy elektrokémiai reakciók következtében.

Összefüggés. Fémvezetőben az áramot elektronok, elektrolitban ionok szállítják. Az elektrolitban a pozitív ionok (kationok) a katód felé, a negatív ionok (anionok) az anód felé vándorolnak.

11.4.4. Folyadékok vezetése és elektrolízis

A tiszta víz rosszul vezeti az áramot. Ha sót, savat vagy bázist oldunk benne, az oldott anyag ionjaira disszociál, és az ionok elmozdulása áramlást hoz létre. A vezetőképesség a koncentrációtól, az ionok fajtájától és a hőmérséklettől függ.

Elektrolíziskor az elektródákra kapcsolt egyenfeszültség hatására az ionok irányítottan vándorolnak, és az elektródákon anyagátalakulás történik. Például réz-szulfát-oldatban, rézelektródákkal: az anódon réz oldódik ($\mathrm{Cu} \to \mathrm{Cu}^{2+} + 2e^-$), a katódon réz válik ki ($\mathrm{Cu}^{2+} + 2e^- \to \mathrm{Cu}$). Ezt az elvet használják galvanizálásra, elektrolitikus tisztításra és az akkumulátor töltésére.

11.4.5. Faraday törvénye

Összefüggés. Az elektródán kiváló anyag tömege arányos az átfolyt töltéssel. Első alak:

$$m = k\,Q = k\,I\,t,$$

ahol m a kivált anyag tömege, Q a töltés, I az áram, t az idő, k az elektrokémiai egyenérték.

Második alak:

$$m = \frac{M}{zF} I t,$$

ahol M az anyag moláris tömege, z az elektródreakcióban átadott elektronok száma, $F = 96\,485\,\mathrm{C/mol}$ a Faraday-állandó (kerekítve).

Továbbvitt eredmény. A töltéssel arányos anyagátalakulás elvét használjuk a(z) Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés alfejezetben a töltés és kisütés értelmezésekor, valamint a(z) A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) alfejezetben a lítium-ion cellák kapacitás- és energiaértékeinek értelmezésekor.

11.4.6. Galvánelemek

A galvánelemben kémiai redoxireakció szolgáltatja az áramot. A klasszikus Daniell-elemben cink-anód oxidálódik, réz-katód redukálódik, a külső körön az elektronok a cink felől a réz felé áramlanak. A cella nyugalmi feszültsége a két elektródpotenciál különbségéből adódik. Terhelés alatt a feszültség kisebb a belső ellenálláson eső feszültség miatt:

$$U_\mathrm{k} = U_0 - I r_\mathrm{b},$$

ahol U_k a kapocsfeszültség, U_0 a nyugalmi feszültség, r_b a belső ellenállás.

Az autótechnikában a galvánelem két fontos szerepben jelenik meg: az akkumulátorban energiaátalakítás, a korrózióban pedig nem kívánt galvánelem képződése.

11.4.7. Akkumulátorok

11.4.7.1. Ólomakkumulátor

Kisütéskor a negatív lemezen ólom oxidálódik, a pozitív lemezen ólom-dioxid redukálódik, miközben mindkét lemezen ólom-szulfát keletkezik, és az elektrolitból kénsav fogy, víz képződik:

$$\mathrm{Pb} + \mathrm{PbO_2} + 2\mathrm{H_2SO_4} \rightleftarrows 2\mathrm{PbSO_4} + 2\mathrm{H_2O}.$$

A balról jobbra zajló folyamat a kisütés, a jobbról balra történő a töltés. A cella nyugalmi feszültsége kb. 2,1 V; a 12 V-os indítóakkumulátorban 6 cella van sorba kötve, így a nyugalmi feszültség kb. 12,6 V (ellenőrizendő: a pontos érték a savsűrűségtől és a gyártótól függ).

A töltés végén, amikor a lemezeken már nincs átalakítható ólom-szulfát, a töltőáram a vizet bontja: a negatív lemezen hidrogén, a pozitívon oxigén fejlődik (gázolás, „forrás”). A gázelegy (durranógáz) robbanásveszélyes, ezért töltéskor szellőztetés kell, és a töltőt a csipeszek le- és felhelyezése előtt ki kell kapcsolni.

Figyelem. Kénsav: védőszemüveg vagy arcvédő, saválló kesztyű, szemmosó a közelben; savsűrűség-mérésnél a kiszívott savat cseppenés nélkül juttassuk vissza; akkumulátor közelében nyílt láng, szikra, dohányzás tilos (ellenőrizendő: műhelyi szabályzat, gyártói biztonsági adatlap).

11.4.7.2. NiMH-akkumulátor

A nikkel-fém-hidrid (NiMH) akkumulátorban alkáli elektrolit van, a cellafeszültség kb. 1,2 V. Energiasűrűsége nagyobb az ólomakkumulátorénál, de kisebb a lítium-ionénál. Hibrid járművekben (régebbi és egyes mai típusokban is; ellenőrizendő: típusonként) és szerszámakkumulátorokban találkozhatunk vele.

11.4.7.3. Lítium-ion akkumulátor

A lítium-ion (Li-ion) cellában lítiumionok vándorolnak a pozitív és negatív elektród között. A cella névleges feszültsége a kémiai összetételtől függően tipikusan 3,6–3,7 V (ellenőrizendő: pontos érték cellakémia szerint). Nagy az energiasűrűsége, nincs folyékony sav, de gyúlékony elektrolitot tartalmaz, és érzékeny a túltöltésre, mélykisülésre, magas hőmérsékletre. Ezért mindig akkumulátor-felügyelet (BMS) védi; a részleteket a(z) A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) alfejezet tárgyalja.

11.4.7.4. Tüzelőanyag-cella

A tüzelőanyag-cella nem tárolja az energiát, hanem hidrogénből és oxigénből folyamatosan állítja elő. A reakcióban víz keletkezik, a folyamat katalizátort és membránt igényel:

$$2\mathrm{H}_2 + \mathrm{O}_2 \rightarrow 2\mathrm{H}_2\mathrm{O}.$$

A járműtechnikában hidrogénhajtású járművekben alkalmazzák, de az autószerelő alapképzésben csak elvi szinten kell ismerni.

11.4.8. Az akkumulátor jellemzői

Definíció. Az akkumulátor névleges kapacitása a leadható töltésmennyiség, jele C, mértékegysége amperóra (Ah): $C = I \cdot t$. A kapacitás függ a kisütőáramtól, a hőmérséklettől és az akkumulátor korától.

A tárolt energia:

$$W = C_{\mathrm{Ah}} \cdot U,$$

ahol C_{Ah} a kapacitás amperórában, U a feszültség voltban, az eredmény pedig wattórában (Wh) adódik.

Példa. Egy 60 Ah-s, 12 V-os indítóakkumulátor elméleti energiatartalma $60 \cdot 12 = 720\,\mathrm{Wh} = 0{,}72\,\mathrm{kWh}$.

Megjegyzés. A kapacitás jelölésére használt C nem keverendő össze a kondenzátor kapacitásának C jelével; a szövegkörnyezet és a mértékegység megkülönbözteti őket.

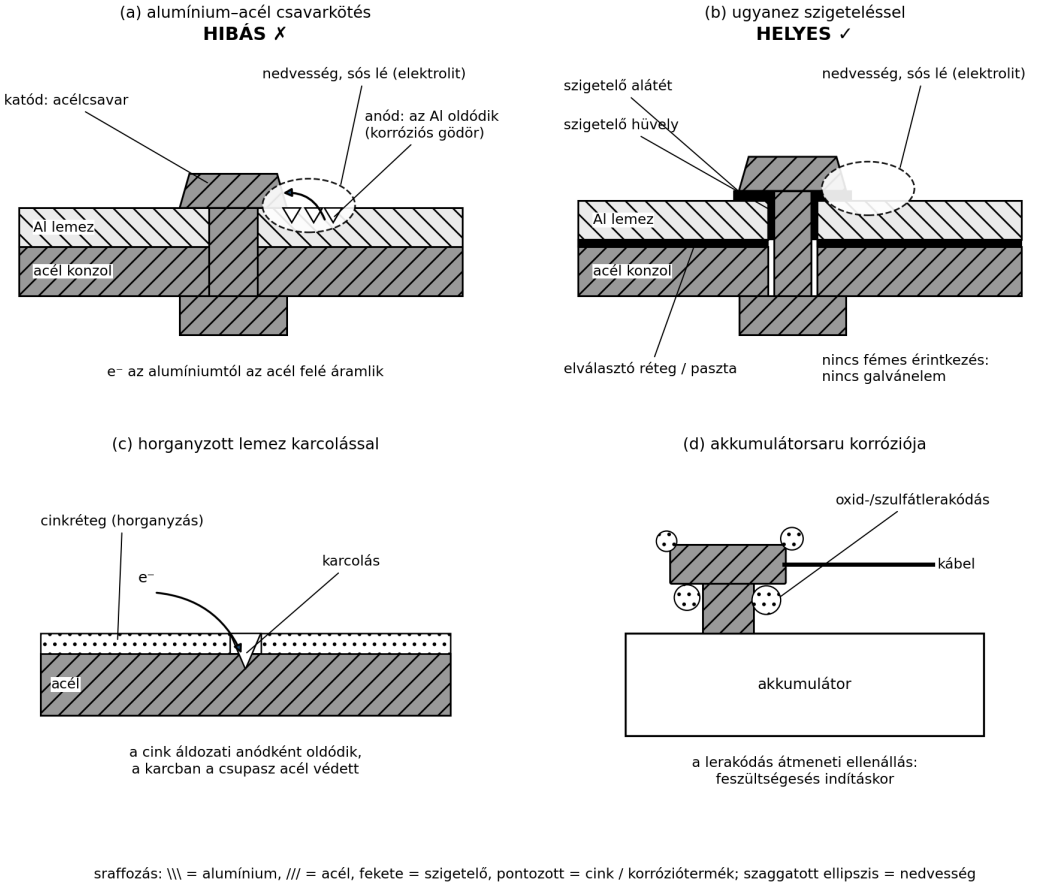
11.4.9. Korrózió és korrózióvédelem

Definíció. Az elektrokémiai korrózió akkor lép fel, ha két különböző fém elektrolit (például nedves közeg, sós lé) jelenlétében érintkezik, és galvánelemet alkot. A kevésbé nemes fém az anód, és oldódik, a nemesebb fém a katód.

A fémeket elektrokémiai feszültségsorba rendezhetjük. A gyakorlatban fontos sorrend (a negatív végtől a pozitív felé): magnézium, alumínium, cink, vas/acél, ólom, réz, ezüst (ellenőrizendő: pontos standardpotenciál-értékek táblázatból).

Járműves példák:

- **Alumínium–acél érintkezés:** az alumínium oldódik, ha elektrolit van jelen, ezért a csavarkötést szigetelő pasztával vagy alátéttel kell védeni.
- **Réz–alumínium villamos csatlakozás:** az alumínium korrodál, a csatlakozás átmeneti ellenállása megnő, melegedés és feszültségesés jelenik meg.
- **Karosszériaacél korróziója:** a felületi nedvesség és a szennyeződés lokális galvánelemeket hozhat létre; a horganyzás (cinkbevonat) áldozati anódként védi az acélt.



sraffozás: \\\ = alumínium, /// = acél, fekete = szigetelő, pontozott = cink / korróziótermék; szaggatott ellipszis = nedvesség

11.7. ábra. Galvánkorrózió járműpéldákon: alumínium–acél csavarkötés szigetelés nélkül és szigeteléssel, horganyzott lemez karcolással, akkumulátorsaru (sematikus metszetek)

Az (a) rajzon a nedvesség elektrolitként köti össze az alumíniumlemezt és az acélcsavart: a kevésbé nemes alumínium az anód, ezért a csavarfej mellett kimaródik, az acél a katód. A (b) rajzon szigetelő alátét, hüvely és elválasztó réteg szakítja meg a fémes érintkezést, így galvánelem nem alakul ki. A (c) rajzon a horganyzás karcolásánál a cink oldódik és védi az acélt, a (d) rajzon az akkumulátorsaru lerakódása átmeneti ellenállást okoz.

Védekezési módok: elválasztás műanyaggal vagy pasztával, festés, horganyzás, katódos védelem áldozati anóddal, inhibitorok használata (például a hűtőfolyadékban). Autóvillamossági csatlakozóknál a korrózióvédelem a megbízható testelés és a vízmentes csatlakozóház kialakítása.

11.4.10. Kidolgozott példák

1. példa – Faraday-törvény alkalmazása galvanizálásnál. Adott: $I = 5\,\mathrm{A}$, $t = 30\,\mathrm{min} = 1800\,\mathrm{s}$, rézleválasztás $M = 63{,}5\,\mathrm{g/mol}$, $z = 2$. Keresett: a katódon kiváló réz tömege m. Képlet: $m = \frac{M}{zF} It$. Behelyettesítés:

$$m = \frac{63{,}5\,\mathrm{g/mol}}{2 \cdot 96\,485\,\mathrm{C/mol}} \cdot 5\,\mathrm{A} \cdot 1800\,\mathrm{s} \approx 2{,}96\,\mathrm{g}.$$

Ellenőrzés: a folyamat nagyságrendje reális, 30 perc alatt néhány gramm fém válik ki.

2. példa – Indítóakkumulátor energiája és belső ellenállása. Adott: $C = 60\,\mathrm{Ah}$, $U_0 = 12{,}6\,\mathrm{V}$, indítóáram $I = 200\,\mathrm{A}$, terhelés alatti kapocsfeszültség $U_\mathrm{k} = 10{,}0\,\mathrm{V}$. Keresett: az elméleti energia W és a belső ellenállás r_b.

Energia:

$$W = 60\,\mathrm{Ah} \cdot 12{,}6\,\mathrm{V} = 756\,\mathrm{Wh} \approx 0{,}76\,\mathrm{kWh}.$$

Belső ellenállás:

$$r_\mathrm{b} = \frac{U_0 - U_\mathrm{k}}{I} = \frac{12{,}6 - 10{,}0}{200} = 0{,}013\,\Omega = 13\,\mathrm{m\Omega}.$$

3. példa – Lítium-ion akkumulátorcsomag számítása. Adott: egy Li-ion cella kapacitása 100 Ah, névleges feszültsége 3,7 V; 96 cellát sorba kötnek. Keresett: az akkumulátorcsomag névleges feszültsége és energiatartalma. (Ez nagyfeszültségű (HV) rendszer: csak arra jogosult személy dolgozhat rajta, lásd a HV-biztonsági alfejezetet.)

Feszültség:

$$U_\mathrm{csomag} = 96 \cdot 3{,}7\,\mathrm{V} = 355{,}2\,\mathrm{V}.$$

Energia:

$$W = 100\,\mathrm{Ah} \cdot 355{,}2\,\mathrm{V} = 35\,520\,\mathrm{Wh} \approx 35{,}5\,\mathrm{kWh}.$$

Ezek az értékek tanulási példák; a tényleges cellafeszültség a kémiai összetételtől és a gyártótól függ.

Környezetvédelem. Az akkumulátorok veszélyes hulladéknak minősülhetnek: az ólomakkumulátor savat és nehézfémet, a Li-ion cellák gyúlékony elektrolitot és kritikus nyersanyagot tartalmaznak. A műhelyben az akkumulátorokat kijelölt, saválló, zárt gyűjtőedényben kell tárolni, és leadni a visszagyűjtő rendszerben. A hulladékot tilos kommunális hulladékba, csatornába vagy a környezetbe juttatni. A pontos hulladékkezelési és visszavételi kötelezettségeket a hatályos hulladékjogi előírások tartalmazzák (ellenőrizendő: hatályos uniós és hazai hulladékszabályozás).

11.4.11. Minőségellenőrzés

Az akkumulátor elektrokémiai állapotát több méréssel ellenőrizzük:

- **Savsűrűség (ólomakkumulátor):** feltöltött cellában jellemzően 1,27–1,28 $\mathrm{g/cm^3}$, lemerült állapotban ennél jóval kisebb (ellenőrizendő: a gyártói adat és a savsűrűség-táblázat).
- **Nyugalmi feszültség:** 12 V-os ólomakkumulátornál kb. 12,6–12,8 V; 12,0 V alatt lemerült, de ez önmagában nem elegendő diagnózis.
- **Terheléses vizsgálat vagy belső ellenállás-mérés:** a gyenge cella vagy a megnövekedett belső ellenállás terhelés alatt jelentős feszültségesést okoz.
- **Korróziós csatlakozások:** szemrevételezés, a saru és a testkábel átmeneti ellenállásának feszültségesés-méréssel való vizsgálata.

11.4.12. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Az ügyfél szerint az autó reggel alig indult, az indítózás lassú volt. A szerelő a motorháztető alatt zöldes, morzsalékos bevonatot lát a negatív sarun. A nyugalmi feszültség 12,5 V, ami önmagában elfogadhatónak tűnik, de indítózás közben a testelési ponton feszültségesést mér: a karosszéria és az akkumulátor negatív pólusa között 0,8 V esik. Ez azt mutatja, hogy a korrózió az áramköri ellenállást megnövelte. Ezután a gyártói lekötési előírás szerint (először a negatív sarut) leválasztja az akkumulátort, megtisztítja a sarut és a pólust, a testkábelt cseréli, visszaszereli, ügyelve a szoros rögzítésre. Újramérve az indítózáskor mért feszültségesés 0,1 V alá csökken, az autó erőteljesen indít.

Tanulság. A korrózió nemcsak esztétikai hiba, hanem az elektrokémiai galvánelem következtében kialakuló átmeneti ellenállás, amely indítási zavart okoz.

11.4.13. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő csak a nyugalmi feszültséget méri le, és az akkumulátort jónak ítéli, miközben a belső ellenállás már megnőtt. Terhelés nélkül a hibás cella nem mutatkozik meg. **Helyes gyakorlat:** terheléses vizsgálat vagy belső ellenállás-mérés.

Hiba. A korrodált sarut csak letörlik, de az okot (savas kigőzölgés, rossz testelés, tömítetlen csatlakozó) nem szüntetik meg. **Helyes gyakorlat:** az érintkező felületek megtisztítása, szükség esetén csere, majd korróziógátló paszta.

Hiba. Az akkumulátor jellemzőit összekeverik: az amperórát wattórával, vagy a cellafeszültséget az akkumulátorfeszültséggel. **Helyes gyakorlat:** mindig az egységet és a cellakapcsolást is ellenőrizni kell.

Hiba. A sav hígításakor vizet öntenek a tömény savba. **Helyes gyakorlat:** mindig savat adagolunk a vízhez, óvatosan, védőfelszerelésben, mert a hirtelen hő- és fröccsenés veszélyes.

11.4.14. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a galvánelem és az elektrolízis között?
2. Miért csökken az ólomakkumulátor elektrolitsűrűsége kisütés közben?
3. Miért veszélyes akkumulátor közelében nyílt lángot használni?
4. Miért korrodál az alumínium, ha réz csatlakozóval érintkezik nedves környezetben?
5. Egy 44 Ah-s akkumulátorból elméletileg hány órán át vehetünk fel 4 A-es áramot?
6. Miért kell a korrodált testelési csatlakozást megjavítani, nem csak letisztítani?

11.4.15. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld az elektrolitot és az elektrolízist! Adj egy-egy gyakorlati példát mindkettőre!

2. feladat (A)
Mennyi ezüst válik ki 2 A árammal 20 perc alatt ezüst-nitrát-oldatból? Az ezüst moláris tömege $M = 107{,}87\ \mathrm{g/mol}$, és $z = 1$.

3. feladat (B)
Egy 44 Ah-s, 12 V-os indítóakkumulátor nyugalmi feszültsége 12,6 V. 100 A terhelés alatt a

kapocsfeszültség 11,2 V. Számítsd ki az akkumulátor elméleti energiatartalmát és belső ellenállását!

4. feladat (B)
Magyarázd el, miért korrodál az alumínium, ha réz csatlakozóval érintkezik, és milyen gyakorlati következménye van ez egy gépjármű villamos csatlakozójában!

5. feladat (C)
Egy 60 Ah-s akkumulátorból elméletileg hány óráig működik egy 5 A-es fogyasztó? Miért tér el a gyakorlati idő ettől? Adj legalább két okot!

6. feladat (D)
Műhelyi hibakeresés: az autó indítózása lassú, a testelési ponton zöld por látható. Milyen méréssel döntöd el, hogy a korrózió okozza-e a hibát? Írd le a mérés lépéseit, a várható értéket és a javítás menetét!

11.4.16. Megoldások

11.4.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A galvánelem kémiai energiát alakít villamos energiává, az elektrolízis villamos energia hatására kémiai átalakulást hoz létre.
2. Kisütéskor kénsav fogy, víz képződik, ezért az oldat sűrűsége csökken.
3. A töltés során keletkező hidrogén–oxigén gázelegy (durranógáz) robbanásveszélyes.
4. Az alumínium a kevésbé nemes fém, ezért anódként oldódik a rézzel kialakuló galvánelemben.
5. Elméletileg $t = 44/4 = 11\,\text{h}$.
6. A letisztítás eltünteti a látható korróziót, de ha a védőbevonat vagy a tömítés hibás, a folyamat újra indul, és az átmeneti ellenállás ismét megnő.

11.4.16.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
Elektrolit: ionokat tartalmazó folyadék vagy olvadék, amely áramot vezet. Példa: kénsavoldat az ólomakkumulátorban. Elektrolízis: az elektrolitban egyenáram hatására lejátszódó kémiai reakció. Példa: galvanizálás, akkumulátortöltés.

2. feladat
Adott: $I = 2\,\text{A}$, $t = 20\,\text{min} = 1200\,\text{s}$, $M = 107{,}87\,\text{g/mol}$, $z = 1$.
Képlet: $m = \frac{M}{zF} It$.
Behelyettesítés:

$$m = \frac{107{,}87}{1 \cdot 96\,485} \cdot 2 \cdot 1200 \approx 2{,}68\,\text{g}.$$

3. feladat
Energia: $W = 44 \cdot 12{,}6 = 554{,}4\,\text{Wh} \approx 0{,}55\,\text{kWh}$.
Belső ellenállás: $r_\text{b} = \frac{12{,}6 - 11{,}2}{100} = 0{,}014\,\Omega = 14\,\text{m}\Omega$.

4. feladat
Az alumínium elektrokémiailag kevésbé nemes, mint a réz. Nedvesség hatására lokális galvánelem alakul ki, amelyben az alumínium az anód, és oldódik. A csatlakozóban ez megnövekedett átmeneti ellenállást, melegedést és feszültségesést okoz.

5. feladat
Elméletileg $t = 60/5 = 12\,\text{h}$. A gyakorlati idő ettől eltér, mert a kapacitás nagyobb áramnál csökken (Peukert-hatás), alacsony hőmérsékleten kevesebb hasznosítható töltés áll rendelkezésre, és az akkumulátort sem szabad teljesen mélykisütésig terhelni.

6. feladat
Mérés: indítózáskor mérjünk feszültséget a korrodált testelési pont és az akkumulátor negatív pólusa között. Megengedett feszültségesés kb. 0,2–0,5 V alatt van (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat). Ha 0,5–1 V felett mérünk, a testelési pont nagy ellenállású. Javítás: a csatlakozást bontsuk, tisztítsuk meg, szükség esetén cseréljük a sarut vagy a testkábelt, szereljük vissza, kenjük be korróziógátló pasztával, majd ellenőrizzük ismét a feszültségesést.

11.4.17. Rövid összefoglaló

Az elektrokémia a járműtechnika alapvető területe: az elektrolitban ionok, a fémben elektronok vezetik az áramot. Elektrolíziskor az elektródákon kémiai átalakulás történik, a kiváló anyag tömege Faraday törvénye szerint arányos az átfolyt töltéssel: $m = \frac{M}{zF} It$. A galvánelem kémiai energiából állít elő villamos energiát, az akkumulátor pedig újratölthető galvánelem. Az ólomakkumulátor kisütésekor ólom-szulfát és víz keletkezik, az elektrolit sűrűsége csökken; töltéskor a folyamat visszafordul. A 12 V-os indítóakkumulátor hat cellából áll, cellánként kb. 2,1 V feszültséggel. Az akkumulátor kapacitását amperórában, energiáját wattórában adjuk meg; terhelés alatt a belső ellenállás feszültségesést okoz: $U_\text{k} = U_0 - I r_\text{b}$. A Li-ion cella névleges feszültsége 3,6–3,7 V, és mindig BMS-védelemmel üzemel. A korrózió nem kívánt galvánelem: az alacsonyabb potenciálú fém anódként oldódik, például alumínium–réz és alumínium–acél csatlakozásban. A védekezés bevonatokkal, elválasztással, inhibitorokkal vagy áldozati anóddal történik. **Továbbvitt eredmény:** az akkumulátor cellakémiai folyamata és a kapacitás–energia–belső ellenállás fogalma közvetlenül szükséges a(z) Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés és a(z) A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) alfejezetekhez.

11.4.18. Források és ellenőrzési hiányok

- Faraday-állandó értéke: $F = 96\,485\,\text{C/mol}$; stabil fizikai állandó.
- Ólomakkumulátor cellafeszültség, savsűrűség-értékek, kapocsfeszültség-terhelés összefüggések: gyártói adatként kezelendők (ellenőrizendő: gyártói specifikáció).
- Li-ion cellafeszültség 3,6–3,7 V, NiMH 1,2 V, ólom 2,1 V: jellemző értékek (ellenőrizendő: pontos cellakémia szerint).
- A fémek elektrokémiai feszültségsora: standardpotenciál-értékek táblázatból ellenőrizendők.
- Akkumulátor-hulladék kezelése és visszagyűjtése: a hatályos uniós és hazai hulladékjogi előírások szerint ellenőrizendő.

12 Villamos és mágneses tér

12.1. Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó

12.1.1. Motiváció

A műhelyben több olyan jelenséggel is találkozik, amely mögött a villamos tér és a kondenzátor áll. A benzinmotor gyújtógyertyáján a nagyfeszültség azért üt át a levegőn, mert a villamos térerősség elég nagy lesz a szikraközben. A régebbi, megszakítós gyújtású autókon a megszakítóval párhuzamosan kötött kondenzátor nélkül a szikra gyenge, a megszakító pedig hamar beég. A modern járműveken a fedélzeti hálózat zavarszűrésében, a beltéri világítás lekapcsolásának késleltetésében, valamint a hibrid és elektromos járművek nagyfeszültségű invertereiben is kulcsszerepe van a kondenzátornak. A hibrid járművek javításánál a **feszültségmentesítés utáni kötelező várakozási idő** is azért létezik, mert a nagy kapacitású, nagyfeszültségű kondenzátorok csak bizonyos idő alatt sülnek ki. Ebben az alfejezetben ezeket az összefüggéseket tanulja meg.

12.1.2. Szemléletes kép

Képzelje el, hogy a téli, száraz levegőjű műhelyben az autó ülésén csúszva feltöltődik, majd amikor a karosszériához ér, apró szikra ugrik. A testén felhalmozódott töltés és a karosszéria között jött létre a villamos tér. Hasonló jelenség a gyújtógyertya szikrája is, csak ott a töltést nem dörzsölés, hanem a gyújtótekercs hozza létre. A kondenzátor pedig olyan alkatrész, mint egy villamos „tartály”: képes töltést tárolni, majd azt később leadni.

A következő kapcsolási rajz egy egyszerű RC-kört mutat: a C kondenzátor az R ellenálláson keresztül egy S1 váltókapcsolóval vagy a tápegységre kapcsolható (töltés), vagy a testre (kisütés). Ezt a rajzot használjuk a töltési és kisütési folyamat tanulmányozásához.

12.1. ábra. RC-kör: kondenzátor töltése és kisütése váltókapcsolóval - Alapállapot: az S1 váltókapcsoló a 2. (kisütő) állásban van. Az 1. állásban a C kondenzátor az R ellenálláson át a tápegységről töltődik; a 2. állásban a tápegység le van választva, és a C ugyanazon az R-en át a testre kisül (C $\to$ R $\to$ S1 $\to$ test). Mindkét folyamat időállandója $\tau = R \cdot C$; a tápegység egyik állásban sem zárható rövidre.

Az ábrán az S1 váltókapcsoló alapállásban, a 2. (kisütő) állásban van. Ha a kapcsolót először az 1. állásba, a tápegység felé váltjuk, a kondenzátor az ellenálláson át feltöltődik. Ha ezután a kapcsolót visszaváltjuk a 2. állásba, a tápegységet leválasztjuk, és a kondenzátor az ellenálláson keresztül kisül. A feszültség nem ugrik le azonnal nullára, hanem exponenciális görbe szerint csökken.

12.1.3. Alapfogalmak a villamos térben

Definíció. A **villamos töltés** (jele Q, mértékegysége coulomb, 1 C) az anyag azon tulajdonsága, amely a villamos kölcsönhatásért felelős. Az elektron töltése negatív, $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C, tehát 1 C töltés kb. $6{,}24 \cdot 10^{18}$ elektron töltésének felel meg.

Összefüggés. A **Coulomb-törvény** pontszerű töltések között ható erőt írja le:

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

ahol F az erő newtonban, Q_1 és Q_2 a töltések coulombban, r a töltések távolsága méterben, k pedig arányossági tényező. Levegőben és vákuumban $k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{C}^2}$. Az azonos előjelű töltések taszítják, a különbözőek vonzzák egymást.

Definíció. A **villamos térerősség** (jele E, mértékegysége V/m vagy N/C) megadja, hogy a villamos tér egy pontjában mekkora erő hat egy pozitív egységnyi töltésre:

$$E = \frac{F}{Q}.$$

Homogén, sík elektródák közötti térben a térerősség a feszültségből és a lemeztávolságból számítható:

$$E = \frac{U}{d},$$

ahol U a feszültség voltban, d a lemezek távolsága méterben.

Példa. Mekkora az átlagos térerősség egy gyújtógyertya szikraközében, ha a feszültségcsúcs 25 kV és az elektródatávolság 0,8 mm?

$$E = \frac{U}{d} = \frac{25\,000\,\mathrm{V}}{0{,}0008\,\mathrm{m}} = 31{,}25 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} \approx 31\,\frac{\mathrm{MV}}{\mathrm{m}}.$$

Ez a nagy térerősség gyorsítja fel a szabad elektronokat, amelyek ütközésekkel ionizálják a levegőt, és létrejön a szikra. Az ionizált csatorna vezetővé válik, ezért a szikra tulajdonképpen egy rövid idejű **villamos kisülés**.

Összefüggés. A **csúcshatás** azt jelenti, hogy a vezető felületén a görbületi sugár csökkenésével a térerősség nő, mert a többlettöltés a csúcsokon, éleken sűrűsödik. A gyújtógyertya középső elektródája és az oldalelektróda éle is azért keskeny, hogy ott nagyobb legyen a térerősség, és a szikra stabilan, megismételhető helyen ugorjon át.

Figyelem. Az autóvillamossági munkáknál a nagy térerősségű pontok közelében fokozottan ügyelni kell a szigetelésre. A repedt gyújtókábel vagy a sérült gyújtótraktus miatt a nagyfeszültség „más utat keres”, és a legkisebb szigetelési gyengeségnél üt át.

12.1.4. A kondenzátor felépítése és kapacitása

Definíció. A **kondenzátor** két, egymástól szigetelőanyaggal (dielektrikummal) elválasztott vezető lemezből áll. A **kapacitás** (jele C, mértékegysége farad, 1 F) a tárolt töltés és a fegyverzetek közötti feszültség hányadosa:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

A valóságban a farad nagyon nagy egység, ezért a gyakorlatban mikrofaradot ($1\,\mu\mathrm{F} = 10^{-6}\,\mathrm{F}$), nanofaradot ($1\,\mathrm{nF} = 10^{-9}\,\mathrm{F}$) és pikofaradot ($1\,\mathrm{pF} = 10^{-12}\,\mathrm{F}$) használunk. A hibrid és elektromos járművek invertereiben néhány száz mikrofarad – néhány millifarad kapacitású, több száz

voltra töltött DC-köri kondenzátorok vannak (ellenőrizendő: gyártói adat); ezek energiája már életveszélyes, ezért ott különösen fontos a kisülési idő ismerete.

Összefüggés. A **síkkondenzátor** kapacitása a geometriai adatoktól és a szigetelőanyagtól függ:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d},$$

ahol:

- $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$ a vákuum permittivitása,
- ε_r a dielektrikum relatív permittivitása (dimenziónélküli),
- A a lemezfelület négyzetméterben,
- d a lemeztávolság méterben.

A **megosztás** (polarizáció) jelensége miatt a dielektrikum molekulái a villamos tér hatására elmozdulnak vagy orientálódnak, csökkentik a lemezek közötti térerősséget, és ezzel növelik a kapacitást. Minél nagyobb az ε_r, annál több töltést tárol a kondenzátor adott feszültségen.

Példa. Egy zavarszűrő kondenzátor két fóliafelülete $A = 0{,}01\,\mathrm{m}^2$, a dielektrikum vastagsága $d = 10\,\mu\mathrm{m}$, relatív permittivitása $\varepsilon_r = 3$. Mekkora a kapacitás?

$$C = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}} \cdot 3 \cdot \frac{0{,}01\,\mathrm{m}^2}{10 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}} = 2{,}66 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{F} \approx 26{,}6\,\mathrm{nF}.$$

Ez nagyságrendileg tipikus zavarszűrési célú fólia- vagy kerámiakondenzátor érték.

Megjegyzés. A járművillamosságban használt fontosabb kondenzátortípusok:

- **Elektrolitkondenzátor:** nagy kapacitás, polaritása van, a helytelen bekötés tönkreteszi, sőt fel is robbanhat.
- **Kerámia- és fóliakondenzátor:** kisebb kapacitás, gyorsabb, alacsony veszteség, polaritás nélküli.
- **Szuperkondenzátor (EDLC):** farad nagyságrendű kapacitás, energia-tárolásra vagy rövid idejű csúcsterhelés kiszolgálására.

A valós kondenzátornak vannak **veszteségei**: a dielektrikum nem tökéletes szigetelő, ezért kicsi szivárgó áram folyik, a kivezetések és fegyverzetek pedig soros ellenállást (ESR, Equivalent Series Resistance) képviselnek. Az ESR melegedést okoz nagy váltakozó áramnál, ezért például a teljesítményelektronikában alacsony ESR-ű típusokat használnak.

12.1.5. Kondenzátorok kapcsolása és energiája

Összefüggés. Párhuzamos kapcsolásnál a feszültség azonos, a töltések összeadódnak, ezért az eredő kapacitás az egyes kapacitások összege:

$$C_\mathrm{e} = C_1 + C_2 + \cdots$$

Soros kapcsolásnál a töltés azonos, a feszültségek összeadódnak, ezért az eredő kapacitás reciproka az egyes kapacitások reciprokainak összege:

$$\frac{1}{C_\mathrm{e}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

Számítás. Két kondenzátor soros kapcsolásban: $C_1 = 100\,\mu\mathrm{F}$ és $C_2 = 47\,\mu\mathrm{F}$. Mennyi az eredő?

$$\frac{1}{C_\mathrm{e}} = \frac{1}{100\,\mu\mathrm{F}} + \frac{1}{47\,\mu\mathrm{F}} \quad \Rightarrow \quad C_\mathrm{e} = \frac{100 \cdot 47}{100 + 47}\,\mu\mathrm{F} = \frac{4700}{147}\,\mu\mathrm{F} \approx 32\,\mu\mathrm{F}.$$

Az eredő kisebb, mint a legkisebb tag. Soros kapcsolást akkor használnak, ha nagyobb feszültségállóságot akarnak, mert a feszültség megoszlik a kondenzátorok között.

Összefüggés. A feltöltött kondenzátorban tárolt **energia**:

$$W = \frac{1}{2} C U^2,$$

ahol W az energia joule-ban, C a kapacitás faradban, U a feszültség voltban.

Számítás. Mennyi energiát tárol egy $470\,\mu\mathrm{F}$ kapacitású kondenzátor $12\,\mathrm{V}$ fedélzeti feszültségen?

$$W = \frac{1}{2} \cdot 470 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} \cdot (12\,\mathrm{V})^2 = 0{,}5 \cdot 470 \cdot 10^{-6} \cdot 144\,\mathrm{J} = 0{,}0338\,\mathrm{J} \approx 34\,\mathrm{mJ}.$$

Ez kicsi energia, de egy pillanat alatt felszabadítva elég arra, hogy például egy kis jelző-LED-et rövid ideig működtessen, vagy hogy egy szikrát létrehozzon. A nagyfeszültségű inverterek DC-köri kondenzátoraiban viszont több száz volt feszültség és több száz mikrofarad vagy nagyobb kapacitás is lehet.

Számítás. Egy hibrid jármű inverterében $C = 1000\,\mu\mathrm{F}$ kapacitású DC-köri kondenzátor van, amely $U = 300\,\mathrm{V}$ feszültségre töltődött fel. Mekkora energiát tárol?

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} \cdot (300\,\mathrm{V})^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}001 \cdot 90\,000\,\mathrm{J} = 45\,\mathrm{J}.$$

Ez láthatóan nagyságrendekkel több. Ha ez az energia egy rövidzárlaton vagy az emberi testen szabadulna fel, életveszélyes sérülést okozhatna. Emiatt van szükség a feszültségmentesítés után a kondenzátorok ellenőrzött kisülésére és a gyártói várakozási idő betartására.

12.1.6. Töltés, kisütés és az RC-időállandó

Szabály. A kondenzátor áramkörbe kapcsolva sem töltődik fel vagy sül ki időtlenül: a folyamat egy **időállandó** által meghatározott exponenciális görbe mentén zajlik. Az **időállandó** (jele τ, görög tau) egy ellenálláson keresztül töltődő vagy kisülő kondenzátornál:

$$\tau = R \cdot C,$$

ahol R az áramkör soros ellenállása ohmban, C a kapacitás faradban, τ mértékegysége másodperc.

Fizikai tartalom. Ellenállás nélkül az ideális kondenzátor nulla idő alatt, végtelen nagy árammal változtatná a feszültségét. A valós áramkörben mindig van ellenállás (a kapcsoló érintkezője, a

vezetékek, a kondenzátor ESR-je vagy szándékos ellenállás), ez korlátozza az áramot. Nagyobb R kisebb áramot enged, ezért lassabb a töltés és a kisütés. Nagyobb C több töltést igényel ugyanakkora feszültségváltozáshoz, ezért szintén lassabb a folyamat.

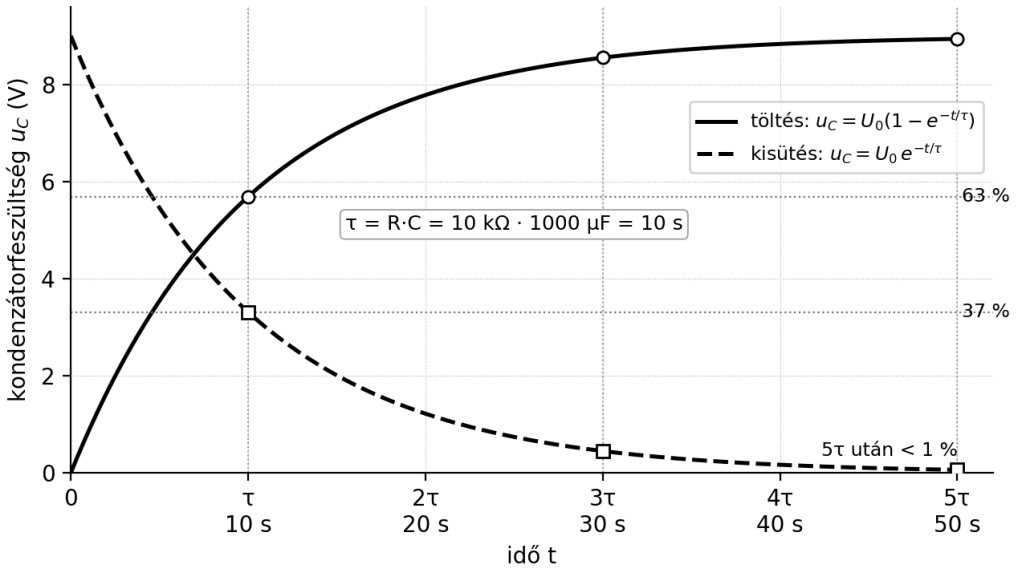
Összefüggés. Kisütéskor a kondenzátor feszültsége:

$$u_C(t) = U_0 \cdot e^{-t/RC} = U_0 \cdot e^{-t/\tau},$$

ahol U_0 a kezdeti feszültség. A görbe jellemző értékei:

- $t = \tau$ idő után a feszültség a kezdeti érték kb. 37%-a,
- $t = 5\tau$ idő után kevesebb mint 1%-a.

A gyakorlati mérnöki szemléletben 5τ idő után tekinthető a kondenzátor **gyakorlatilag kisültnek**. Fordítva, feltöltődéskor $t = \tau$ alatt a kondenzátor a végérték kb. 63%-át éri el, és 5τ után tekinthető gyakorlatilag feltöltöttnek.



12.2. ábra. A kondenzátor töltési és kisütési görbéje ($R = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 1000\,\mu\mathrm{F}$, $U_0 = 9\,\mathrm{V}$, $\tau = 10\,\mathrm{s}$; számított görbék)

Az ábra a Gyakorlati útmutató RC-körének görbéit mutatja: a folytonos töltési görbe $\tau = 10\,\mathrm{s}$ után a 9 V 63%-án (5,7 V), a szaggatott kisütési görbe 37%-án (3,3 V) jár, $5\tau = 50\,\mathrm{s}$ után pedig mindkét folyamat gyakorlatilag lezajlott. Az interaktív változatban R, C, U_0 és egy küszöbfeszültség állítható; a program kiszámolja a küszöb eléréséig eltelt $t = \tau \ln(U_0/U)$ időt (az 5. feladat adataival 176 s).

Példa. Egy beltéri világítás késleltető áramköre $C = 470\,\mu\mathrm{F}$ kapacitású kondenzátort használ, és az izzóval párhuzamos ág ellenállása $R = 10\,\mathrm{k\Omega}$. Mennyi ideig világít még érzékelhetően a lámpa a gyújtás levétele után?

Először az időállandó:

$$\tau = R \cdot C = 10 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 470 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 4{,}7\,\mathrm{s}.$$

A lámpa akkor alszik el, amikor a feszültség a tartófeszültség alá csökken. Közelítőleg azt mondhatjuk, hogy $3\tau \ldots 5\tau$ idő alatt játszódik le a jelenség. Értéke itt $4{,}7 \cdot 5 = 23{,}5\,\mathrm{s}$, tehát nagyságrendileg néhány másodperctől fél percig tartó késleltetést kapunk.

Számítás. Egy autórádió tápfeszültségének zavarszűrője $R = 1\,\Omega$ belső ellenállású táppontra és $C = 2200\,\mu\mathrm{F}$ pufferkondenzátorra csatlakozik. Mekkora az időállandó?

$$\tau = 1\,\Omega \cdot 2200 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 0{,}0022\,\mathrm{s} = 2{,}2\,\mathrm{ms}.$$

Ez azt mutatja, hogy a zavarszűrő kondenzátor nagyon gyorsan kisimítja a rövid idejű feszültségletöréseket, de hosszabb kimaradást nem hidal át.

12.1.7. Járműipari alkalmazások

A járművillamosságban a kondenzátort és az RC-időállandót több helyen is használjuk:

1. **Zavarszűrés.** A generátor feszültségében a kommutálás vagy az egyenirányítás miatt nagyfrekvenciás zajok lehetnek. A táppontra kötött kis kapacitású kondenzátor a nagyfrekvenciás váltakozó jelet a test felé „rövidre zárja”, miközben az egyenfeszültséget nem befolyásolja. A zavarszűrő hatékonysága a frekvenciától függ: minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb a kondenzátor váltakozó áramú ellenállása.
2. **Beltéri világítás késleltetése.** Amikor becsukjuk az ajtót, a belső világítás nem alszik el azonnal. Egy RC-taggal késleltetik a relé kikapcsolását, így az utasoknak van idejük elhelyezkedni. Az időtartamot az R és C értéke határozza meg.
3. **Gyújtórendszer.** A hagyományos megszakítós gyújtásnál a megszakítóval párhuzamosan kötött kondenzátor két feladatot lát el: egyrészt csökkenti a megszakító érintkezőin keletkező szikrát, másrészt a gyújtótekercs primer tekercsével egy rezgőkört alkot, amely a szekunder oldalon nagyobb feszültségcsúcsot hoz létre. Bár ez a rendszer ma már ritka, a működési elve segít megérteni a modern induktív gyújtást is.
4. **Nagyfeszültségű inverterek.** A hibrid és elektromos járművek invertereiben a DC-köri kondenzátor feladata a feszültség simítása és a villanymotor kapcsolási tranzienseinek pufferezése. Ezek a kondenzátorok nagy energiát tárolnak, ezért a nagyfeszültségű rendszer feszültségmentesítése után is veszélyes feszültség maradhat rajtuk.

HV-biztonság. A nagyfeszültségű rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat (ellenőrizendő: a hatályos hazai képesítési követelmények). A feszültségmentesítés után a legtöbb gyártó előír egy várakozási időt (jellemzően több percet), mielőtt a rendszert biztonságosnak lehet tekinteni. Ez az idő az inverter DC-köri kondenzátorainak kisütésére szolgál. A munkavégzés során a feszültségmentességet mindig **ellenőrizni kell** megfelelő mérési kategóriájú műszerrel, mielőtt a narancssárga vezetékeket megbontanánk. A műszert a mérés előtt és után ismert feszültségforráson is ellenőrizni kell.

12.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy régebbi, megszakítós gyújtású jármű motorja nehezen indul, járása egyenetlen, a kipufogó szabálytalanul durran. A szerelő a gyújtásellenőrzés során látja, hogy a megszakító érintkezői erősen beégtek, a szikra a gyújtógyertyán sárgás és szakadozott. A mérés során kiderül, hogy a megszakítóval párhuzamosan kötött kondenzátor kapacitása a névleges érték töredékére csökkent. A hibás kondenzátor miatt a megszakítón nagy ívképződés lép fel, a primer áram megszakítása

lassú, ezért a szekunder feszültség alacsony. A hiba oka: a kondenzátor dielektrikuma kiöregedett. A javítás után a megszakító csúcsait kicserélik, a kondenzátort újra cserélik, a gyújtás időzítését beállítják, és a gyújtószikra ismét erős, kékes színű lesz a tesztelőn.

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert időállandó $\tau = RC$ és az exponenciális töltési-kisütési görbe alapozza meg a tekercsek áramfelfutásának és -lecsengésének ($\tau = L/R$) tárgyalását az Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció alfejezetben, valamint az Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger alfejezetben a feszültségformáló áramkörök számítását.

12.1.9. Gyakorlati útmutató

Cél: Kondenzátor vizsgálata és egy egyszerű RC-kör időállandójának mérése tanműhelyi környezetben.

Szükséges eszközök: digitális multiméter, kapacitásmérővel rendelkező multiméter vagy LCR-mérő, változtatható ellenállás vagy ismert értékű ellenállás, 1000 μF és 2200 μF elektrolitkondenzátor, 9 V telep vagy tápegység, stopper, csatlakozóvezetékek.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Ügyeljen az elektrolitkondenzátor polaritására: fordított bekötésnél a kondenzátor túlmelegedhet, kifolyhat vagy felrobbanhat.

1. **Mérje meg** a kondenzátor kapacitását multiméter kapacitásmérőjével. Ha a mért érték jelentősen eltér a névlegestől, cserélje ki.
2. **Építse meg** az RC-kört: a 9 V telepet, a 10 kΩ ellenállást és az 1000 μF kondenzátort sorba köti, a multimétert (feszültségmérés) pedig a kondenzátorral párhuzamosan kapcsolja.
3. **Töltse fel** a kondenzátort, amíg a feszültség eléri a telep feszültségét.
4. **Kapcsolja le** a telepet, és a helyére tegyen rövidzár-áthidalót (vezetékdarabot), hogy a kondenzátor a 10 kΩ-os ellenálláson át, zárt körben sülhessen ki; majd indítsa a stoppert, és mérje a kondenzátor feszültségének csökkenését. (A multiméter belső ellenállása, kb. 10 MΩ, a 10 kΩ mellett elhanyagolható. Ha nem kapcsolja le a telepet, hanem csak kihúzza, a kondenzátor a multiméteren át, nagyságrendileg 10 M$\Omega \cdot 1000\,\mu$F $\approx 10\,000$ s alatt sülne ki, és nem a számított értéket kapná.) Jegyezze fel, mennyi idő alatt csökken a feszültség a kezdeti érték kb. 37%-ára. Ez a mért időállandó.
5. **Ellenőrizze** számítással: $\tau = 10\,000\,\Omega \cdot 1000 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 10\,\mathrm{s}$. A mért érték nagyságrendileg egyezzen a számítottal.
6. **Dokumentálja** a mérési jegyzőkönyvbe a mért kapacitást, a használt ellenállást, a mért időállandót és a számított értéket.

12.1.10. Tipikus hibák

1. **Polaritás tévesztése.** Az elektrolitkondenzátor pozitív és negatív kivezetése nem felcserélhető. Fordított bekötésnél a dielektrikum tönkremegy, az alkatrész felmelegszik, kidudorodik, sőt a nyomás növekedése miatt fel is robbanhat. Mindig ellenőrizze a házon lévő jelölést és a kapcsolási rajzot.

2. **Hibás mértékegység-átváltás.** A kapacitás számításakor gyakori hiba, hogy a mikrofaradot nem váltják át faradba. $1000\,\mu\mathrm{F} \neq 1000\,\mathrm{F}$, hanem $1000\,\mu\mathrm{F} = 0{,}001\,\mathrm{F}$. Mindig ellenőrizze, hogy a képletbe SI-egységekben helyettesítsen be.

3. **A feltöltött kondenzátor feszültség alatt tartása.** A nagyfeszültségű járművek javításakor súlyos hiba lenne a feszültségmentesítés után azonnal megbontani a narancssárga vezetékeket anélkül, hogy a gyártói várakozási időt betartanák és a feszültségmentességet ellenőriznék. A kondenzátorban tárolt töltés láthatatlan, de halálos lehet.

12.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A kondenzátor kapacitása a rajta tárolt töltés és a feszültség szorzata. Indokoljon!
2. Számítsa ki az időállandót, ha $R = 47\,\text{k}\Omega$ és $C = 100\,\mu\text{F}$.
3. Mekkora energiát tárol egy $2200\,\mu\text{F}$ kapacitású, 14 V feszültségre töltött kondenzátor?
4. Miért van szükség a hibrid járművek nagyfeszültségű rendszerének javításakor a feszültségmentesítés utáni várakozási időre?
5. Miért pont a megszakítóval párhuzamosan kötik a kondenzátort a hagyományos gyújtásban?
6. Mi a hiba az alábbi állításban? „Minél kisebb az ellenállás, annál lassabban sül ki a kondenzátor.”

12.1.12. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Hamis.** A kapacitás a töltés és a feszültség hányadosa: $C = Q/U$.
2. $\tau = R \cdot C = 47\,000\,\Omega \cdot 100 \cdot 10^{-6}\,\text{F} = 4{,}7\,\text{s}$.
3. $W = 0{,}5 \cdot 2200 \cdot 10^{-6}\,\text{F} \cdot (14\,\text{V})^2 = 0{,}216\,\text{J}$.
4. Mert a nagy kapacitású, nagyfeszültségű kondenzátorok a rendszer leválasztása után is tárolnak energiát, és a kisütésük időbe telik. A várakozási idő alatt a belső kisütő ellenállások lecsökkentik a feszültséget.
5. Mert így csökken a megszakító érintkezőin keletkező ív, és a primer körrel rezgőkört alkotva javítja a szekunder oldali szikrát.
6. Az állítás hibás, mert minél kisebb az ellenállás, annál nagyobb áram folyik, tehát annál gyorsabban sül ki a kondenzátor. Az időállandó $R \cdot C$, tehát arányos az ellenállással.

12.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja a kapacitást, és adja meg mértékegységét!

2. feladat (A). Két kondenzátor, $C_1 = 470\,\mu\text{F}$ és $C_2 = 220\,\mu\text{F}$, párhuzamosan kapcsolva. Számítsa ki az eredő kapacitást!

3. feladat (B). Egy RC-körben $R = 220\,\text{k}\Omega$ és $C = 47\,\mu\text{F}$. Számítsa ki az időállandót! Hány másodperc múlva tekinthető a kondenzátor gyakorlatilag kisültnek, ha a kezdeti feszültség 12 V volt?

4. feladat (B). Egy síkkondenzátor lemezfelülete $200\,\text{cm}^2$, lemeztávolsága 0,2 mm, a dielektrikum relatív permittivitása 2,5. Számítsa ki a kapacitást!

5. feladat (C). Egy hibrid jármű inverterében $C = 2000\,\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátor 350 V feszültségre töltődött. A javítás előtt a gyártó utasítása szerint meg kell várni, amíg a kondenzátor a 60 V biztonságos feszültség alá sül ki. A kisütő ellenállás $R = 50\,\text{k}\Omega$. Becsülje meg, mennyi idő alatt éri el a feszültség a 60 V-ot! (Használja az $u_C(t) = U_0 e^{-t/\tau}$ képletet.)

6. feladat (D). Egy autó belterének fénye a tervezettnél gyorsabban alszik el. Milyen alkatrész meghibásodására gyanakszik, és milyen méréssel ellenőrizné?

12.1.14. A feladatok megoldásai

1. feladat (A) megoldása: A kapacitás a kondenzátor töltése és a fegyverzetei közötti feszültség hányadosa: $C = Q/U$. Mértékegysége a farad, jele: F.

2. feladat (A) megoldása: Párhuzamos kapcsolásnál az eredő: $C_\mathrm{e} = 470\,\mu\mathrm{F} + 220\,\mu\mathrm{F} = 690\,\mu\mathrm{F}$.

3. feladat (B) megoldása: $\tau = R \cdot C = 220 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 47 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 10{,}34\,\mathrm{s}$. Gyakorlatilag kisültnek 5τ idő után tekintjük: $t \approx 5 \cdot 10{,}34\,\mathrm{s} = 51{,}7\,\mathrm{s}$.

4. feladat (B) megoldása: A lemezfelületet átváltjuk: $A = 200\,\mathrm{cm}^2 = 0{,}02\,\mathrm{m}^2$. A kapacitás:

$$C = 8{,}854 \cdot 10^{-12} \cdot 2{,}5 \cdot \frac{0{,}02}{0{,}0002}\,\mathrm{F} = 2{,}21 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F} = 2{,}21\,\mathrm{nF}.$$

5. feladat (C) megoldása: A kisütési egyenletből az idő:

$$t = \tau \cdot \ln\left(\frac{U_0}{u_C(t)}\right).$$

Az időállandó $\tau = 50\,000\,\Omega \cdot 2000 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 100\,\mathrm{s}$. A feszültségarány:

$$\frac{U_0}{u_C} = \frac{350}{60} \approx 5{,}83.$$

Ezért $t = 100\,\mathrm{s} \cdot \ln(5{,}83) \approx 100\,\mathrm{s} \cdot 1{,}76 \approx 176\,\mathrm{s} \approx 3\,\mathrm{perc}$. A gyártói várakozási idő ennél általában hosszabb, mert a biztonsági tartalékot is belekalkulálják, és a feszültségmentességet mindig műszerrel kell ellenőrizni.

6. feladat (D) megoldása: A késleltetésért általában RC-tag felel. Ha a fény gyorsabban alszik el, akkor az időállandó csökkent, ami leggyakrabban a kondenzátor kapacitásának csökkenéséből vagy a soros ellenállás értékének csökkenéséből adódik. Ellenőrzés: multiméterrel mérje a kondenzátor kapacitását, illetve az ellenállás értékét, és hasonlítsa össze a gyártói adattal (ellenőrizendő: a gyártói kapcsolási rajz és alkatrészlista). A kiszáradt vagy szivárgó elektrolitkondenzátor kapacitása jellemzően lecsökken.

12.1.15. Rövid összefoglaló

A villamos tér erőhatását a Coulomb-törvény írja le, a térerősség pedig a töltésre ható erő és a töltés hányadosa. Homogén térben $E = U/d$, ezért a gyújtógyertya kis hézagán nagy térerősség jön létre, ami kisülést okoz. A kondenzátor két lemezből és köztük szigetelő dielektrikumból áll; kapacitása $C = Q/U$, síkkondenzátorra $C = \varepsilon_0\varepsilon_r A/d$. A dielektrikum polarizációja növeli a kapacitást. Soros kapcsolásnál a reciprokok adódnak össze, párhuzamosnál a kapacitások. A tárolt energia $W = \frac{1}{2}CU^2$. A kondenzátor töltése és kisütése exponenciális lefolyású, amelyet az $\tau = RC$ időállandó jellemez. $t = \tau$ alatt a feszültség a teljes változás kb. 63%-át teszi meg (töltéskor a végérték 63%-át éri el, kisütéskor a kezdeti érték 37%-ára csökken), 5τ után gyakorlatilag kisültnek vagy feltöltöttnek tekinthető. A járművillamosságban a kondenzátort zavarszűrésre, időzítésre, gyújtási energiakezelésre és a nagyfeszültségű inverterekben pufferként használják. A HV-rendszerek javításánál a kondenzátorok miatt kötelező a várakozási idő betartása és a feszültségmentesség műszeres ellenőrzése. **Továbbvitt eredmény:** az $\tau = RC$

időállandó és az exponenciális jelleg alapozza meg a tekercsek áramfelfutásának ($\tau = L/R$, az önindukciós alfejezetben) tárgyalását és az impulzustechnikai RC-tagok számítását a későbbi alfejezetekben.

12.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

- **Szakkönyvi alapok:** villamosságtan, elektronika alapjai, járművillamossági szakkönyvek Coulomb-törvényre, kapacitásra, RC-időállandóra vonatkozó fejezetei. A fizikai összefüggések a klasszikus elektrotechnika stabil tudásanyaga.
- **Gyártói javítási adat:** a HV-rendszerre vonatkozó feszültségmentesítési eljárás, várakozási idő és kondenzátor kisütési érték pontos számai gyártónként eltérnek. **(ellenőrizendő: a gyártói javítási utasítás)**
- **Jogszabályi háttér:** a nagyfeszültségű járműveken történő munkavégzésre vonatkozó képesítési és munkavédelmi előírások. **(ellenőrizendő: a hatályos hazai munkavédelmi és szakképzési jogszabályok)**
- **Szabványok:** a mérőműszerek mérési kategóriájára és a vonatkozó villamos biztonsági szabványokra vonatkozóan mindig a hatályos előírás az irányadó. **(ellenőrizendő: MSZ EN 61010 vagy a vonatkozó harmonizált szabvány)**

12.2. Mágneses tér, mágneses kör és erőhatások

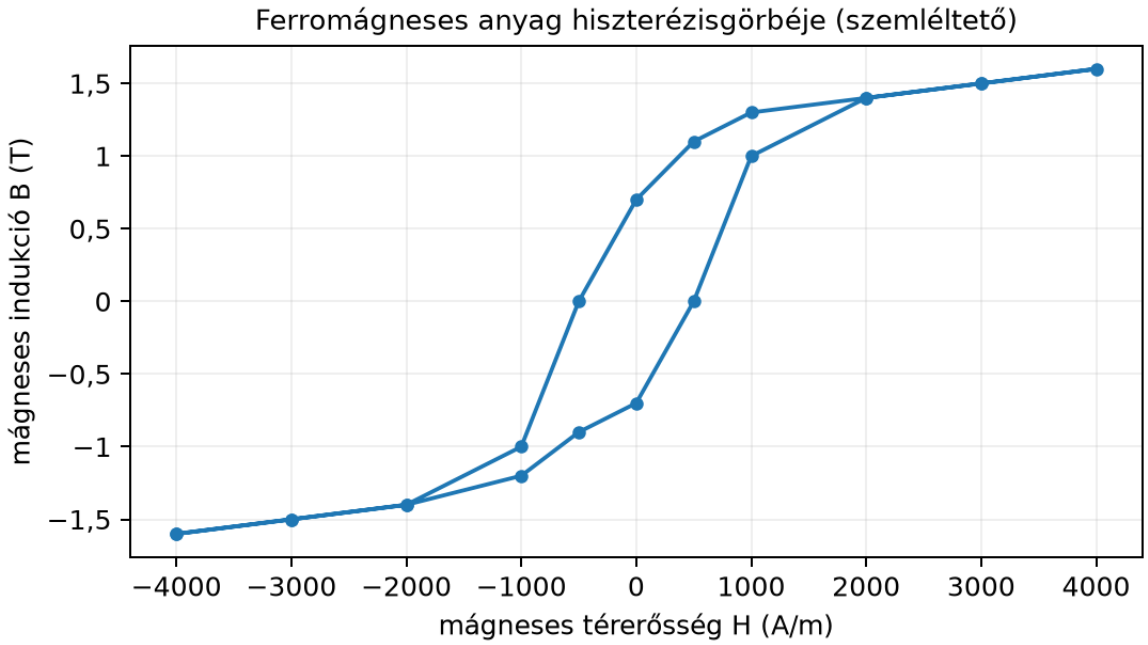
12.2.1. Motiváció

Az indítómotor behúzóreléje kattog, de a motor nem forgat; az injektorok nem nyitnak; az ablaktörlőmotor lassú, és a generátor sem tölt. Mindegyik jelenség mögött ugyanaz a fizikai alap: az árammal létrehozott mágneses tér és annak erőhatása. Ha csak „feszültséget mérünk és kicseréljük az alkatrészt”, gyakran tünetet kezelünk. A mágneses kör, a gerjesztés, a fluxus és a mágneses erő megértésével viszont pontosan el tudjuk dönteni, miért nem húz be egy relé, miért gyenge egy motor, és miért fontos a légrés vagy a telítés.

12.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy vasmagra tekercselt, például 300 menetes tekercset. Ha a tekercsen áram folyik, a vas belsejében a mágneses erővonalak a vas mentén záródnak, ahogyan a víz egy csőben. A vasban sokkal sűrűbbek az erővonalak, mint levegőben, ezért a mágneses hatás koncentrálódik. A légrésnél az erővonalak szétszóródnak, a légrés ezért „szűk keresztmetszet”, ami nagyon megnöveli a kör mágneses ellenállását. Ha a vasra mozgó horgonyt helyezünk, a mágneses erő behúzza azt – ez a relé, a behúzótekercs és az elektromágneses szelep alapja.

Az alábbi ábra egy ferromágneses anyag hiszterézisgörbéjét mutatja. A vízszintes tengely a mágneses térerősség H, a függőleges a vasban kialakuló mágneses indukció B. A görbe az anyag „mágneses emlékezetét” szemlélteti:



12.3. ábra. Ferromágneses anyag hiszterézisgörbéje (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor egy lágyvas hiszterézishurkához; nem mért anyagjellemző.

A görbe két fontos pontja: amikor $H = 0$, a B nem nulla – ez a remanencia, vagyis a vas „emlékezik”. Az a negatív H érték, ahol B visszatér nullára, a koercitív erő. Az ellaposodó szakasz a telítés: nagy H növelésére B már alig nő.

12.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Mágneses gerjesztés (magnetomotive force, Θ): A tekercs menetein átfolyó áramok összege (a menetszám és az áram szorzata), amely a mágneses teret létrehozza. Homogén tekercsre

$$\Theta = NI,$$

ahol N a menetszám, I az áram. A gerjesztés mértékegysége: amper (A). A gyakorlatban gyakran „ampermenetnek” is mondják, de a mértékegység egyszerűen amper.

Definíció. Mágneses térerősség (H): A gerjesztés hossz menti sűrűsége. Ha a l hosszúságú mágneses térben a gerjesztés egyenletesen oszlik el, akkor

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{NI}{l}.$$

Mértékegysége: A/m.

Definíció. Mágneses indukció (magnetic flux density, B): Az anyagban vagy vákuumban kialakuló mágneses fluxussűrűség, amely a H térerősség hatására jön létre:

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu H.$$

Itt $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$ a vákuum permeabilitása (mágneses állandó), μ_r az anyag relatív permeabilitása, $\mu = \mu_0\mu_r$ az abszolút permeabilitás. A B mértékegysége: tesla (T), $1\,\mathrm{T} = 1\,\mathrm{Vs/m^2}$. A T a gépjármű-jeladóknál tipikusan néhány millitesla nagyságrendű.

Definíció. Mágneses fluxus (Φ): Egy felületen áthaladó mágneses indukció összegzése. Ha a B merőleges az A felületre és homogén, akkor

$$\Phi = B\,A.$$

Mértékegysége: weber (Wb), $1\,\mathrm{Wb} = 1\,\mathrm{T}\cdot\mathrm{m}^2$.

Összefüggés. Permeabilitás: A μ_r azt fejezi ki, hányszor nagyobb az indukció ugyanakkora gerjesztésnél az anyagban, mint vákuumban. Vákuumban és levegőben $\mu_r \approx 1$, ferromágneses anyagokban – például lágyvasban vagy szilíciumvasban – jellemzően 1000 és 5000 között lehet (ellenőrizendő: konkrét anyagjellemző a gyártói adatlapról).

Megjegyzés. A „mágneses indukció” kifejezés itt a B mezőt jelenti, nem pedig az indukált feszültséget; az utóbbi az elektromágneses indukció témája az Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció alfejezetben.

12.2.4. Anyagok mágneses viselkedése

A járművillamosságban három anyagcsoportot kell ismerni.

Diamágneses anyagok (μ_r kicsit kisebb 1-nél) gyengén taszítják a mágneses teret, a gyakorlatban járműszereléskor nem meghatározók. **Paramágneses anyagok** (μ_r kicsit nagyobb 1-nél) gyengén vonzzák. **Ferromágneses anyagok** (vas, nikkel, kobalt és ötvözeteik) nagy μ_r értékűek, ezért vasmagok, reléhorgonyok, forgórészek készülnek belőlük.

A ferromágneses anyag nem lineáris: kis gerjesztésnél a B meredeken nő, majd telítésbe megy. Ha a gerjesztést csökkentjük, a B nem ugyanazon a görbén tér vissza, hanem elmarad – ezt nevezzük hiszterézisnek. A nulla H-nál megmaradó B a remanencia (B_r), a megszüntetéséhez szükséges ellentétes térerősség a koercitív erő (H_c).

A **lágy mágneses anyagok** – például a relék, transzformátorok, motorok vasanyaga – kis koercitív erejűek és keskeny hiszterézishurkájúak. A **kemény mágneses anyagok** – állandó mágnesek, például ABS-jeladó forgórészei, kis villanymotorok állórészmágnesei – nagy remanenciájúak, nagy koercitív erejűek, ezért megtartják a mágneses teret. A hőmérséklet növekedése a mágneses tulajdonságokat rontja; állandó mágneseknél egy anyagra jellemző hőmérséklet felett a mágnesség visszafordíthatatlanul gyengül (ellenőrizendő: típusonként, például neodímium vagy ferrit mágnesek).

12.2.5. Mágneses körök és analógia az elektromos körrel

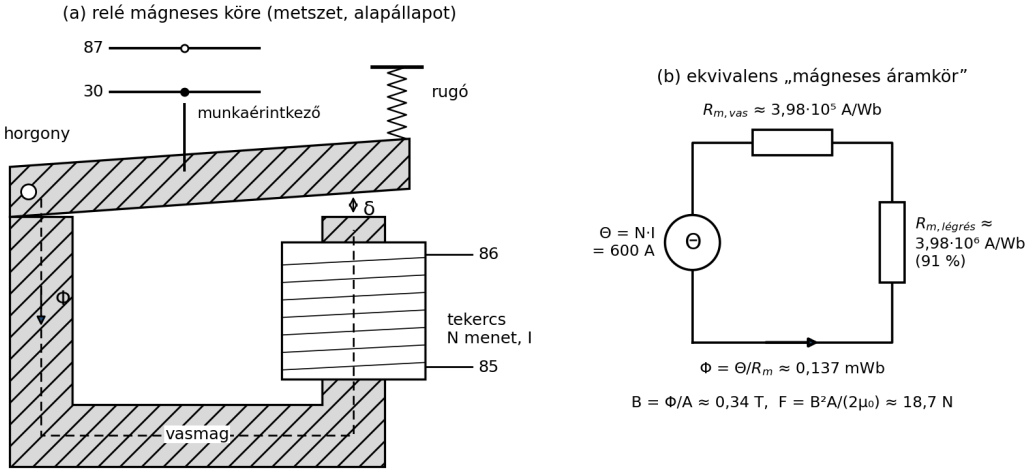
A mágneses kört az elektromos körhöz hasonlóan lehet számolni. A gerjesztés Θ a feszültségforrás megfelelője, a fluxus Φ az áramé, a mágneses ellenállás R_m pedig az elektromos ellenállásé. A Hopkinson-törvény:

$$\Theta = \Phi \cdot R_m,$$

ahol a mágneses ellenállás homogén szakaszra

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}.$$

A soros mágneses szakaszok ellenállása összeadódik. A gépjárművekben szinte mindig **vasmagos, légréssel sorba kapcsolt** kör van. A légrés $\mu_r \approx 1$ értéke miatt már néhány tizedmilliméter is olyan nagy mágneses ellenállást ad, mint sok centiméter vas; ezért a légrést nem szabad elhanyagolni.



12.4. ábra. Relé mágneses köre légréssel és az ekvivalens „mágneses áramkör” (a Kidolgozott példák „Mágneses kör légréssel” adataival)

Az ábra bal oldalán a relé metszete látható: a tekercs (85/86 kapocs) az U alakú vasmagban fluxust hoz létre, amely a horgonyon és a δ légrésen át záródik; a behúzott horgony zárja a 30–87 munkaérintkezőt. A jobb oldali ekvivalens körben a $\Theta = NI$ gerjesztés a soros $R_{m,\text{vas}}$ és $R_{m,\text{légrés}}$ ellenálláson hajtja át a Φ fluxust; a példa adataival ($N = 300$, $I = 2\,\text{A}$, $\delta = 2\,\text{mm}$) a légrés adja a mágneses ellenállás 91%-át. Az interaktív változatban a légrés, az áram, a menetszám és a μ_r állítható, és a húzóerő $F = B^2 A/(2\mu_0)$ légrésfüggése is leolvasható.

Példa. Relé mágneses köre. Egy relé tekercse vasmagban hozza létre a fluxust. A vasmag egyik végén mozgó horgony (armatúra) van, közte légrés. Amikor a tekercs árama elég nagy, a mágneses erő behúzza a horgonyt, és az érintkezők zárnak. A behúzott állapotban a légrés nagyon kicsi, ezért a tartáshoz sokkal kisebb áram is elég, mint a behúzáshoz. Ezt használják ki az indítómotor behúzóreléjénél: a behúzó tekercs nagy árammal húz be, majd egy másik tekercs vagy a csökkentett tartóáram tartja zárva.

Az indítómotor **behúzótekercse** ugyanezt a mágneses kört használja, csak nagyobb méretben: a mozgó horgony egy villát mozgat, amely a fogaskereket a lendkerék fogaskoszorújába tolja, és közben zárja a főáramköri érintkezőket.

Az injektorok **szolenoidjánál** a tekercs mágneses tere egy tűt emel meg, és ezzel nyitja vagy zárja a tüzelőanyag-járatot. Itt a légrés a tű ütközőjénél van, ezért a nyitási áram és a nyitási idő kulcsfontosságú.

12.2.6. Erőhatások mágneses térben

Összefüggés. Lorentz-erő (áramjárta vezetőre ható erő): Ha l hosszúságú, I áramú vezető B indukciójú mágneses térben van, és az áram iránya α szöget zár be a térrel, akkor a vezetőre

ható erő

$$F = BIl \sin \alpha.$$

Merőleges elrendezésben ($\alpha = 90^\circ$):

$$F = BIl.$$

Az erő irányát a **bal kéz szabálya** adja: ha a nyitott bal tenyerünkön a mágneses erővonalak befelé mutatnak, a kinyújtott ujjak az áram irányába mutatnak, akkor a kifeszített hüvelykujj az erő irányát mutatja. (Megjegyzés: az irányoknál a hagyományos áramirányt használjuk: plusztól mínusz felé.)

Relé, szolenoid húzóereje. A légrésben kialakuló B indukció a pólusfelületre közelítőleg

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

erőt fejt ki. A képletből látszik, hogy az erő a B négyzetével arányos. Ezért a légrés mérete és a telítés erősen meghatározza a relé erejét: ha a vas telítésbe megy, a B nem nő tovább, így az erő sem növelhető korlátlanul.

Egyenáramú motor nyomatéka. A járművekben használt kis egyenáramú motoroknál – ablaktörlőmotor, ventilátormotor, indítómotor – a mágneses térben forgó tekercs két oldalára ható erőpár nyomatékot hoz létre. Egy N menetű, l hosszúságú oldalú tekercsre, r sugárnál, B indukciónál és I áramnál

$$M = 2NBIlr.$$

Ez az egyenlet magyarázza, miért nyomatékosabb az indítómotor akkor, ha nagyobb a mágneses tér, több a menetszám, nagyobb az áram vagy nagyobb a forgórész sugara.

Hall-effektus előkészítése. Ha egy vékony vezető lapon I áram folyik, és erre merőleges B mágneses tér hat, a mozgó töltéshordozókra Lorentz-erő hat, ezért a lap két oldala között U_H Hall-feszültség jelenik meg. A feszültség arányos az $I \cdot B$ szorzattal. Ezt az elvet használják a későbbi fejezetekben a fordulatszám- és helyzetjeladókban, valamint az érintésmentes áramérzékelőkben (Érzékelők és jeladók és Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó kapcsán).

12.2.7. Kidolgozott példák

Példa. Gerjesztés és mágneses indukció vasmagos tekercsben.

Adott: egy tekercs $N = 200$ menetű, $I = 0{,}5\,\mathrm{A}$ áramot vesz fel, a tekercs hossza $l = 0{,}1\,\mathrm{m}$, a vasmag relatív permeabilitása $\mu_r = 2000$.

Keresett: Θ, H és B.

$$\Theta = NI = 200 \cdot 0{,}5 = 100\,\mathrm{A}.$$

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{100}{0{,}1} = 1000\,\mathrm{A/m}.$$

$$B = \mu_0 \mu_r H = 1{,}2566 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 1000 \approx 2{,}51\,\mathrm{T}.$$

Ellenőrzés: 2,51 T **meghaladja** a szokásos vasanyagok telítési indukcióját (jellemzően 1,5–2,2 T körül; ellenőrizendő: anyagjellemző), ezért ez az érték a valóságban nem jön létre: a vas telítődik, és a B ennél kisebb lesz. Ez jól mutatja, hogy a lineáris képlet csak a telítés alatt érvényes.

Példa. Mágneses kör légréssel.

Adott: tekercs $N = 300$, $I = 2\,\mathrm{A}$; vasmag közepes hossza $l_{\mathrm{vas}} = 0{,}3\,\mathrm{m}$, $\mu_r = 1500$; légrés $l_{\mathrm{légrés}} = 2\,\mathrm{mm} = 0{,}002\,\mathrm{m}$; keresztmetszet $A = 4\,\mathrm{cm}^2 = 4 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$.

Keresett: fluxus Φ és indukció B.

Gerjesztés:

$$\Theta = NI = 300 \cdot 2 = 600\,\mathrm{A}.$$

Vasmag mágneses ellenállása:

$$R_{m,\mathrm{vas}} = \frac{l_{\mathrm{vas}}}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0{,}3}{1{,}2566 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = \frac{0{,}3}{7{,}54 \cdot 10^{-7}} \approx 3{,}98 \cdot 10^5\,\mathrm{A/Wb}.$$

Légrés mágneses ellenállása:

$$R_{m,\mathrm{légrés}} = \frac{l_{\mathrm{légrés}}}{\mu_0 A} = \frac{0{,}002}{1{,}2566 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = \frac{0{,}002}{5{,}03 \cdot 10^{-10}} \approx 3{,}98 \cdot 10^6\,\mathrm{A/Wb}.$$

Az összes mágneses ellenállás:

$$R_m = R_{m,\mathrm{vas}} + R_{m,\mathrm{légrés}} \approx 4{,}38 \cdot 10^6\,\mathrm{A/Wb}.$$

Fluxus:

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m} = \frac{600}{4{,}38 \cdot 10^6} \approx 1{,}37 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{Wb} = 0{,}137\,\mathrm{mWb}.$$

Indukció:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{1{,}37 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0{,}342\,\mathrm{T}.$$

Megfigyelés: a légrés a teljes mágneses ellenállás több mint 90%-át adja, ezért a gyakorlatban a légrést mindig ellenőrizni kell.

Példa. Relé húzóereje.

Adott: relé légrésénél $B = 0{,}4\,\mathrm{T}$, pólusfelület $A = 1\,\mathrm{cm}^2 = 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$.

Keresett: húzóerő.

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \frac{(0{,}4)^2 \cdot 1 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}2566 \cdot 10^{-6}} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-5}}{2{,}513 \cdot 10^{-6}} \approx 6{,}4\,\mathrm{N}.$$

Ez egy kis relé behúzóerejeként reális. Ha a légrés megnő, B lecsökken, és az erő a négyzetes összefüggés miatt nagyon gyorsan csökken.

Példa. Egyenáramú motor nyomatéka.

Adott: $B = 0{,}6\,\mathrm{T}$, egy vezető hossza $l = 0{,}08\,\mathrm{m}$, $I = 80\,\mathrm{A}$, menetszám $N = 10$, sugár $r = 0{,}04\,\mathrm{m}$.

Keresett: nyomaték.

Egy oldalra ható erő:

$$F = BIl = 0{,}6 \cdot 80 \cdot 0{,}08 = 3{,}84\,\mathrm{N}.$$

Nyomaték:

$$M = 2NFr = 2 \cdot 10 \cdot 3{,}84 \cdot 0{,}04 = 3{,}07\,\mathrm{Nm}.$$

Az indítómotorokban nagyobb áram, több menet és nagyobb sugár adja a szükséges indítási nyomatékot; a számítási példa a módszert szemlélteti.

12.2.8. Minőségellenőrzés

A mágneses körrel működő alkatrészeket a járművön általában közvetett mérésekkel ellenőrizzük, mert a fluxust vagy a B-t a zárt szerkezetben nem tudjuk egyszerűen megmérni.

1. **Relé:** mérd meg a tekercs ellenállását a kapocsjelek között (pl. 85–86). A mért értéknek a gyártói adat tartományában kell lennie. Kapcsolj feszültséget a tekercsre, és figyeld, hogy a névleges feszültség közelében behúz-e, az érintkezők ellenállása $0{,}1\,\Omega$ alá esik-e. A behúzó és elengedő feszültség legyen a gyártói érték szerint.

2. **Szolenoid injektor:** oszcilloszkóppal nézd az áram- és feszültségjelet; az áramfelfutásnak a gyártói jelleggörbének megfelelőnek kell lennie, mert a nyitási erő a mágneses tértől függ.

3. **Egyenáramú motor:** mérd az üresjárati és terhelt áramfelvételt; a túl nagy áram gyenge mágneses térre, kopott kefékre vagy megnövekedett mechanikai ellenállásra utal.

4. **Légrés és mozgás:** ellenőrizd a horgony, a tű vagy a fogaskerék mozgását; a megnövekedett légrés vagy a szorulás csökkenti a mágneses erőt.

Biztonsági korlát. A mérések tanműhelyi környezetre és a gyártói javítási utasításra vonatkoznak; a megadott értékek tanulási példák.

12.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: indításkor a műszerfalon minden kialszik, az indítómotor csak kattog, de nem forgat. **Tünet:** a behúzórelé kattog, az indítómotor nem húz be.

Vizsgálat: az akkumulátor feszültsége nyugalmi állapotban 12,4 V. Indításkor a behúzórelé 50-es kapcsán a feszültség 10,2 V-re esik, a testponton 0,4 V feszültségesés mérhető. A behúzótekercs ellenállása a gyártói tartományban van.

Ok: a testkábel vagy a testcsatlakozás nagy átmeneti ellenállása miatt a relé tekercsére csak $10{,}2\,\mathrm{V} - 0{,}4\,\mathrm{V} = 9{,}8\,\mathrm{V}$ jut. A csökkent gerjesztés miatt a mágneses erő a négyzetes összefüggés szerint leesik, ezért a relé nem tudja biztosan tartani a főérintkezőt, és kattog.

Javítás: testcsatlakozás tisztítása, kábel ellenőrzése, szükség esetén csere. **Ellenőrzés:** indításnál a feszültségesés a testponton 0,2 V alá csökken, a relé egyszer húz be, az indítómotor forog.

12.2.10. Tipikus hibák

1. **A gerjesztés és a fluxus összekeverése.** A gerjesztés $\Theta = NI$ amper, a fluxus Φ weber; a kettőt a mágneses ellenállás köti össze.

2. **A légrés elhanyagolása.** A gyakorlatban a légrés dominál, ezért a vasmag méretéből számolt fluxus irreálisan nagy lesz, ha a légrést kihagyjuk.

3. **A telítés figyelmen kívül hagyása.** A $B = \mu H$ lineáris összefüggés csak a telítés alatt igaz; nagy gerjesztésnél a B már alig nő, tehát a relé ereje sem növelhető korlátlanul.

4. **A mágneses erő irányának téves értelmezése.** A Lorentz-erő merőleges az áramra és a mágneses térre is; a kéz-szabály felcserélése téves diagnózishoz vezet.

5. **A μ jelölés kettős jelentése.** A mágneses permeabilitás μ és a tapadási tényező μ (a fék- és menetdinamikában) két különböző fogalom, azonos betűvel; a szövegkörnyezet dönti el, melyikről van szó.

12.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A mágneses gerjesztés mértékegysége weber.

2. Igaz vagy hamis? A légrés növelése csökkenti a mágneses kör fluxusát.

3. Mit jelent a remanencia, és miért fontos a lágy mágneses anyagoknál?

4. Milyen erőhatás mozgatja az injektor szolenoid tűjét, és miért csökken az erő, ha a légrés megnő?

5. A hiszterézisgörbén hol olvasható le a koercitív erő?

12.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Számítsd ki a gerjesztést, ha egy $N = 150$ menetes tekercsben $I = 0{,}8\,\mathrm{A}$ folyik.

2. feladat (A). Magyarázd el röviden, miért van az, hogy a ferromágneses anyagban a mágneses indukció sokkal nagyobb, mint levegőben azonos gerjesztésnél, és mi történik telítéskor.

3. feladat (B). Egy mágneses körben a vasmag hossza 0,25 m, relatív permeabilitása $\mu_r = 1200$, a légrés 1 mm, a keresztmetszet mindenhol $3\,\mathrm{cm}^2$. A tekercs $N = 250$ menetű, az áram $I = 1{,}5\,\mathrm{A}$. Számítsd ki az összes mágneses ellenállást, a fluxust és az indukciót.

4. feladat (B). Egy relé pólusfelülete $A = 0{,}8\,\mathrm{cm}^2$, a légrésben $B = 0{,}35\,\mathrm{T}$. Mekkora a húzóerő? Ha a légrés megnő, és B értéke 0,20 T-re csökken, hány százalékkal lesz kisebb az erő?

5. feladat (C). Miért nem lehet egy relé húzóerejét a tekercs áramának növelésével minden határon túl növelni? Vedd figyelembe a vas telítését és a tekercs hőterhelését.

6. feladat (D). Indítómotor behúzóreléje kattog, az indítómotor nem forgat. A mérés: akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,4 V; indításkor a relé tekercsének plusz oldalán 10,1 V, a testoldalon 0,5 V feszültségesést mérsz. Mi a legvalószínűbb hiba? Milyen javítást javasolsz, és miért?

12.2.13. Megoldások

12.2.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A gerjesztés mértékegysége amper (A), a fluxusé weber (Wb).

2. **Igaz.** A légrés mágneses ellenállása nagy, ezért a fluxus csökken.

3. A remanencia a ferromágneses anyagban visszamaradó mágneses indukció, amikor a külső H nullára csökken. Lágy mágneses anyagoknál kicsinek kell lennie, hogy a relé kikapcsolás után azonnal elengedjen.

4. A szolenoid tűjére a légrésben kialakuló mágneses tér húzóereje hat. Ha a légrés nő, a mágneses ellenállás nő, a fluxus és a B csökken, így az erő a B négyzetével arányosan esik.

5. A hiszterézisgörbén a koercitív erő az a negatív H érték, ahol a B értéke nulla.

12.2.13.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A). $\Theta = NI = 150 \cdot 0{,}8 = 120\,\mathrm{A}$.

2. feladat (A). A ferromágneses anyag μ_r-je nagy, ezért $B = \mu_0 \mu_r H$ szerint az indukció sokszorosa a vákuumban mérhetőnek. Telítéskor a B már nem nő tovább arányosan, mert az anyagban a mágneses domének rendeződése telítődik.

3. feladat (B). Adatok: $l_{\mathrm{vas}} = 0{,}25\,\mathrm{m}$, $\mu_r = 1200$, $l_{\mathrm{légrés}} = 0{,}001\,\mathrm{m}$, $A = 3\,\mathrm{cm}^2 = 3 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$, $N = 250$, $I = 1{,}5\,\mathrm{A}$.

Gerjesztés: $\Theta = 250 \cdot 1{,}5 = 375\,\mathrm{A}$.

Vasmag mágneses ellenállása:

$$R_{m,\text{vas}} = \frac{0{,}25}{1{,}2566 \cdot 10^{-6} \cdot 1200 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = \frac{0{,}25}{4{,}52 \cdot 10^{-7}} \approx 5{,}53 \cdot 10^{5}\ \text{A/Wb}.$$

Légrés mágneses ellenállása:

$$R_{m,\text{légrés}} = \frac{0{,}001}{1{,}2566 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = \frac{0{,}001}{3{,}77 \cdot 10^{-10}} \approx 2{,}65 \cdot 10^{6}\ \text{A/Wb}.$$

Összes mágneses ellenállás:

$$R_m \approx 3{,}20 \cdot 10^{6}\ \text{A/Wb}.$$

Fluxus:

$$\Phi = \frac{375}{3{,}20 \cdot 10^{6}} \approx 1{,}17 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb} = 0{,}117\ \text{mWb}.$$

Indukció:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{1{,}17 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-4}} = 0{,}39\ \text{T}.$$

4. feladat (B). Első eset:

$$F_1 = \frac{(0{,}35)^2 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}2566 \cdot 10^{-6}} = \frac{9{,}8 \cdot 10^{-6}}{2{,}513 \cdot 10^{-6}} \approx 3{,}9\ \text{N}.$$

Második eset:

$$F_2 = \frac{(0{,}20)^2 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}2566 \cdot 10^{-6}} = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-6}}{2{,}513 \cdot 10^{-6}} \approx 1{,}27\ \text{N}.$$

Az erő csökkenése: $\frac{3{,}9-1{,}27}{3{,}9} \cdot 100 \approx 67\%$.

5. feladat (C). A ferromágneses vas telítése miatt a B nem nő lineárisan; telítés után hiába növeljük a gerjesztést, a fluxus alig változik, tehát a húzóerő sem nő érdemben. Emellett a tekercs áramának növelése növeli a $P = I^2R$ veszteséget, a tekercs túlmelegszik, a szigetelés károsodhat, és a relé tönkremegy.

6. feladat (D). A testoldali 0,5 V feszültségesés nagy, ezért a relé tekercsére csak $10{,}1 - 0{,}5 = 9{,}6$ V jut. A csökkent gerjesztés miatt a relé mágneses ereje lecsökken, és nem tudja zárva tartani a főérintkezőt. A legvalószínűbb hiba a testkábel vagy a testcsatlakozás nagy átmeneti ellenállása. Javítás: a testcsatlakozás tisztítása, a kábel és a cipősaru ellenőrzése, szükség esetén csere, majd indítási teszt.

12.2.14. Rövid összefoglaló

A mágneses teret a tekercs gerjesztése hozza létre: $\Theta = NI$. A gerjesztéshez tartozó H térerősség az anyagban $B = \mu_0\mu_r H$ mágneses indukciót hoz létre, a fluxus pedig $\Phi = B\,A$. A ferromágneses anyagok nagy μ_r értéke miatt koncentrálják a mágneses teret, de telítésbe esnek, és hiszterézist mutatnak: a remanencia és a koercitív erő az anyag mágneses emlékezetét jellemzi. A mágneses kör hasonló az elektromos körhöz: $\Theta = \Phi R_m$, ahol a mágneses ellenállás $R_m = l/(\mu_0\mu_r A)$; a légrés már kis méretben is uralja a kört. Az erőhatások közül az áramjárta vezetőre $F = BIl\sin\alpha$ erő hat, a relé és szolenoid húzóereje $F = B^2A/(2\mu_0)$, az egyenáramú motor nyomatéka pedig $M = 2NBIlr$. Ezek a törvények magyarázzák az indítómotor behúzóreléjének, az injektorszolenoidnak és a villamos motoroknak a működését. **Továbbvitt eredmény.** A mágneses tér időbeli változása és a fluxus fogalma az Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció alfejezetben használt indukált feszültség alapja; a relé, a szolenoid és a motor itt megismert mágneses köre pedig a későbbi fejezetekben az induktivitás gyakorlati megjelenése.

12.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: fizika- és elektrotechnika-tankönyvek (mágneses tér, mágneses kör, Lorentz-erő); gyártói javítási anyagok az indítómotor, relé, injektor és motorok ellenőrzési értékeihez; anyagjellemzők (permeabilitás, telítési indukció, remanencia, koercitív erő) gyártói adatlapokból.

Ellenőrizendő állítások: a relatív permeabilitás tipikus értékei, a telítési indukció nagysága, a neodímium és ferrit mágnesek hőmérsékleti határai, valamint a járművekben használt relék, behúzótekercsek és injektorok konkrét áram- és erőadatai. A példákban szereplő B, H, erő- és nyomatékértékek tanulási példák, nem mért gyártói adatok.

12.3. Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció

12.3.1. Motiváció

A műhelyben gyakran találkozunk olyan hibákkal, amelyeket csak az elektromágneses indukció ismeretében tudunk értelmezni: a motor nem indul, mert a gyújtótekercs nem ad szikrát; a generátor nem tölt, pedig a hajtószíj és a kábelezés rendben van; a vezérlőegység egyik relévezérlő tranzisztora újra és újra tönkremegy. A közös ok mindhárom esetben az, hogy a mágneses fluxus változása feszültséget indukál – ez a feszültség hasznos munkát végezhet, vagy káros túlfeszültséget okozhat.

12.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy tekercset, amelyhez érzékeny árammérőt kötünk. Ha egy rúdmágnest gyorsan a tekercsbe dugunk, a műszer kitér; ha a mágnes áll, nem mutat semmit; ha kihúzzuk, ellenkező irányba tér ki. A mágnes mozgatása megváltoztatja a tekercs menetein áthaladó mágneses fluxust, és a változás sebességével arányos feszültség jelenik meg a kapcsokon. Ugyanez történik a jármű generátorában, az induktív jeladóban és a gyújtótekercsben, csak ott a fluxust forgó mágneses tér, fogazott kerék vagy megszakadó primer áram hozza létre.

12.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A mágneses fluxus a mágneses indukció és a felület szorzata, ha a tér homogén és a felületre merőleges:

$$\Phi = B \cdot A.$$

A fluxus mértékegysége a weber: $1\,\mathrm{Wb} = 1\,\mathrm{T} \cdot \mathrm{m}^2$.

Összefüggés. A Faraday-féle indukciótörvény szerint egy N menetszámú tekercs kapcsain indukált feszültség a fluxusváltozás sebességével arányos, iránya pedig a Lenz-törvény szerint olyan, hogy az általa létrehozott áram mágneses hatása gátolja az őt létrehozó fluxusváltozást:

$$u_{\mathrm{i}} = -N\frac{d\Phi}{dt}.$$

A negatív előjel a Lenz-törvény matematikai formája.

Definíció. Mozgási indukcióról akkor beszélünk, ha a vezető mozog a mágneses térben. Ha a B mágneses indukció, a vezető l hossza és a v sebesség egymásra merőleges, akkor a vezetőben indukált feszültség:

$$u_{\mathrm{i}} = B\,l\,v.$$

Definíció. Nyugalmi indukcióról akkor beszélünk, ha a vezető nem mozog, de a mágneses tér időben változik. Ilyen például a gyújtótekercs szekunder feszültsége, amikor a primer áram megszakad, és a primer fluxus összeomlik.

Definíció. Az önindukció jelensége során a tekercsben folyó áram változása a tekercs saját fluxusát változtatja meg, ezért a tekercsben saját maga ellen feszültség indukálódik. Az L induktivitás az áramváltozás és az indukált feszültség közötti arányossági tényező:

$$u_{\mathrm{L}} = L\frac{di}{dt}.$$

Az induktivitás mértékegysége a henry: $1\,\mathrm{H} = 1\,\mathrm{V}\cdot\mathrm{s/A}$.

Összefüggés. Az induktivitásban tárolt mágneses energia:

$$W_{\mathrm{L}} = \frac{1}{2}L\,I^2.$$

A négyzetes függés azt jelenti, hogy a tekercs energiája az árammal négyzetesen nő; ezért nagy áramú kör megszakításakor sok energia szabadulhat fel.

Definíció. Két tekercs kölcsönös indukciójánál az egyik tekercs áramának változása a másik tekercsben indukál feszültséget:

$$u_2 = M\frac{di_1}{dt},$$

ahol M a kölcsönös induktivitás, mértékegysége szintén henry. A csatolás erősségét a k csatolási tényező adja: $k = M/\sqrt{L_1 L_2}$, értéke ideális, teljes csatolásnál $k = 1$.

Összefüggés. Ideális, egymással nem csatolt tekercsek induktivitása soros kapcsolásnál összeadódik: $L_{\mathrm{s}} = L_1 + L_2$. Párhuzamos kapcsolásnál a reciprokok adódnak:

$$\frac{1}{L_{\mathrm{p}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}.$$

Ez formailag az ellenállások kapcsolásának megfordítottja.

12.3.4. Felépítés és működés

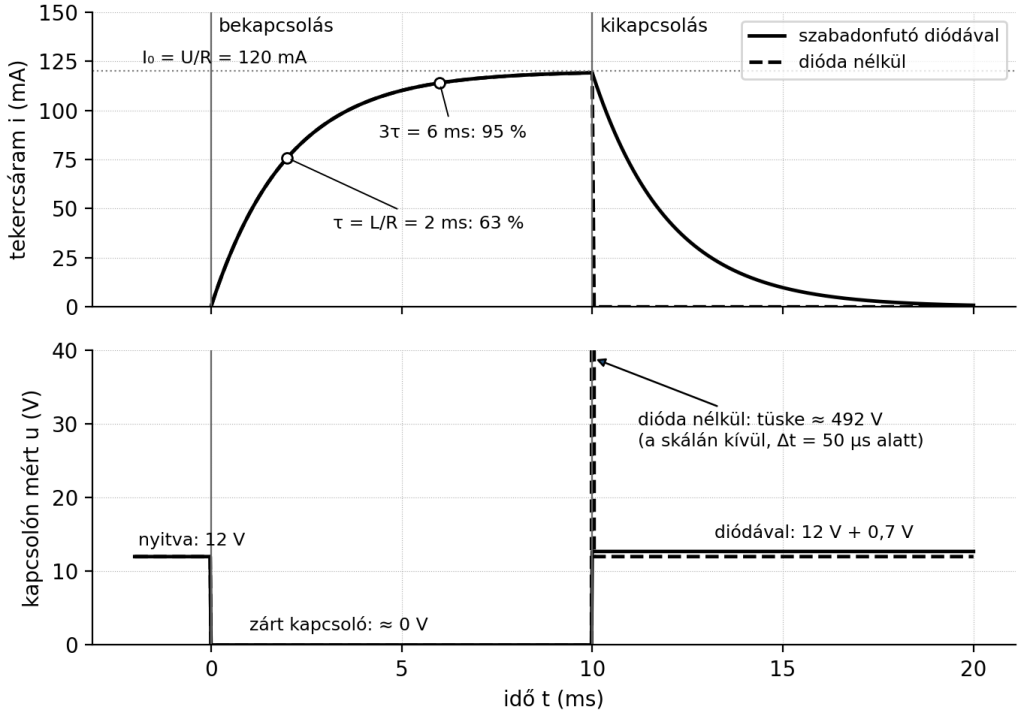
12.3.4.1. Bekapcsolási és kikapcsolási jelenség

Ha egy R ellenállást és L induktivitást tartalmazó kört egyenfeszültségre kapcsolunk, az áram nem ugrik fel azonnal, mert az áramváltozás miatt a tekercsben $u_{\mathrm{L}} = L\,di/dt$ önindukciós feszültség ébred, amely Lenz-törvény szerint az áram növekedése ellen hat. Az áram időfüggvénye:

$$i(t) = I_0\left(1 - e^{-t/\tau}\right),$$

ahol $I_0 = U/R$ a végleges áram, és $\tau = L/R$ az áramkör időállandója. Egy τ idő alatt az áram a végleges érték körülbelül 63%-át éri el.

Kikapcsoláskor a jelenség fordított: az áram nem szakadhat meg azonnal, mert a tekercs mágneses mezeje igyekszik fenntartani az áramot. Ha a kapcsoló megszakítja az áramkört, a tekercsben nagyon nagy $u_{\mathrm{L}} = L\,\Delta i/\Delta t$ feszültség indukálódik, mert Δt nagyon kicsi. Ez a kikapcsolási túlfeszültség ívet húzhat a kapcsolón, vagy tönkreteheti a körben lévő félvezetőt, például a relétekercset vezérlő tranzisztort.



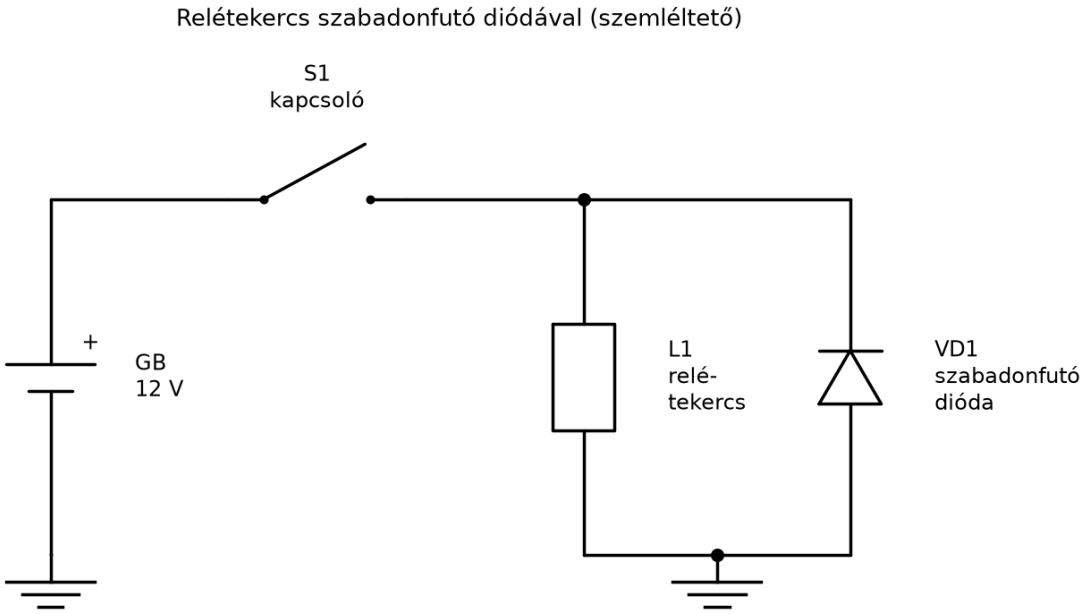
12.5. ábra. Relétekercs árama és a kapcsoló feszültsége be- és kikapcsoláskor ($R = 100\,\Omega$, $L = 0{,}2\,\mathrm{H}$, $U = 12\,\mathrm{V}$; számított, szemléltető görbék)

Az ábra felső része a tekercsáramot mutatja: bekapcsoláskor $\tau = L/R = 2\,\mathrm{ms}$ alatt a végleges $I_0 = 120\,\mathrm{mA}$ 63%-ára, $3\tau = 6\,\mathrm{ms}$ alatt 95%-ára nő. Az alsó rész a kapcsolón mérhető feszültség: szabadonfutó diódával kikapcsoláskor csak kb. 12,7 V, dióda nélkül (ha a kapcsoló kb. $50\,\mu\mathrm{s}$ alatt szakít) kb. 490 V-os tüske jelenik meg. Az interaktív változatban az R, L, U és a megszakítási idő állítható, a dióda ki-be kapcsolható.

Figyelem. A gyújtótekercs és a relétekercs nagy áramváltozási sebessége életveszélyes feszültségcsúcsot hozhat létre a primer oldalon is. A mérést mindig a gyártói adatok szerint, megfelelő műszerezettséggel végezzük; a gyújtórendszer szekunder oldalán több kilovolt is lehet.

12.3.4.2. Szabadonfutó dióda

A kikapcsolási túlfeszültség elleni egyszerű védelem a tekercs kapcsaival párhuzamosan, ellentétes polaritással bekötött dióda, az úgynevezett szabadonfutó dióda. Normál üzemben a dióda záróirányban van, ezért nem vezet, és nem befolyásolja az áramkört. Kikapcsoláskor az önindukciós feszültség a diódát nyitóirányba teszi, így a tekercs árama a diódán keresztül tovább folyhat, és a feszültség a dióda nyitófeszültségére (szilíciumdiódánál kb. 0,7 V) korlátozódik.



12.6. ábra. Relétekercs szabadonfutó diódával (szemléltető) - A kapcsolási rajz az alapállapotot mutatja (kapcsoló nyitva). A dióda anódja a tekercs test felőli, katódja a tápfeszültség felőli kivezetésén van. A valós járműben a tekercset a gyártói áramútrajz szerint kell bekötni, és a beépített védődiódát ellenőrizni.

Az ábrán a GB 12 V-os fedélzeti feszültségforrás, az $S1$ kapcsoló a relétekercs bekapcsolását szemlélteti, az $L1$ a relé tekercse, a $VD1$ pedig a szabadonfutó dióda. A dióda anódja a tekercs test felőli oldalára, katódja a tápfeszültség felőli oldalára csatlakozik. Ha az $S1$ zár, a tekercsen a tápfeszültség pozitív pólusa felől a test felé folyik áram; kinyitáskor a tekercs alsó kivezetése pozitívvá válik, így a dióda nyitóirányba kerül, és levezeti az indukált energiát.

12.3.4.3. Örvényáramok

Ha változó mágneses tér ér egy tömör vezetőt, akkor a vezetőben zárt áramhurkok, örvényáramok indukálódnak. Az örvényáramok a Lenz-törvény szerint olyan mágneses teret hoznak létre, amely fékezi az őket létrehozó változást. Ez okozza a transzformátorlemezek és motorlemezek melegedését (vasveszteség), ezért készülnek a villamos gépek lemezeit vékonyra hengerelt, egymástól szigetelt lemezekből. A jelenség hasznos felhasználása például a járművek örvényáramú retardere, amelyben egy forgó fémtárcsa mágneses terében fékeződik anélkül, hogy súrlódó alkatrész kopna.

12.3.5. Kidolgozott példák

Példa 1. Mozgási indukció.

Egy $B = 0{,}6\,\mathrm{T}$ homogén mágneses térben egy $l = 0{,}25\,\mathrm{m}$ hosszú vezető $v = 8\,\mathrm{m/s}$ sebességgel mozog a térre merőlegesen. Mekkora feszültség indukálódik?

$$u_\mathrm{i} = B\,l\,v = 0{,}6\,\mathrm{T} \cdot 0{,}25\,\mathrm{m} \cdot 8\,\mathrm{m/s} = 1{,}2\,\mathrm{V}.$$

Az eredmény nagyságrendje a járművillamosságban szokásos jelfeszültségek közé esik. ∎

Példa 2. Kikapcsolási túlfeszültség a gyújtótekercs primer oldalán.

Egy gyújtótekercs primer induktivitása $L_1 = 8\,\mathrm{mH}$, a primer áram $I_1 = 5\,\mathrm{A}$. A megszakító tranzisztor kb. $\Delta t = 50\,\mu\mathrm{s}$ alatt szakítja meg az áramot. Becsüljük meg az átlagos primer feszültségcsúcsot!

$$\frac{\Delta i_1}{\Delta t} = \frac{5\,\mathrm{A}}{50 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{s}} = 100\,000\,\mathrm{A/s}.$$

$$u_1 \approx L_1 \frac{\Delta i_1}{\Delta t} = 8 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{H} \cdot 100\,000\,\mathrm{A/s} = 800\,\mathrm{V}.$$

Ez az érték tanulási példa; a valóságban a szekunder oldal terhelése és a szórt induktivitás miatt a primer feszültség ennél kisebb vagy nagyobb is lehet (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). A szekunder tekercsen a menetszámáttétel miatt több kilovolt jelenik meg. ∎

Példa 3. RL-kör bekapcsolási folyamata.

Egy relétekercs ellenállása $R = 100\,\Omega$, induktivitása $L = 0{,}2\,\mathrm{H}$. Mekkora az időállandó, és mekkora az áram a végleges értékhez képest $t = 6\,\mathrm{ms}$ után?

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0{,}2\,\mathrm{H}}{100\,\Omega} = 0{,}002\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{ms}.$$

Három időállandó után: $t = 3\tau = 6\,\mathrm{ms}$, így

$$i(3\tau) = I_0\,(1 - e^{-3}) \approx I_0 \cdot 0{,}95.$$

Az áram tehát a végleges érték körülbelül 95%-át éri el. ∎

12.3.6. Minőségellenőrzés

A leírt jelenségekhez kapcsolódó gyakorlati ellenőrzések:

- **Induktív jeladó:** multiméterrel mérjük a tekercs ellenállását; tipikus érték néhány száz ohm és néhány kiloohm között van, de gyártói adatot kell használni. Oszcilloszkóppal forgatás közben váltakozó, közel szinuszos jelet kell látni; a jel amplitúdója a fordulatszámmal nő.
- **Gyújtótekercs:** a primer és szekunder ellenállás mellett a szigetelést és a csatlakozókat ellenőrizzük. A gyújtótekercs nagyfeszültségű oldalán a mérést csak a gyártói előírás szerint, megfelelő műszerrel végezzük.
- **Relé és védődióda:** a relétekercs ellenállása mérhető, a beépített szabadonfutó dióda pedig multiméter diódavizsgáló üzemmódjában ellenőrizhető: nyitóirányban kb. 0,5–0,7 V, záróirányban „OL” (szakadás) a várt kijelzés. A dióda polaritása a kapcsolási rajzról olvasható le; fordított polaritású dióda rövidzárlatot okoz.

12.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy személyautónál a motor időnként leállt, és a hibakód a motorvezérlő egység egyik relévezérlő tranzisztorának meghibásodását jelezte. A szerelő kicserélte a vezérlőegységet, de a hiba rövid időn belül visszatért. Az okot később a relétekercs kikapcsolási feszültségcsúcsa okozta: a beépített szabadonfutó dióda hiányzott, vagy a relé nem a gyári típus volt. A javítás során a gyártói típusú, beépített védődiódát tartalmazó relét szereltek be, és oszcilloszkóppal ellenőrizték, hogy a kapcsoló feszültség a kikapcsolás pillanatában már nem haladja meg a gyártó által megengedett értéket. A hiba megszűnt, és a vezérlőegység is megbízhatóan működött.

12.3.8. Tipikus hibák

1. **A Lenz-törvény előjelének figyelmen kívül hagyása.** Emiatt a szabadonfutó diódát fordítva kötik be: a dióda normál üzemben is vezet, ami gyakorlatilag rövidzárlatot okoz a tápfeszültség felé.
2. **Az induktivitás és az ellenállás összekeverése.** A tekercs induktivitását egyszerű ellenállásmérővel próbálják mérni, pedig az L értéket csak váltakozó áramú vagy induktivitásmérő módszerrel lehet meghatározni.
3. **A kikapcsolási feszültségcsúcs alulbecslése.** A szerelő nem gondol arra, hogy egy kis induktivitású relétekercs is több száz voltos tüskét adhat, ezért nem ellenőrzi a védődiódát, és tönkremegy a vezérlő félvezető.
4. **Az induktív jeladó jelének egyenfeszültségként kezelése.** A jeladó kimenete váltakozó feszültség, amelynek frekvenciája és amplitúdója a fordulatszámtól függ; ha a mérést egyenfeszültség-tartományban végezzük, hibás következtetést vonhatunk le.

12.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A tekercsben indukált feszültség nagysága a fluxusváltozás sebességével arányos.
2. Egy $L = 0{,}2\,\mathrm{H}$ induktivitású tekercsben az áram $di/dt = 50\,\mathrm{A/s}$ sebességgel változik. Mekkora az önindukciós feszültség?
3. Mi a hiba ebben a leírásban? „A szabadonfutó dióda a relétekercs kapcsaival párhuzamosan, a tápfeszültséggel megegyező irányban van bekötve, ezért kikapcsoláskor vezet.”

4. Rajzolvasás: az előző kapcsolási rajzon miért a tekercs test felőli oldalához csatlakozik a dióda anódja?
5. Miért van szükség nagy primer áramváltozási sebességre a gyújtótekercs nagy szekunder feszültségének létrehozásához?

12.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja az önindukciót, és adja meg az induktivitás mértékegységét.

2. feladat (A). Egy $B = 0{,}8\,\mathrm{T}$ mágneses térben egy $l = 0{,}15\,\mathrm{m}$ hosszú vezető $v = 12\,\mathrm{m/s}$ sebességgel mozog a térre merőlegesen. Számítsa ki az indukált feszültséget.

3. feladat (B). Egy relétekercs ellenállása $R = 50\,\Omega$, induktivitása $L = 0{,}1\,\mathrm{H}$. Számítsa ki az időállandót, és adja meg, mennyi idő alatt éri el az áram a végleges érték körülbelül 86%-át.

4. feladat (B). Egy gyújtótekercs primer induktivitása $L_1 = 6\,\mathrm{mH}$, a primer áram $I_1 = 4\,\mathrm{A}$. A megszakítás ideje $\Delta t = 30\,\mu\mathrm{s}$. Becsülje meg az átlagos primer önindukciós feszültséget.

5. feladat (C). Miért nem elegendő a relétekercs önindukciós feszültségének kiszámításakor csak a tekercs induktivitását és az áramot ismerni, ha a megszakítási idő nem ismert?

6. feladat (D). Egy induktív jeladó jele hiányzik. A multiméter a tekercs ellenállását a gyártói előíráson belül mutatja, a légrés a gyártói adat szerint helyes, de az oszcilloszkóp forgatás közben nem mutat váltakozó jelet. Sorolja fel a lehetséges okokat, és adja meg a vizsgálat következő lépését.

12.3.11. Megoldások

12.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Faraday törvénye szerint $u_\mathrm{i} = -N\,d\Phi/dt$, tehát a fluxusváltozás sebessége határozza meg a nagyságot.
2. $u_\mathrm{L} = L\,di/dt = 0{,}2 \cdot 50 = 10\,\mathrm{V}$.
3. A hiba: ha a dióda a tápfeszültséggel megegyező (nyitó)irányban van bekötve, akkor normál üzemben vezet, és rövidre zárja a tápot (a biztosíték kiolvad, vagy a vezérlő tranzisztor tönkremegy). Helyesen a dióda a tápfeszültséggel ellentétes polaritású (katódja a pozitív felé), normál üzemben zár, és csak kikapcsoláskor vezet.
4. Mert kikapcsoláskor a tekercs alsó kivezetése válik pozitívvá, így a dióda anódja a test felőli oldalra, katódja a tápfeszültség felőli oldalra kerül, hogy nyitóirányba kerüljön.
5. Mert $u_\mathrm{sz} \approx N_\mathrm{sz}/N_\mathrm{pr} \cdot u_\mathrm{pr}$, a primer feszültség pedig $u_\mathrm{pr} = L_1\,di_1/dt$; minél gyorsabban szakad meg a primer áram, annál nagyobb lesz a szekunder feszültség.

12.3.11.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A). Az önindukció során a tekercs saját áramának változása fluxusváltozást idéz elő, ami a tekercsben feszültséget indukál: $u_\mathrm{L} = L\,di/dt$. Az L induktivitás mértékegysége a henry ($1\,\mathrm{H} = 1\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{s/A}$).

2. feladat (A). $u_\mathrm{i} = B\,l\,v = 0{,}8\,\mathrm{T} \cdot 0{,}15\,\mathrm{m} \cdot 12\,\mathrm{m/s} = 1{,}44\,\mathrm{V}$.

3. feladat (B). $\tau = L/R = 0{,}1\,\mathrm{H}/50\,\Omega = 0{,}002\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{ms}$. Az áram időfüggvénye $i(t) = I_0(1 - e^{-t/\tau})$. A 86% eléréséhez $1 - e^{-t/\tau} = 0{,}86$, tehát $e^{-t/\tau} = 0{,}14$. Ennek logaritmusát véve: $-t/\tau = \ln(0{,}14) \approx -1{,}97$, így $t \approx 1{,}97\,\tau \approx 3{,}9\,\mathrm{ms}$. Tehát körülbelül két időállandó után.

4. feladat (B). $\Delta i_1/\Delta t = 4\,\mathrm{A}/30\cdot 10^{-6}\,\mathrm{s} \approx 133\,333\,\mathrm{A/s}$. $u_1 \approx L_1\,\Delta i_1/\Delta t = 6\cdot 10^{-3}\cdot 133\,333 \approx 800\,\mathrm{V}$. Az érték tanulási példa (ellenőrizendő: gyártói adat).

5. feladat (C). Az önindukciós feszültség nemcsak az áramtól, hanem az áramváltozás sebességétől függ: $u_\mathrm{L} = L\,di/dt$. Ha a megszakítási idő nagyon rövid, a feszültség nagyon nagy lehet, ezért a kikapcsolási folyamat időtartama alapvetően befolyásolja a túlfeszültség nagyságát. A megszakítási idő a kapcsoló, a tranzisztor és az áramkör szórt kapacitásától is függ.

6. feladat (D). Lehetséges okok: a jelvezeték szakadása vagy zárlata a csatlakozó és a vezérlőegység között; a jeladó fogaskerekének sérülése, hiányzó fog vagy hibás légrés; a vezérlőegység bemeneti csatornájának hibája; a mérési pont rossz kiválasztása vagy az oszcilloszkóp földelési pont hibája. Következő lépés: multiméterrel ellenőrizni a jelvezeték folytonosságát és testzárlatát a csatlakozó és az ECU között, majd oszcilloszkóppal közvetlenül a jeladó csatlakozóján mérni forgatás közben, hogy a hibát a jeladó és a kábelezés között lehessen elhatárolni.

12.3.12. Rövid összefoglaló

A Faraday-féle indukciótörvény szerint a tekercsben indukált feszültség a mágneses fluxus változási sebességével arányos: $u_\mathrm{i} = -N\,d\Phi/dt$, a negatív előjel a Lenz-törvényt fejezi ki. Mozgási indukciónál homogén térben $u_\mathrm{i} = B\,l\,v$. Az önindukció a tekercs saját áramváltozásából származik: $u_\mathrm{L} = L\,di/dt$; az induktivitás energiája $W_\mathrm{L} = \tfrac{1}{2}LI^2$. RL-körben az áram exponenciálisan éri el végleges értékét $\tau = L/R$ időállandóval. Bekapcsolás: $i(t) = I_0(1 - e^{-t/\tau})$, kikapcsolás: $i(t) = I_0 e^{-t/\tau}$. Kikapcsoláskor nagy $L\,\Delta i/\Delta t$ feszültségcsúcs keletkezik, amelyet szabadonfutó diódával korlátozunk. Két tekercs között kölcsönös indukció lép fel: $u_2 = M\,di_1/dt$. Az elv magyarázza a generátor, az induktív jeladó és a gyújtótekercs működését. **Továbbvitt eredmény.** Az indukció és a kikapcsolási túlfeszültség ismeretét a Váltakozó áram, reaktanciák, RLC-körök és teljesítmény alfejezetben a reaktancia fogalmához, valamint a Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig alfejezetben a gyújtótekercs részletes vizsgálatához használjuk fel.

12.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A tárgyalt fizikai alapok stabil elektrotechnikai ismeretek. A kapcsolási rajz a szabványos jelölések szerint készült (IEC 60617 / MSZ EN 60617 jellegű rajzjelek). A gyakorlati értékek – gyújtótekercs primer induktivitása, megszakítási idő, relétekercs ellenállása, induktív jeladó jellemzői – tanulási példák, és mindig a gyártói javítási adat vagy a jármű kapcsolási rajza a mérvadó. Ellenőrizendő: a gyújtótekercs tipikus primer ellenállása és induktivitása, a szabadonfutó dióda beépítési módja adott reléknél, valamint a fedélzeti hálózatban a kikapcsolási feszültség megengedett csúcsértéke. A nagyfeszültségű gyújtás és a félvezetős megszakító áramkörök mérése külön munkavédelmi és műszeres követelményekhez kötött.

13 Váltakozó áram, transzformátor, háromfázisú rendszer és villamos gépek

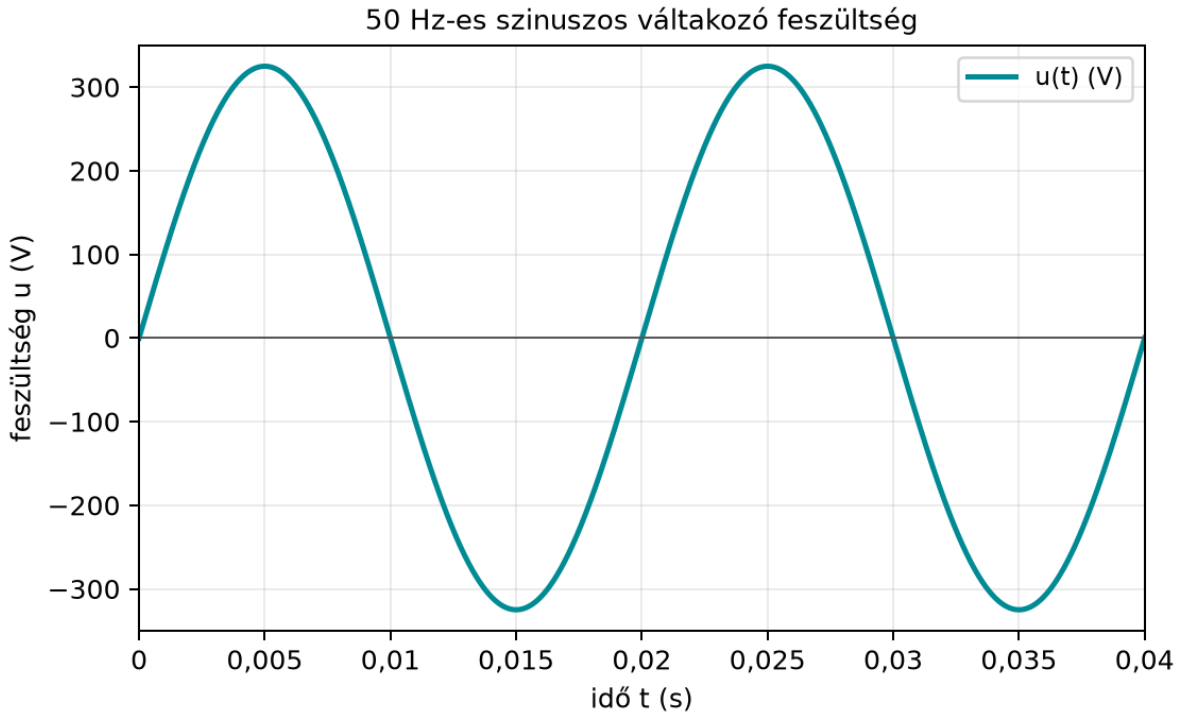
13.1. Váltakozó áram, reaktanciák, RLC-körök és teljesítmény

13.1.1. Motiváció

Egy gépjármű-generátor hibakeresésekor gyakori, hogy a töltőfeszültséget műhelyi multiméterrel egyenfeszültség-állásban megmérve 14,2 V körüli értéket kapunk, mégis a jármű elektronikája akadozik. A hiba okát sokszor csak oszcilloszkóppal találjuk meg: a generátor kimenetén megjelenik egy váltakozó, maradékfeszültségnek nevezett jel. Ha a szerelő nem érti a váltakozó áramú feszültség csúcsértékének, effektív értékének és frekvenciájának fogalmát, akkor ennek a jelnek a mérését és értékelését sem tudja elvégezni.
Ez az alfejezet a váltakozó áramú hálózatok alapjait tanítja: hogyan keletkezik a szinuszos feszültség, hogyan ábrázoljuk idődiagramon és fázorral, mit jelent az effektív érték, és hogyan viselkedik az ellenállás, a tekercs és a kondenzátor váltakozó áramú áramkörben. A tanultakat később a transzformátor, a háromfázisú rendszer és az oszcilloszkópos mérések fejezetében is felhasználjuk (A transzformátor és a háromfázisú rendszer, Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata).

13.1.2. Szemléletes kép

A váltakozó feszültség legismertebb alakja a szinuszos időfüggvény. Az alábbi ábra egy 50 Hz-es hálózati feszültséget mutat, amelynek csúcsértéke 325 V, effektív értéke pedig 230 V.



13.1. ábra. 50 Hz-es szinuszos váltakozó feszültség - Szemléltető függvény: u(t)=325 · sin(2π · 50 · t) V, azaz 230 V effektív értékű hálózati feszültség csúcsértéke. A jel periódusideje 0,02 s.

Az ábrán jól látható, hogy a feszültség periodikusan váltakozik: pozitív és negatív félperiódus követi egymást. A vízszintes tengelyen az idő (másodperc), a függőleges tengelyen a pillanatnyi feszültség látható. A szinuszos jel két egymást követő azonos fázisú pontja közötti idő a periódusidő, jelen esetben $T = 0{,}02\,\mathrm{s}$, amiből a frekvencia $f = 1/T = 50\,\mathrm{Hz}$. A jelfüggvény általános alakja:

$$u(t) = U_{\mathrm{cs}} \sin(\omega t + \varphi_0),$$

ahol U_{cs} a csúcsérték (amplitúdó), $\omega = 2\pi f$ a körfrekvencia, φ_0 pedig a kezdőfázis.

13.1.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció.
A **váltakozó feszültség** olyan időben változó feszültség, amelynek pillanatértéke periodikusan váltakozik, és a pozitív és negatív félperiódusok átlaga nulla. A **váltakozó áram** hasonlóan periodikusan változó irányú áram.

Definíció.
A **periódusidő** (T) az a legrövidebb idő, amely alatt a jel pontosan megismétlődik. A **frekvencia** (f) az egy másodperc alatti periódusok száma:

$$\omega = 2\pi f, \qquad f = \frac{1}{T}.$$

Definíció.
A **csúcsérték** (amplitúdó, U_{cs}) a váltakozó feszültség legnagyobb abszolút pillanatértéke. A **effektív érték** (U_{eff}) az a képzeletbeli egyenfeszültség, amely ugyanakkora hőteljesítményt fejt ki egy ellenálláson, mint az adott váltakozó feszültség.
Szinuszos jel esetén:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{cs}}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707 \cdot U_{\text{cs}},$$

és hasonlóan áramra:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{cs}}}{\sqrt{2}}.$$

Az effektív érték levezetése a pillanatérték négyzetének átlagából származik: a feszültség pillanatértékét négyzetre emeljük, átlagoljuk egy periódusra, majd gyököt vonunk (ezért nevezik négyzetes középértéknek, RMS-értéknek).

Összefüggés.
A fázor (forgó vektor) ábrázolásban a szinuszos mennyiséget egy olyan vektorral szemléltetjük, amelynek hossza a csúcsérték (vagy az effektív érték), és a referenciairánnyal bezárt szöge a fázisszög. A fázorok alkalmazása azért hasznos, mert a szinuszos jelek összegzése így vektorösszeadássá egyszerűsödik.

13.1.4. Ellenállás, tekercs és kondenzátor váltakozó áramkörben

Ohmos ellenállás.
Az ellenálláson a feszültség és az áram pillanatértéke egyenesen arányos, ezért **fázisban vannak**: egyszerre érik el a csúcsértéket. Az áramkör jellemzője:

$$u_R(t) = R \cdot i(t), \qquad U_R = I \cdot R, \qquad I = \frac{U}{R}.$$

Ideális tekercs (induktivitás).
A tekercsben az önindukció miatt a feszültség az áram változási sebességével arányos. Szinuszos áram esetén a feszültség 90°-kal **siet** az áramhoz képest. A tekercs váltakozó áramú ellenállása, az **induktív reaktancia**:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

Mértékegysége ohm (Ω). A reaktancia a frekvenciával arányosan nő: egyenáramon ($f = 0$) a tekercs rövidzárként viselkedik, nagyobb frekvencián viszont egyre nagyobb az ellenállása.

Ideális kondenzátor (kapacitás).
A kondenzátorban az áram a feszültség változási sebességével arányos. A kondenzátor feszültsége 90°-kal **késik** az áramhoz képest. A **kapacitív reaktancia**:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

A kapacitív reaktancia a frekvenciával fordítottan arányos: egyenáramon a kondenzátor szakadásként viselkedik, nagy frekvencián viszont közel rövidzárként.

A fázisviszonyokat a következő táblázat foglalja össze:

Elem	Feszültség–áram viszony	Reaktancia/impedancia
R	azonos fázisban	R
L	u siet 90°-kal	$X_L = \omega L$
C	u késik 90°-kal	$X_C = \frac{1}{\omega C}$

13.1.5. Soros RL, RC és RLC kapcsolások

Soros RL kör.
Egy R ellenállásból és L induktivitásból álló soros körben az eredő impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \qquad \varphi = \arctan \frac{X_L}{R}.$$

A fázisszög azt mutatja meg, hogy a feszültség mennyivel siet az áramhoz képest ($0 < \varphi < 90^\circ$). Az áram effektív értéke:

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Soros RC kör.
Hasonlóan:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \qquad \varphi = -\arctan \frac{X_C}{R}.$$

Itt a feszültség késik az áramhoz képest.

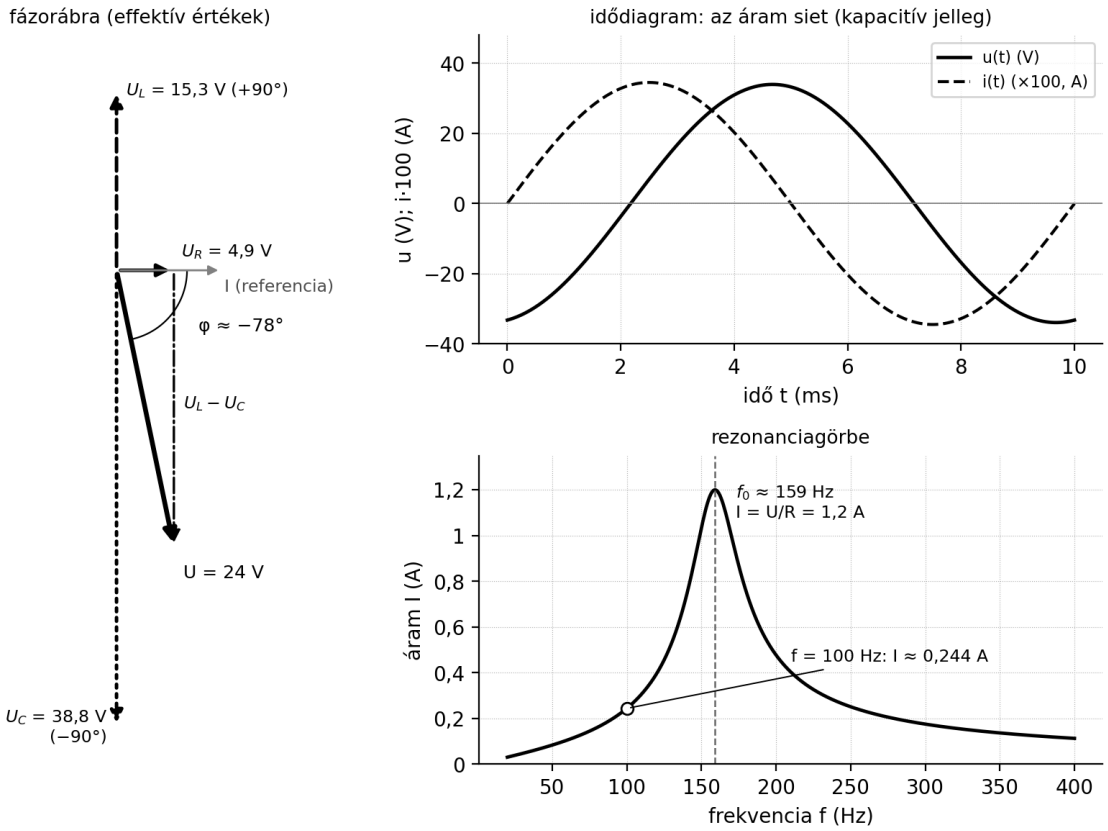
Soros RLC kör.
Az induktív és kapacitív reaktancia részben kioltja egymást, mert ellentétes fázisban szerepelnek. Az eredő impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

a fázisszög:

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Ha $X_L > X_C$, az áramkör induktív jellegű (a feszültség siet), ha $X_C > X_L$, akkor kapacitív jellegű.



13.2. ábra. Soros RLC kör fázorábrája, idődiagramja és rezonanciagörbéje a 3. feladat adataival ($R = 20\,\Omega$, $L = 0{,}1\,\mathrm{H}$, $C = 10\,\mu\mathrm{F}$, $f = 100\,\mathrm{Hz}$, $U = 24\,\mathrm{V}$; számított értékek)

A fázorábrán az áram a vízszintes referencia: az $U_R = 4{,}9\,\mathrm{V}$ vele egy irányba, az $U_L = 15{,}3\,\mathrm{V}$ felfelé (+90°), az $U_C = 38{,}8\,\mathrm{V}$ lefelé (−90°) mutat; mivel $U_C > U_L$, az eredő $U = 24\,\mathrm{V}$ kb. 78°-kal késik az áramhoz képest (kapacitív jelleg). A rezonanciagörbén látszik, hogy 100 Hz-en a kör messze van az $f_0 \approx 159\,\mathrm{Hz}$ rezonanciától, ahol az áram $U/R = 1{,}2\,\mathrm{A}$ lenne. Az interaktív változatban R, L, C, f és U állítható, a 3. és az 5. feladat adatai egy gombbal betölthetők.

Soros rezgőkör.
Amikor $X_L = X_C$, azaz:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

a kör rezonanciában van. A rezonanciafrekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Rezonanciában az impedancia minimális, $Z = R$, az áram maximális. Ekkor a tekercsen és a kondenzátoron külön-külön a tápfeszültségnél sokkal nagyobb feszültség is felléphet – ezt a szerelőnek nagyon komolyan kell vennie.

Párhuzamos RL, RC és RLC körök.
Párhuzamos kapcsolásnál az áramok fázishelyzetét célszerű admittanciákkal (vezetőképességekkel) számolni. Az impedancia reciproka az admittancia, jele Y, mértékegysége siemens (S). Párhuzamos RLC körben az ágak feszültsége közös, az ágáramok vektorosan összegződnek. A vezetőképesség

(konduktancia) $G = 1/R$, az induktív szuszceptancia $B_L = 1/X_L$, a kapacitív szuszceptancia $B_C = 1/X_C$; az eredő admittancia és az áram:

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}, \qquad I = U \cdot Y.$$

Az ágáramok: $I_R = UG$, $I_L = UB_L$, $I_C = UB_C$; az I_L és I_C egymással ellentétes fázisú, ezért részben kioltják egymást. **Számpélda.** $R = 100\,\Omega$, $X_L = 50\,\Omega$, $X_C = 100\,\Omega$, $U = 10\,\mathrm{V}$ esetén $G = 10\,\mathrm{mS}$, $B_L = 20\,\mathrm{mS}$, $B_C = 10\,\mathrm{mS}$, így $Y = \sqrt{10^2 + (10-20)^2}\,\mathrm{mS} \approx 14{,}1\,\mathrm{mS}$ és $I = 10\,\mathrm{V} \cdot 14{,}1\,\mathrm{mS} \approx 0{,}141\,\mathrm{A}$; a kör induktív jellegű, mert $B_L > B_C$. Párhuzamos rezgőkör esetén ($B_L = B_C$, a rezonanciafrekvencia ideális elemekre ugyanaz, $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$) az eredő admittancia minimális, tehát az impedancia maximális, így az áramfelvétel kicsi.

Elektromágneses hullámok és rádiózavar. A gyorsan változó áram és feszültség elektromágneses hullámokat sugároz; a hullámhossz $\lambda = c/f$ ($c \approx 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}$). A járműben ilyen zavarforrás a gyújtás szikrája, a kommutátoros motorok (ablaktörlő, ablakemelő, ventilátor) szikrázása és a kapcsolóüzemű tápegységek, átalakítók; a zavar a rádió zúgásaként, a jeladók és buszjelek torzulásaként jelentkezhet. A védekezés: zavarszűrő kondenzátorok és fojtók, árnyékolt vezetékek, jó testkötések, szikramentesítő ellenállásos gyertyapipa és gyertyakábel. A járművek zavarkibocsátására és zavartűrésére uniós és ENSZ-EGB előírások vonatkoznak (ellenőrizendő: a hatályos EMC-előírások, pl. ECE R10).

13.1.6. Teljesítmények váltakozó áramú körökben

Definíció.
A **látszólagos teljesítmény** a mért effektív feszültség és áram szorzata:

$$S = U_{\mathrm{eff}} \cdot I_{\mathrm{eff}}.$$

Mértékegysége voltamper (VA).
A **hatásos teljesítmény** az áramkörben ténylegesen hővé, mozgássá vagy más hasznos munkává alakuló teljesítmény:

$$P = U_{\mathrm{eff}} \cdot I_{\mathrm{eff}} \cdot \cos\varphi = S\cos\varphi.$$

Mértékegysége watt (W).
A **meddő teljesítmény** az a teljesítmény, amely a tekercs mágneses tere és a kondenzátor elektromos tere között periodikusan oda-vissza áramlik, de nem végez hasznos munkát:

$$Q = U_{\mathrm{eff}} \cdot I_{\mathrm{eff}} \cdot \sin\varphi = S\sin\varphi.$$

Mértékegysége voltamper reaktív (var).
A $\cos\varphi$ a **hatásos teljesítménytényező** (teljesítményfaktor), amely azt mutatja meg, mekkora a látszólagos teljesítményből a ténylegesen hasznosított rész.

Összefüggés.
A három teljesítmény derékszögű háromszöget alkot:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Továbbvitt eredmény.
Az itt bevezetett effektív érték és impedancia számítási módszere minden későbbi váltakozó áramú mérés és villamosgép-vizsgálat alapja: a transzformátor és a háromfázisú rendszer (A transzformátor és a háromfázisú rendszer) valamint az oszcilloszkópos mérés (Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata) ezekre épít.

13.1.7. Kidolgozott példák

1. példa – Soros RL kör számítása.
Egy 230 V-os váltakozó áramú relé (mágneskapcsoló) tekercsét a hálózatra kapcsoljuk. A tekercs egyenáramú ellenállása $R = 8\,\mathrm{k\Omega}$, induktivitása $L = 25\,\mathrm{H}$ (tanulási példaadatok; ellenőrizendő: katalógusadat). A hálózati feszültség $U_{\mathrm{eff}} = 230\,\mathrm{V}$, a frekvencia $f = 50\,\mathrm{Hz}$. Számítsuk ki az induktív reaktanciát, az impedanciát, az áramot, a fázisszöget és a teljesítményeket!

Megoldás.
Az induktív reaktancia:

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \cdot 50 \cdot 25 \approx 7854\,\Omega = 7{,}85\,\mathrm{k\Omega}.$$

Az impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8000^2 + 7854^2} \approx 11\,211\,\Omega = 11{,}2\,\mathrm{k\Omega}.$$

Az áram:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{11\,211} \approx 20{,}5\,\mathrm{mA}.$$

A fázisszög:

$$\varphi = \arctan\frac{X_L}{R} = \arctan\frac{7854}{8000} \approx 44{,}5^\circ.$$

A hatásos teljesítmény:

$$P = U_{\mathrm{eff}} \cdot I_{\mathrm{eff}} \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 0{,}0205 \cdot 0{,}714 \approx 3{,}37\,\mathrm{W}.$$

A meddő teljesítmény:

$$Q = 230 \cdot 0{,}0205 \cdot 0{,}701 \approx 3{,}31\,\mathrm{var}.$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = 230 \cdot 0{,}0205 \approx 4{,}72\,\mathrm{VA}.$$

Ellenőrzés: $S^2 \approx 22{,}3\,\mathrm{VA}^2$ és $P^2 + Q^2 \approx 3{,}37^2 + 3{,}31^2 = 11{,}4 + 10{,}9 = 22{,}3\,\mathrm{VA}^2$, tehát az eredmények összhangban vannak. A nagyságrend is életszerű: egy 230 V-os váltakozó áramú relétekercs néhány VA látszólagos teljesítményt vesz fel (a hatásos teljesítmény ennél kisebb), nem száz- vagy ezer voltampert.

2. példa – Oszcilloszkópos mérés kiértékelése.
Egy jelalakot oszcilloszkóppal vizsgálunk. A függőleges osztás 2 V/div, a vízszintes 5 ms/div. A jel csúcsa 5 osztást ér, a periódus 4 osztást foglal el. Számítsuk ki a csúcsfeszültséget, az effektív értéket, a periódusidőt és a frekvenciát!

Megoldás.
A csúcsfeszültség:

$$U_{\text{cs}} = 5 \cdot 2 = 10\,\text{V}.$$

Az effektív érték:

$$U_{\text{eff}} = \frac{10}{\sqrt{2}} \approx 7{,}07\,\text{V}.$$

A periódusidő:

$$T = 4 \cdot 5 = 20\,\text{ms} = 0{,}02\,\text{s}.$$

A frekvencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}02} = 50\,\text{Hz}.$$

Ellenpélda.
Ha valaki a csúcsértéket effektív értéknek veszi, akkor 10 V-os terhelő hatást feltételez, pedig a hőhatás szempontjából csak 7,07 V egyenfeszültséggel egyenértékű a jel. Ez a hiba fűtőszálas terhelésnél, izzóknál vagy ellenállásos biztonsági áramköröknél téves következtetésre vezet.

13.1.8. Minőségellenőrzés

A váltakozó áramú jelek mérésére a multiméter RMS-állása vagy az oszcilloszkóp a legalkalmasabb. Az oszcilloszkóp előnye, hogy a csúcsértéket, periódusidőt, frekvenciát és a jel alakját egyszerre mutatja meg. A mérés előtt a csatorna nullszintjét, a feszültség-osztást (V/div) és az idő-osztást (s/div) a jel nagyságához kell állítani.
Az effektív értéket a multiméter RMS-állása általában szinuszos jelre kalibráltan jeleníti meg; torzított jel esetén a valódi effektív értéket csak true RMS műszer mutatja.
Az ellenőrzés során győződjünk meg arról, hogy a mért csúcsérték és frekvencia összhangban van a várttal: generátor esetében a maradék váltakozó komponens nem szinuszos, ezért true RMS műszerrel vagy csúcstól csúcsig értékként a gyártói határhoz hasonlítjuk (a határérték típusonként eltér; ellenőrizendő: a gyártói javítási adat), míg hálózati jelnél 230 V effektív, 50 Hz.

Figyelem.
A hálózati feszültség mérése életveszélyes. Tanműhelyi környezetben csak leválasztó transzformátorral ellátott mérőhelyen, oktató felügyelete mellett, az adott mérési kategóriájú (CAT) mérővezetékekkel dolgozz. Ahol a tanulási cél megengedi, a mérést törpefeszültségű (pl. 12 V-os) jelgenerátoros mérőhelyen végezzük.

13.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelyben egy személyautó tulajdonosa azt panaszolja, hogy a műszerfalon időnként halványan villognak a jelzőlámpák, és a rádióból halk zúgás hallatszik. A szerelő a generátor B+ kimenetét oszcilloszkóppal vizsgálja. Az egyenfeszültség-szint 14,1 V, de a váltakozó maradékjel csúcstól csúcsig értéke 0,45 V.
A maradékjel nem szinuszos (a háromfázisú egyenirányítás hullámossága), ezért effektív értéke nem számítható a $U_{\text{cs}}/\sqrt{2}$ összefüggéssel; a szerelő az értéket true RMS műszerrel vagy a gyártói csúcstól csúcsig határral veti össze (ellenőrizendő: gyártói adat).

Ez a nagy maradékfeszültség gyakran a diódahíd egyik diódájának meghibásodására utal. A generátor szétszerelése után valóban egy nyitott dióda található. A kicserélt diódahíd után a maradékfeszültség 0,1 V csúcstól csúcsig érték alá csökken, a villogás és a zúgás megszűnik.
A tanulság: a váltakozó áramú összetevők ismerete nélkül a hibát nem lehetett volna diagnosztizálni, mert az egyenfeszültség-érték önmagában elfogadhatónak tűnt.

13.1.10. Tipikus hibák

Hiba 1.
A csúcsérték és az effektív érték összekeverése. A szerelő oszcilloszkópon lát egy 10 V-os csúcsot, és azt jelenti, hogy „10 V-os a jel”. A fűtőteljesítmény vagy a gyakorlati terhelhetőség szempontjából azonban az effektív érték a mérvadó, ami itt kb. 7,07 V. **Helyes gyakorlat:** mindig adjuk meg az effektív értéket vagy jelezzük, hogy csúcsértékről van szó.

Hiba 2.
A fázisszög elhanyagolása a teljesítmény számításánál. A hálózati áramfelvételből egyszerűen $P = UI$ teljesítményt számol a szerelő, és nem veszi figyelembe a $\cos\varphi$-t. Induktív terhelésnél (pl. motor, relétekercs) a hatásos teljesítmény ezzel túlbecsült lesz, ami hibás biztosíték-, kábel- vagy hűtésméretezéshez vezet. **Helyes gyakorlat:** motoroknál és tekercseknél mindig $P = S\cos\varphi$ képletet használjunk.

Hiba 3.
A reaktanciák előjelének helytelen kezelése soros RLC körben. Egyes tanulók az X_L és X_C értékeket egyszerűen összeadják, pedig a fázisviszonyok miatt a reaktanciák egymást részben kioltják: a kapacitív reaktancia negatív előjellel jelenik meg az $X_L - X_C$ különbségben. **Helyes gyakorlat:** az impedanciát mindig $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ képlettel számoljuk, és ne feledkezzünk meg a rezonancia lehetőségéről.

13.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e: a váltakozó feszültség effektív értéke mindig kisebb, mint a csúcsértéke? Indokold!

2. Egy tekercs reaktanciája 100 Hz-en 50 Ω. Mekkora lesz 200 Hz-en?

3. Egy kondenzátor kapacitív reaktanciája 50 Ω 100 Hz-en. Mekkora lesz 50 Hz-en?

4. Mit jelent az, hogy egy áramkör induktív jellegű?

5. Mi a különbség a hatásos és a látszólagos teljesítmény között?

6. Mi a soros rezgőkör rezonanciafeltétele?

A válaszok a Megoldások elején, az „Önellenőrzés – válaszok” részben találhatók.

13.1.12. Feladatok

1. feladat (A).
Számítsd ki 50 Hz-en annak a tekercsnek az induktív reaktanciáját, amelynek induktivitása $L = 0{,}4\,\mathrm{H}$.

2. feladat (A).
Egy $C = 100\,\mu\mathrm{F}$ kondenzátor kapacitív reaktanciáját keressük 50 Hz-en és 5 kHz-en. Melyik frekvencián nagyobb a reaktancia?

3. feladat (B).
Egy soros RLC kör adatai: $R = 20\,\Omega$, $L = 0{,}1\,\mathrm{H}$, $C = 10\,\mu\mathrm{F}$, $f = 100\,\mathrm{Hz}$, $U_{\mathrm{eff}} = 24\,\mathrm{V}$. Számítsd ki: - az induktív és kapacitív reaktanciát, - az impedanciát, - az áram effektív értékét, - a tekercs és a kondenzátor kivezetései között mérhető feszültséget.

4. feladat (B).
Oszcilloszkópon egy jelet vizsgálsz. A feszültség-osztás 5 V/div, az idő-osztás 2 ms/div. A jel 6 osztást foglal el függőlegesen, a periódus 4 osztást vízszintesen. Add meg a csúcsértéket, az effektív értéket, a periódusidőt és a frekvenciát.

5. feladat (C).
Egy soros rezgőkört szeretnénk vizsgálni: $R = 5\,\Omega$, $L = 0{,}2\,\mathrm{H}$, $C = 47\,\mu\mathrm{F}$, tápfeszültség $230\,\mathrm{V}$ effektív. Számítsd ki a rezonanciafrekvenciát, majd rezonancián az áramot és a tekercsen, illetve kondenzátoron fellépő feszültséget. Hasonlítsd össze a tápfeszültséggel, és magyarázd meg, miért veszélyes ez a jelenség!

6. feladat (D).
Egy járműgenerátor kimenetét oszcilloszkóppal vizsgáljuk. Az egyenfeszültség-szint 14,0 V, a váltakozó maradékjel csúcstól csúcsig értéke 0,6 V. Értékeld a mérési eredményt! Milyen hibára utalhat, és milyen további ellenőrzést végeznél?

13.1.13. Megoldások

13.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Szinuszos jel esetén $U_{\mathrm{eff}} = U_{\mathrm{cs}}/\sqrt{2} \approx 0{,}707 U_{\mathrm{cs}}$, tehát az effektív érték kisebb a csúcsértéknél.

2. A tekercs reaktanciája a frekvenciával arányos: $X_L \propto f$, így 200 Hz-en $X_L = 2 \cdot 50 = 100\,\Omega$.

3. A kondenzátor reaktanciája a frekvenciával fordítottan arányos: $X_C \propto 1/f$, így 50 Hz-en $X_C = 2 \cdot 50 = 100\,\Omega$.

4. Az áramkör induktív jellegű, ha az induktív reaktancia nagyobb, mint a kapacitív ($X_L > X_C$); ekkor a feszültség siet az áramhoz képest, a fázisszög pozitív.

5. A hatásos teljesítmény a valódi hasznos munkavégzést jelenti ($P = S\cos\varphi$), míg a látszólagos teljesítmény az effektív feszültség és áram szorzata ($S = UI$), amely a meddő részt is tartalmazza.

6. A soros rezgőkör rezonanciafeltétele: $X_L = X_C$, azaz $\omega_0 L = 1/(\omega_0 C)$, amiből $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$.

13.1.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat megoldása.
Adott: $f = 50\,\text{Hz}$, $L = 0{,}4\,\text{H}$.
Induktív reaktancia:

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}4 = 125{,}7\,\Omega.$$

Ellenőrzés: a nagyságrend megfelelő, hiszen egy 0,4 H-s fojtótekercs 50 Hz-en száz ohm nagyságrendű.

2. feladat megoldása.
Adott: $C = 100\,\mu\text{F} = 100 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $f_1 = 50\,\text{Hz}$, $f_2 = 5000\,\text{Hz}$.
50 Hz-en:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} \approx \frac{1}{0{,}0314} = 31{,}8\,\Omega.$$

5 kHz-en:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 5000 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{3{,}14} \approx 0{,}318\,\Omega.$$

A reaktancia 50 Hz-en nagyobb. Minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb a kapacitív reaktancia.

3. feladat megoldása.
Adott: $R = 20\,\Omega$, $L = 0{,}1\,\text{H}$, $C = 10\,\mu\text{F} = 10 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $f = 100\,\text{Hz}$, $U = 24\,\text{V}$.
Induktív reaktancia:

$$X_L = 2\pi \cdot 100 \cdot 0{,}1 = 62{,}8\,\Omega.$$

Kapacitív reaktancia:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{0{,}00628} \approx 159{,}2\,\Omega.$$

Impedancia:

$$Z = \sqrt{20^2 + (62{,}8 - 159{,}2)^2} = \sqrt{400 + (-96{,}4)^2} \approx \sqrt{400 + 9293} = \sqrt{9693} \approx 98{,}5\,\Omega.$$

Áram:

$$I = \frac{24}{98{,}5} \approx 0{,}244\,\text{A}.$$

Tekercs feszültsége:

$$U_L = X_L \cdot I = 62{,}8 \cdot 0{,}244 \approx 15{,}3\,\mathrm{V}.$$

Kondenzátor feszültsége:

$$U_C = X_C \cdot I = 159{,}2 \cdot 0{,}244 \approx 38{,}8\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a kör kapacitív jellegű, mert $X_C > X_L$, és a kondenzátoron nagyobb feszültség is eshet, mint a tápfeszültség.

4. feladat megoldása.
A csúcsfeszültség: $U_{\mathrm{cs}} = 6 \cdot 5 = 30\,\mathrm{V}$.
Effektív érték: $U_{\mathrm{eff}} = 30/\sqrt{2} \approx 21{,}2\,\mathrm{V}$.
Periódusidő: $T = 4 \cdot 2 = 8\,\mathrm{ms} = 0{,}008\,\mathrm{s}$.
Frekvencia: $f = 1/0{,}008 = 125\,\mathrm{Hz}$.
Ellenőrzés: $T \cdot f = 0{,}008\,\mathrm{s} \cdot 125\,\mathrm{Hz} = 1$, az eredmény konzisztens.

5. feladat megoldása.
Adott: $R = 5\,\Omega$, $L = 0{,}2\,\mathrm{H}$, $C = 47 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.
Rezonanciafrekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0{,}2 \cdot 47 \cdot 10^{-6}}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{9{,}4 \cdot 10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0{,}00307} \approx 51{,}9\,\mathrm{Hz}.$$

Ez közel van a hálózati 50 Hz-hez, ami életszerű.
Rezonancián $X_L = X_C$, ezért az impedancia $Z = R = 5\,\Omega$.
Az áram: $I = U/R = 230/5 = 46\,\mathrm{A}$.
A tekercs és kondenzátor feszültsége rezonancián:

$$U_L = U_C = I \cdot X_L = 46 \cdot (2\pi \cdot 51{,}9 \cdot 0{,}2) \approx 46 \cdot 65{,}2 = 2999\,\mathrm{V} \approx 3{,}0\,\mathrm{kV}.$$

Ez a tápfeszültség több mint tízszerese. **Valós veszély:** a rezgőkör elemein ilyen túlfeszültség is megjelenhet, ezért a méretezést és a szigetelést ennek megfelelően kell elvégezni; tanműhelyben ilyen kísérlet csak feszültségkorlátozott, oktató által ellenőrzött körben végezhető.

6. feladat megoldása.
A mért váltakozó maradékjel csúcstól csúcsig értéke 0,6 V. A generátor maradékjele nem szinuszos, ezért az effektív értéket nem szabad a $U_{\mathrm{cs}}/\sqrt{2}$ képlettel kiszámítani; a mért csúcstól csúcsig értéket a gyártói csúcstól csúcsig határral hasonlítjuk össze (vagy true RMS műszerrel mérjük az AC-összetevőt). Ez az érték a gyártói javítási adatok szerint gyakran elfogadhatatlan (a határ típusonként eltér – ellenőrizendő: a gyártói adat). A túl nagy maradékfeszültség leggyakoribb oka a generátor diódahídjának hibája (pl. nyitott vagy rövidzárlatos dióda).
További ellenőrzések: a generátor diódáinak ellenőrzése multiméterrel, a feszültségesés mérése a B+ és test közötti vezetékeken, valamint az ékszíj feszességének ellenőrzése. A hiba megszüntetése utáni méréssel ellenőrizzük, hogy a maradékfeszültség a gyártói határ alá csökkent.

13.1.14. Rövid összefoglaló

A váltakozó feszültség és áram periodikusan változtatja irányát. A szinuszos jel időfüggvénye $u(t) = U_{\text{cs}} \sin(\omega t + \varphi_0)$, ahol $\omega = 2\pi f$, a periódusidő $T = 1/f$. Az effektív érték a csúcsértékből $U_{\text{eff}} = U_{\text{cs}}/\sqrt{2}$ képlettel számítható, és a hőhatás szempontjából az egyenárammal egyenértékű. Ellenálláson a feszültség és áram fázisban vannak; a tekercs feszültsége 90°-kal siet az áramhoz, a kondenzátoré pedig 90°-kal késik. A reaktanciák: $X_L = \omega L$, $X_C = 1/(\omega C)$. Soros RLC kör impedanciája $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, a fázisszög $\varphi = \arctan((X_L - X_C)/R)$. Rezonancia akkor lép fel, ha $X_L = X_C$, ekkor $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$, és a tekercsen/kondenzátoron a tápfeszültségnél jóval nagyobb feszültség is lehet.
A teljesítmények: látszólagos $S = UI$, hatásos $P = S\cos\varphi$, meddő $Q = S\sin\varphi$, a teljesítménytényező $\cos\varphi$.
Továbbvitt eredmény. Az effektív érték és az impedancia számítási módszere elengedhetetlen a transzformátor és a háromfázisú rendszer (A transzformátor és a háromfázisú rendszer) megértéséhez, valamint az oszcilloszkópos váltakozó áramú mérések (Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata) kiértékeléséhez. A hálózati feszültség mérése mindig életvédelmi szabályok szerint történjen.

13.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az általános elektrotechnikai alapokra épül, amelyek az MSZ EN 60617 jelképrendszerével és a gyártói mérési gyakorlattal összhangban állnak. A gyakorlati mérési határértékek (generátor maradékfeszültség, CAT-kategória) gyártói és hatályos munkavédelmi előírások alapján ellenőrizendők.
Ellenőrizendő: a generátor maradékfeszültség megengedett határa (gyártói adat), a mérési kategóriák (MSZ EN 61010 sorozat), valamint a tanműhelyi oszcilloszkópos mérés helyi munkavédelmi szabályai.

13.2. A transzformátor és a háromfázisú rendszer

Egy korszerű hibrid vagy elektromos járműben a nagyfeszültségű akkumulátor egyenfeszültségéből a hajtómotor csak úgy kaphat váltakozó feszültséget, ha előtte valamilyen átalakító rendezi át a feszültségszinteket és a fázisokat. A műhelyben a hibakereséshez nem elég annyit tudni, hogy „az inverter átalakít”; érteni kell a transzformátor elvét, a többfázisú rendszer felépítését és a forgó mágneses mező keletkezését, mert ezen alapul a gépjármű-generátor, a HV-hajtómotor és sok töltőáramkör.

13.2.1. Szemléletes kép

Képzelj el egy zárt vasmagot, amelyen két tekercs van. Az egyik tekercsre (primer) váltakozó feszültséget kapcsolunk, a másik tekercsen (szekunder) pedig mérjük a kimenő feszültséget. Ha a két tekercs menetszáma különböző, a kimenő feszültség is arányosan eltér; ugyanakkor a két oldal teljesítménye ideális esetben megegyezik, mert energiát nem termelünk. Ugyanez az elv jelenik meg a gyújtótekercsben, a hibrid jármű DC/DC átalakítójában és a hálózati töltőkészülékben, csak ott a váltakozás frekvenciája és a vezérlés módja más.

Hasonlóan szemléletes a háromfázisú rendszer: három, egymástól térben 120°-kal eltolt tekercsben három, időben 120°-kal eltolt szinuszos feszültség keletkezik. Ha a három tekercsbe háromfázisú áramot vezetünk, az eredő mágneses mező állandó nagyságú, és körbeforog a vasmagban. Ez

a forgó mező hajtja a villamos motorokat, és ez teszi lehetővé, hogy a gépjármű generátora háromfázisú váltakozó feszültséget állítson elő, amit aztán egyenirányítunk.

13.2.2. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A transzformátor két vagy több tekercsből álló villamos gép, amely a tekercsek közötti mágneses csatolás révén váltakozó feszültséget és áramot alakít át, jellemzően a feszültségszintet változtatja meg, a frekvencia változtatása nélkül.

Definíció. Az ideális transzformátor olyan modell, amelyben nincs tekercs-ellenállás, nincs szórt fluxus, a vasmag permeabilitása végtelen, és nincs vasveszteség. Ekkor a primer és szekunder feszültség aránya kizárólag a menetszámok arányától függ:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Itt a a transzformátor áttétele. Az ideális transzformátor teljesítményt nem termel, ezért a látszólagos teljesítmények megegyeznek, amiből az áramokra:

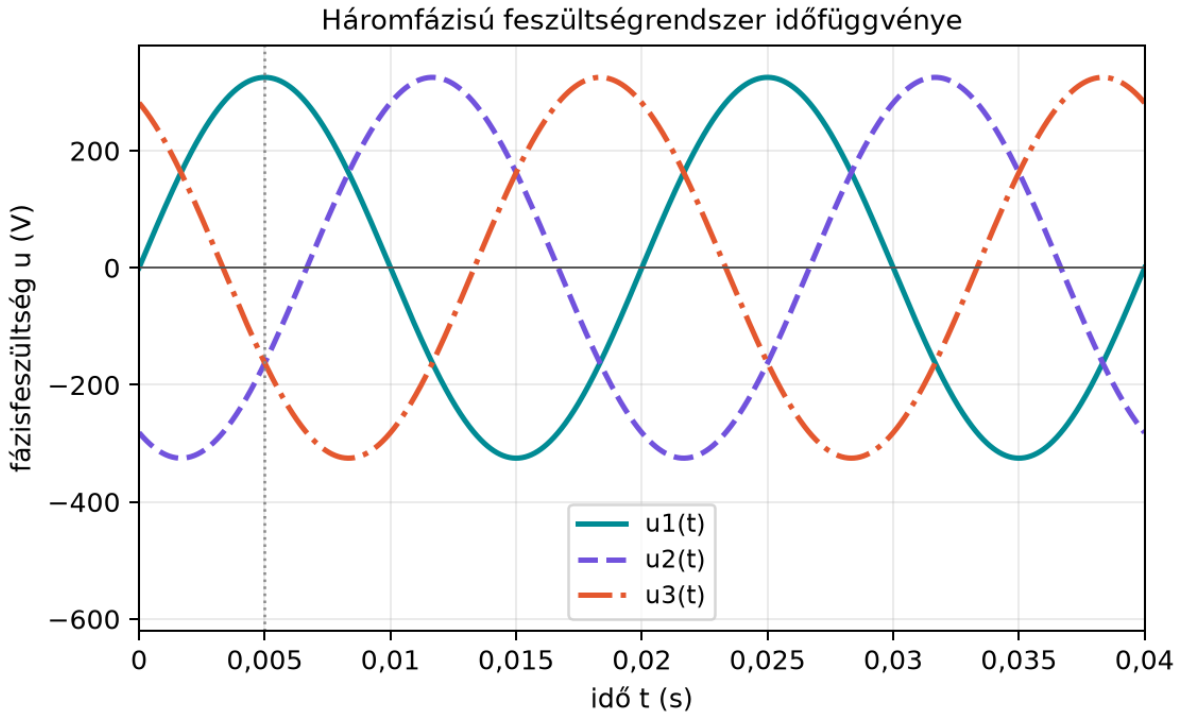
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Az áttétel reciproka sokszor kényelmesebb: a menetszám-csökkentő transzformátornál a feszültség csökken, de az áram nő.

Összefüggés. A valóságos transzformátorban a primer oldali feszültség a következő részekre bontható: a hasznos fluxust előállító indukált feszültségre, a primer tekercs ellenállásán eső feszültségre és a szórt fluxus által indukált feszültségre. A szekunder oldalon hasonló feszültségesések jelentkeznek. Emiatt terheléskor a kapocsfeszültség a névlegesnél kisebb lehet, ezt százalékos rövidzárlati feszültségként adják meg (ellenőrizendő: a gyártói adatlap).

Definíció. A háromfázisú feszültségrendszer három, azonos frekvenciájú és amplitúdójú, de egymáshoz képest 120°-kal eltolt fázisú szinuszos feszültségből áll. Ha a három fázisfeszültség nagysága egyenlő, és egymástól pontosan 120°-ra van, a rendszert szimmetrikusnak nevezzük.

A következő diagram a három fázisfeszültség időfüggvényét mutatja:



13.3. ábra. Háromfázisú feszültségrendszer időfüggvénye - Szemléltető, képletből számolt diagram. A három fázisfeszültség effektív értéke 230 V, frekvencia 50 Hz; a fáziseltolás 120°.

Az ábrán jól látható, hogy amikor az egyik fázis feszültsége éppen csúcsértéken van, a másik kettő negatív vagy pozitív értéken, de összegük minden időpillanatban nulla, ha a rendszer szimmetrikus és a fázisok terhelése egyenlő.

Összefüggés. Csillagkapcsolásban a vonali (két fázisvezető közötti) feszültség a fázisfeszültség $\sqrt{3}$-szorosa:

$$U_v = \sqrt{3}\,U_f$$

és a vonali áram megegyezik a fázisárammal: $I_v = I_f$. Háromszögkapcsolásban a vonali feszültség egyenlő a fázisfeszültséggel ($U_v = U_f$), a vonali áram pedig a fázisáram $\sqrt{3}$-szorosa: $I_v = \sqrt{3}\,I_f$.

A háromfázisú hatásos teljesítmény mindkét kapcsolásban:

$$P = 3\,U_f I_f \cos\varphi = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos\varphi$$

ahol φ a fázisfeszültség és a fázisáram közötti szög. A látszólagos teljesítmény $S = \sqrt{3}\,U_v I_v$, a meddő teljesítmény $Q = \sqrt{3}\,U_v I_v \sin\varphi$.

13.2.3. A transzformátor felépítése és működése

A transzformátor lényege a mágneses csatolás. A primer tekercsre kapcsolt váltakozó feszültség váltakozó áramot hoz létre, amely a vasmagban váltakozó mágneses fluxust gerjeszt. Ez a fluxus a szekunder tekercsben indukál feszültséget. Az indukált feszültség nagysága a Faraday-törvény szerint arányos a menetszámmal és a fluxus időbeli változásával.

Üresjárásban a szekunder kapcsok nyitva vannak, ezért a szekunder áram nulla. A primer áram ilyenkor csupán az üresjárási (mágnesezési) áram, amely a fluxust fenntartja, és jellemzően a névleges áram néhány százaléka (ellenőrizendő: típustól függően). A primer kapocsfeszültség és az indukált feszültség közel egyenlő, mert a primer tekercs ellenállásán és a szórt fluxuson eső feszültség kicsi.

Terheléskor a szekunder áram a terhelő impedancián keresztül folyik. A szekunder áram mágneses tere a fluxust csökkenteni igyekszik, ezért a primer áram megnő, hogy a fluxus közel változatlan maradjon. Ez az egyensúly magyarázza, hogy a transzformátor teljesítménye a primer és szekunder oldalon közel azonos, és a primer oldal „követi” a terhelést.

A valóságos transzformátor veszteségei: - rézveszteség: a tekercsek ellenállásán keletkező hő, $P_{\mathrm{Cu}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$; - vasveszteség: hiszterézis- és örvényáram-veszteség a vasmagban; - szórt fluxus: a fluxus egy része nem kapcsolódik mindkét tekercshez, ez feszültségesést okoz.

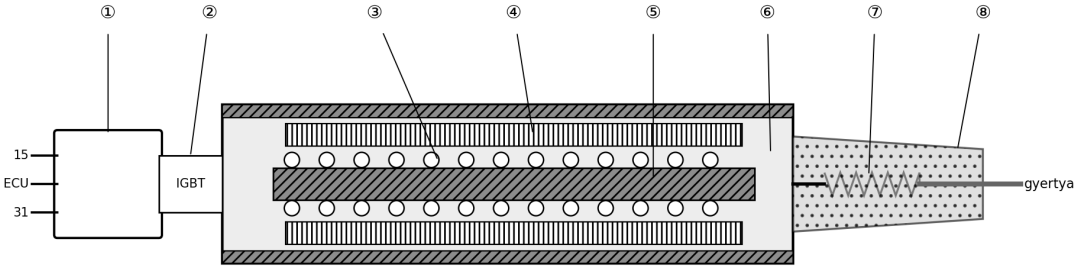
A hatásfok:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\mathrm{Cu}} + P_{\mathrm{Fe}}}$$

A járműtechnikában a transzformátor gyakran nem 50 Hz-es hálózati frekvencián működik, hanem kapcsolóüzemű átalakítóban, néhány tíz vagy több száz kHz-es frekvencián. Ekkor a vasmag kisebb lehet, az átalakító hatásfoka pedig jellemzően 90% feletti (ellenőrizendő: a gyártói adatok szerint).

13.2.4. Járműpéldák: gyújtótekercs, DC/DC, töltőkészülék

Gyújtótekercs. A hagyományos vagy teljesen elektronikus gyújtású Otto-motorban a gyújtótekercs két tekercset tartalmaz közös vasmagon. Az áram megszakítása vagy bekapcsolása gyors fluxusváltozást okoz, ami a szekunder tekercsen több ezer voltos feszültséget indukál. Ez nem hálózati transzformátor, hanem kapcsolóüzemű induktív elem, de a menetszámviszony és a mágneses csatolás ugyanúgy értendő, mint a transzformátornál. A primer és szekunder tekercs ellenállását multiméterrel mérhetjük, de a pontos kiértékelés a gyártói adatok alapján történik (ellenőrizendő: gyújtótekercs ellenállása típusonként eltérő).



① csatlakozó (15, ECU-vezérlés, 31) ② végfok (ha van) ③ primer: kevés menet, vastag huzal ④ szekunder: sok menet, vékony huzal
⑤ lemezelt vasmag és visszavezető hüvely ⑥ műgyanta szigetelés ⑦ nagyfeszültségű rugós érintkező ⑧ gumi gyertyapipa
$N_1 : N_2$ nagyságrendje példaként kb. 1 : 100 (típusfüggő, ellenőrizendő). A tekercsek sorrendje és a végfok helye típusonként eltér.

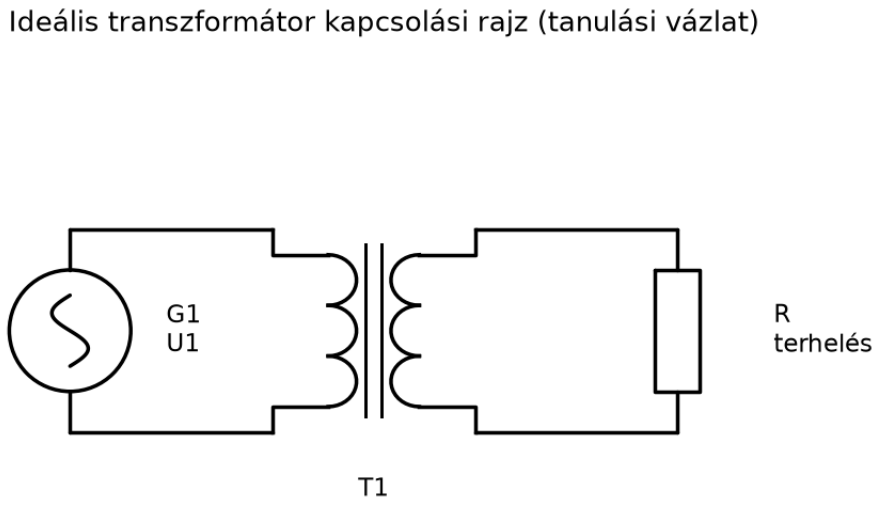
13.4. ábra. Hengeres (ceruza-) gyújtótekercs sematikus hosszmetszete. Nagyfeszültség: járó motornál a tekercshez és a gyertyapipához nyúlni tilos.

A rajzon a ceruzatekercs a gyertyára ül: a csatlakozón (①) érkezik a táp, az ECU vezérlőjele és a test, a beépített végfok (②, ha van) kapcsolja a kevés menetű primer tekercset (③); a sok menetű szekunder tekercs (④) ugyanazon a lemezelt vasmagon (⑤) ül, a műgyanta kiöntés (⑥) szigeteli, a nagyfeszültség a rugós érintkezőn (⑦) és a gumi gyertyapipán (⑧) át jut a gyertyára. Az interaktív változat a primer áram megszakítását és a szekunder feszültségcsúcsot is lejátssza.

DC/DC átalakító. Hibrid és elektromos járműben a nagyfeszültségű akkumulátor feszültségét egy DC/DC átalakító csökkenti a 12 V-os fedélzeti hálózat szintjére. A kapcsolóüzemű átalakítóban a bemeneti egyenfeszültséget nagyfrekvenciás váltakozó feszültséggé alakítják, transzformátorral leválasztják és átalakítják, majd egyenirányítják és szűrik. Ez galvanikus leválasztást is biztosít, ami fontos a nagyfeszültségű rendszer és a 12 V-os hálózat között.

Töltőkészülék. Az elektromos jármű beépített vagy külső töltője a hálózati váltakozó feszültséget egyenirányítja, majd kapcsolóüzemű fokozatban a kívánt egyenfeszültségre alakítja. A transzformátor itt a hálózati oldal és a járműoldal közötti leválasztást és a feszültség illesztését biztosítja (a részletekhez lásd Töltés: AC és DC töltés, töltőcsatlakozók, töltési módok).

Egy egyszerű kapcsolási rajz a transzformátor elvi működésére:



13.5. ábra. Ideális transzformátor kapcsolási rajz (tanulási vázlat) - A primer tekercsre U1 váltakozó feszültséget kapcsolunk; a szekunder tekercsen U2 mérhető a menetszám-aránynak megfelelően. A feszültség polaritás a tekercselés irányától függ.

A rajz alapállapotban mutatja az ideális transzformátort: a primer oldalon a váltakozó forrás, a szekunder oldalon az ellenállás-terhelés. A transzformátor szimbólum bal oldala a primer, jobb oldala a szekunder tekercs. A valóságban a két tekercs ugyanazon a vasmagon helyezkedik el, és polaritásukat a kapocsjelölés, illetve a pontozott jelölés adja meg.

13.2.5. Háromfázisú rendszer és a láncolás

A háromfázisú rendszerben három fázisvezető és rendszerint egy nulla-, illetve védővezető van. A három fázis feszültségeit egymáshoz képest 120°-kal eltolják. Ha a fázisokat egyenlő terhelés éri, a nulla vezetőn nem folyik áram, ezért a nulla elhagyható. Az ipari hálózatban a fázisfeszültség

(fázis és nulla között) 230 V, a vonali feszültség 400 V (ellenőrizendő: a hálózati feszültségtűrésre vonatkozó szabvány). A járműgenerátorokban a feszültség jóval kisebb, jellemzően a 12 V-os rendszerben a fázisfeszültség effektív értéke néhány volt, a vonali feszültség ennek megfelelően $\sqrt{3}$-szoros.

A háromfázisú rendszer előnye, hogy azonos teljesítményhez kisebb vezeték-keresztmetszet is elég, a pillanatnyi teljesítmény pedig állandó, ha a terhelés szimmetrikus. Egyfázisú teljesítménynél a pillanatnyi teljesítmény a frekvencia kétszeresével lüktet, míg háromfázisú rendszerben a három fázis teljesítménye összege állandó, ami kisebb rezgést és egyenletesebb nyomatékot eredményez a villamos gépekben.

Láncolás. A három fázistekercset nem hat külön vezetővel kötjük a fogyasztóhoz, hanem összekapcsoljuk (láncoljuk): csillagkapcsolásban három fázisvezető és szükség esetén a nulla (szimmetrikus terhelésnél a nulla elhagyható), háromszögkapcsolásban három vezeték elég. Ez a láncolt háromfázisú rendszer; a két kapcsolást a következő alfejezet tárgyalja.

Az **áramkiszorítás** (skin-hatás, „bőrhatás”) más jelenség: nagy frekvencián az áram a vezető felületén sűrűsödik, ezért a vezeték ellenállása a frekvenciával nő. Emiatt a kapcsolóüzemű átalakítók tekercseit sok vékony, egymástól szigetelt szálból sodrott (litze) huzalból készítik (ellenőrizendő: a kapcsolóüzemű átalakító tervezési adatai).

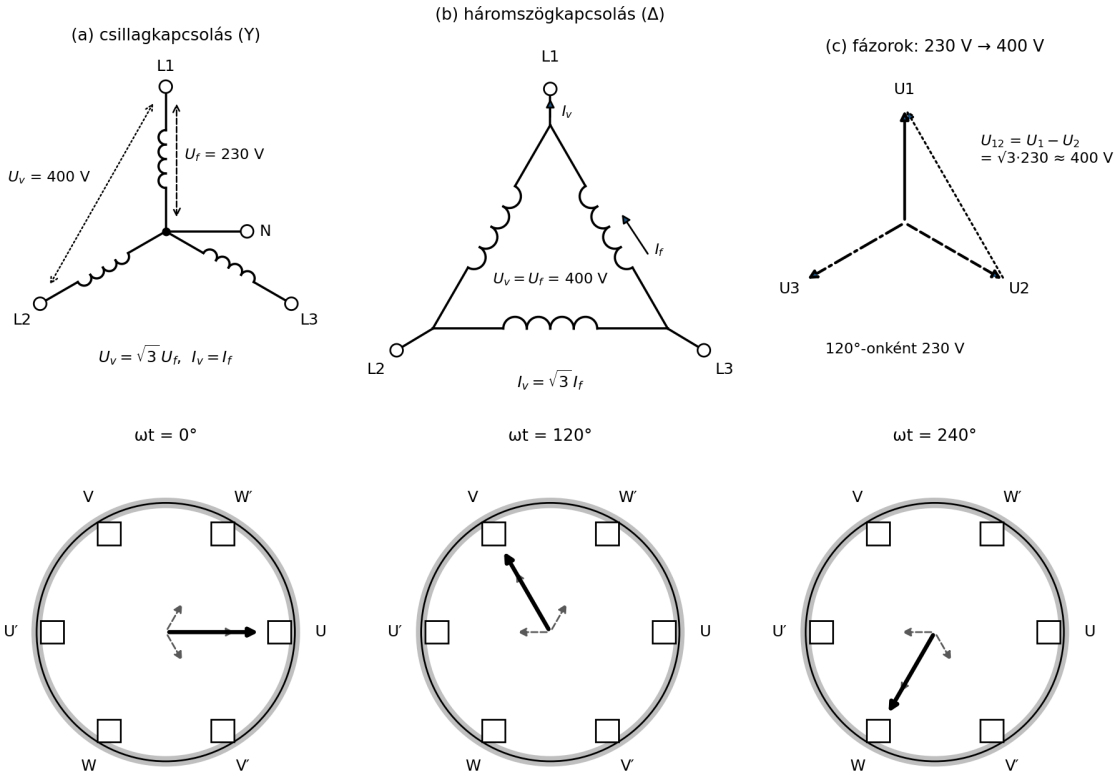
13.2.6. Csillag- és háromszögkapcsolás

A háromfázisú tekercsek kapcsolhatók csillagba (Y) vagy háromszögbe (Δ). Csillagkapcsolásban minden fázistekercs egyik vége közös csomópontba fut, a másik vége a fázisvezetőre. A fázisfeszültség a fázisvezető és a csillagpont között mérhető, a vonali feszültség két fázisvezető között. Háromszögkapcsolásban a tekercsek zárt hurkot alkotnak, a csomópontokra csatlakoznak a fázisvezetők. A vonali feszültség megegyezik a fázistekercs feszültségével, a vonali áram viszont két fázistekercs áramának vektori különbsége, ezért $\sqrt{3}$-szoros.

A gépjármű-generátorok állórész tekercselése gyakran csillagba van kötve, mert a diódahíd egyenirányítása után a csillagkapcsolás előnyös feszültség- és áramviszonyokat ad a 12 V-os hálózathoz. A HV-hajtómotoroknál az inverter által előállított háromfázisú feszültség a motortekercsekre csatlakozik, a kapcsolás a motor típusától és a gyártói döntéstől függ.

13.2.7. A forgó mágneses mező

A forgó mező a többfázisú rendszer egyik legfontosabb következménye. Ha egy vasmagban három, térben 120°-kal eltolt tekercsben három, időben 120°-kal eltolt szinuszos áram folyik, az egyes tekercsek mágneses terei nem egyszerre érik el a csúcsot. Az eredő mágneses tér nagysága állandó, és az időben eltolódó áramok miatt a tér iránya folyamatosan körbefordul. A forgásirány a fázissorrendtől függ: ha két fázist felcserélünk, a mező az ellenkező irányba forog.



(d) forgó mező: szaggatott nyíl = egy tekercs pillanatnyi tere, vastag nyíl = eredő tér (állandó nagyságú, a fázissorrend irányában forog); két fázis felcserélése megfordítja a forgásirányt. $n_s = 60\,f/p$: 50 Hz, p = 1 → 3000 1/min

13.6. ábra. Csillag- és háromszögkapcsolás, a fázis- és vonali feszültség fázorábrája, valamint a forgó mágneses mező három pillanatfelvétele

Az ábra felső sora az előző szakasz két kapcsolását mutatja: csillagban a fázistekercs a fázisvezető és a csillagpont (N) között $U_f = 230\,\mathrm{V}$-ot kap, két fázisvezető között $U_v = \sqrt{3}\cdot 230\,\mathrm{V} \approx 400\,\mathrm{V}$ mérhető; háromszögben a tekercs a vonali feszültségre kapcsolódik, a vonali áram a fázisáram $\sqrt{3}$-szorosa. Az alsó sorban a három tekercs pillanatnyi terei (szaggatott nyilak) $\omega t = 0^\circ$, 120° és 240°-nál ugyanakkora, de elforgatott eredő teret (vastag nyíl) adnak. Az interaktív változatban az időpillanat léptethető vagy lejátszható, és a fázissorrend cseréje megfordítja a forgásirányt.

A forgó mező fordulatszáma szinkron fordulatszám:

$$n_s = \frac{60\,f}{p}$$

ahol f a fázisfrekvencia, p a póluspár-szám. Kétpólusú gépnél ($p = 1$) 50 Hz-en $n_s = 3000\,1/\mathrm{min}$, négy pólusnál ($p = 2$) 1500 1/min. A gépjármű-generátoroknak több póluspárjuk van, így a szinkron fordulatszám alacsonyabb, de a generátor forgórészét a motor hajtja, a frekvencia a fordulatszámmal együtt változik, ezért a generátor kimeneti frekvenciája nem állandó.

A HV-hajtómotor invertere a nagyfeszültségű egyenáramból változtatható frekvenciájú és feszültségű háromfázisú rendszert hoz létre, így állítja elő a forgó mezőt. A hajtómotor szinkron fordulatszámát az inverter kimeneti frekvenciája határozza meg, ezért a jármű sebességét elektronikusan, fokozatmentesen szabályozhatják. Ugyanez a forgó mező az alapja a szokásos háromfázisú aszinkron motornak is, amellyel a Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok alfejezet foglalkozik.

13.2.8. Kidolgozott számítási példák

Számítás. Egy ideális transzformátor primer tekercse 1200 menetes, szekunder tekercse 120 menetes. A primerre 230 V effektív feszültséget kapcsolunk.

- Adott: $N_1 = 1200$, $N_2 = 120$, $U_1 = 230\,\mathrm{V}$.
- Keresett: U_2.
- Képlet: $U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$.
- Behelyettesítés: $U_2 = 230\,\mathrm{V} \cdot \frac{120}{1200} = 23\,\mathrm{V}$.
- Ellenőrzés: az áttétel $a = N_1/N_2 = 10$, tehát a feszültség tizedére csökken, 23 V reális.

Számítás. A fenti transzformátor szekunder oldalára 4 Ω ellenállást kapcsolunk. Ideális esetben mekkora a primer áram?

- Adott: $U_2 = 23\,\mathrm{V}$, $R = 4\,\Omega$.
- Szekunder áram: $I_2 = U_2/R = 23\,\mathrm{V}/4\,\Omega = 5{,}75\,\mathrm{A}$.
- Az ideális transzformátor áramáttétele: $I_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 5{,}75\,\mathrm{A} \cdot \frac{120}{1200} = 0{,}575\,\mathrm{A}$.
- Ellenőrzés: a szekunder teljesítmény $P_2 = U_2 I_2 = 23 \cdot 5{,}75 = 132{,}25\,\mathrm{W}$. A primer teljesítmény $P_1 = U_1 I_1 = 230 \cdot 0{,}575 = 132{,}25\,\mathrm{W}$. A teljesítmények az ideális modellben megegyeznek. ∎

Számítás. Egy háromfázisú motor vonali feszültsége 400 V, vonali árama 10 A, teljesítménytényezője $\cos\varphi = 0{,}85$. Mekkora a hatásos teljesítmény?

- Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, $I_v = 10\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}85$.
- Képlet: $P = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos\varphi$.
- Behelyettesítés: $P = \sqrt{3} \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{A} \cdot 0{,}85 \approx 1{,}732 \cdot 400 \cdot 10 \cdot 0{,}85 \approx 5890\,\mathrm{W}$, azaz kb. 5,9 kW.
- Ellenőrzés: 400 V és 10 A mellett a látszólagos teljesítmény $\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10 \approx 6930\,\mathrm{VA}$; ennek 0,85-szöröse valóban kb. 5890 W. ∎

Hibás példa. Valaki csillagkapcsolásnál a vonali feszültséget a fázisfeszültségből úgy számolja, hogy $U_v = U_f/\sqrt{3}$. Ha a fázisfeszültség 230 V, akkor 133 V adódna. A helyes összefüggés $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, tehát 400 V. A hiba abból fakad, hogy a csillag és a háromszög képletét felcseréli.

13.2.9. Minőségellenőrzés

A transzformátort a műhelyben multiméterrel és szigetelésmérővel ellenőrizhetjük. Első lépés a tekercsellenállások mérése: a primer és szekunder tekercs ellenállása legyen kis érték (néhány száz Ω–néhány Ω, típustól függően; ellenőrizendő: gyártói adat). Ezt követően a szigetelési ellenállást mérjük a primer és szekunder, illetve a vasmag között: szigetelésmérővel legalább néhány megohm értéket kell kapni (ellenőrizendő: a biztonsági előírás szerinti határ). A transzformátor üresjárási árama a névleges áram néhány százaléka; ha lényegesen nagyobb, a vasmag vagy a tekercselés hibájára utal.

A jármű-generátor állórész tekercseit ellenállásméréssel és testzárlat-kereséssel vizsgáljuk. A gyújtótekercs primer és szekunder ellenállását a gyártói adatokkal hasonlítjuk össze; a diódahíd zárlat- és szakadásvizsgálata a(z) A generátor alfejezetben kerül sorra. A nagyfeszültségű rendszer ellenőrzésekor a mérések csak a feszültségmentesítés és a gyártói eljárás szerint végezhetők.

13.2.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy hibrid személyautóban a diagnosztikai műszer hibakódot tárolt: a DC/DC átalakító kimeneti feszültsége alacsony. A szerelő először a 12 V-os oldali fogyasztást és a fedélzeti akkumulátort ellenőrizte, majd a nagyfeszültségű rendszer feszültségmentesítése után megvizsgálta a DC/DC átalakító bemeneti és kimeneti csatlakozásait. A HV-bemeneti feszültséget nem a nyitott rendszeren mérte, hanem a diagnosztikai műszer élő adataiból (mért értékblokk) olvasta ki: ez a gyártó szerinti szinten volt (ellenőrizendő: típusspecifikus érték), tehát az átalakító bemenete rendben volt. A kimeneti oldalon viszont terhelés alatt a kimeneti feszültség 12 V alá esett. A **HV-biztonság** szabályai szerint (jogosult személy, szervizcsatlakozó kiemelése és biztosítása, gyártói várakozási idő, a feszültségmentesség ellenőrzése – lásd Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése) a HV-oldalon a szerelő nem dolgozik, és a DC/DC átalakító belsejét nem javítja. A feszültségmentesítés után csak a 12 V-os kimeneti csatlakozót és a testpontot ellenőrizte feszültségesés-méréssel terhelés alatt: a testpont korróziója miatt az átmeneti ellenállás nagy volt, ezért esett vissza a feszültség. A csatlakozó és a testpont tisztítása és meghúzása után a kimeneti feszültség visszaállt a gyártói tartományba, a hibakód törölhető volt. Ha a hiba az egységen belül lett volna, az átalakító cseréje a gyártói eljárás szerint történik.

13.2.11. Tipikus hibák

Hiba 1: az áttétel felcserélése. A tanuló $U_2 = U_1 \cdot N_1/N_2$ képlettel számol, vagyis a menetszámarányt fordítva használja. A helyes: $a = N_1/N_2$, és $U_2 = U_1 \cdot N_2/N_1 = U_1/a$. A felcserélés a 10-es áttételű esetben 23 V helyett 2300 V-ot adna; a nagyságrend-ellenőrzés ezt azonnal kiszűri.

Hiba 2: csillag-delta feszültség/áram-összefüggések keverése. Csillagnál a vonali feszültség nagyobb, mint a fázisfeszültség ($\sqrt{3}$-szor), delta esetén a vonali áram nagyobb, mint a fázisáram. Aki ezt fejből nem tudja, a teljesítmény számításánál a $\sqrt{3}$ szorzót tévesen használja.

Hiba 3: a forgó mező irányának elhanyagolása. A háromfázisú motor forgásiránya a fázissorrendtől függ. Hibás bekötésnél a motor rossz irányba forog. A jármű generátoránál a fázissorrend a diódahíd miatt nem okoz gondot, de a HV-hajtómotoroknál az elektronikus vezérlés kezeli; ennek ellenére a fáziscsere hatását ismerni kell.

13.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az ideális transzformátor szekunder feszültsége független a terheléstől? Indokold! **2.** Egy transzformátor áttétele 5. A primer feszültség 100 V, a szekunder terhelő ellenállás 10 Ω. Mekkora a szekunder áram? **3.** Csillagkapcsolású fogyasztónál a fázisszög $\varphi = 30^\circ$, a fázisáram 5 A, a fázisfeszültség 230 V. Mekkora a háromfázisú hatásos teljesítmény? **4.** Mi a feltétele annak, hogy a háromfázisú nulla vezetőn ne folyjon áram? **5.** Hogyan változik a forgó mező forgásiránya, ha két fázist felcserélünk?

A válaszok a Megoldások elején, az „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találhatók.

13.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Egy transzformátor primer tekercse 600 menetes, szekunder tekercse 100 menetes. A primerre 230 V feszültséget kapcsolunk. Számítsd ki a szekunder feszültséget és az áttételt.
2. feladat (A). Egy háromfázisú rendszer fázisfeszültsége 230 V. Mekkora a vonali feszültség

csillagkapcsolásban? Mekkora a vonali áram, ha a fázisáram 10 A?
3. feladat (B). Egy ideális transzformátor szekunder feszültsége 48 V, a szekunderre 6 Ω ellenállás csatlakozik, a menetszámok aránya $N_1/N_2 = 5$. Mekkora a primer feszültség és a primer áram?
4. feladat (B). Háromfázisú motor vonali feszültsége 400 V, vonali árama 12 A, teljesítménytényezője 0,9. Számítsd ki a hatásos, a látszólagos és a meddő teljesítményt.
5. feladat (C). Egy gépjármű-generátor háromfázisú állórésze csillagkapcsolású. A diódahíd kimeneti egyenfeszültsége 14 V, a generátor terhelő árama 60 A. Keresd meg, hogyan kapcsolódik ez a korábban tanult egyenáramú teljesítményhez: mekkora a generátor leadott egyenáramú teljesítménye, és mennyi a háromfázisú teljesítmény ideális esetben? Miért van szükség feszültségszabályzóra?
6. feladat (D). Egy hibrid járműben a diagnosztikai műszer szerint a hajtómotor fázisáramai aszimmetrikusak, és a motor rángat. Sorolj fel legalább három lehetséges okot, és mondd meg, milyen méréssel lehetne eldönteni, hogy a probléma az inverter, a motor tekercse vagy a fázisvezeték. (Ez a gyakorlati hibakeresés a Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment alfejezetben folytatódik.)

13.2.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Az ideális transzformátorban nincs tekercsellenállás és szórt fluxus, ezért $U_2 = U_1 \cdot N_2/N_1$ terheléstől függetlenül. A valós transzformátornál terheléskor a tekercsellenálláson és a szórt reaktancián eső feszültség miatt a szekunder kapocsfeszültség csökken.
2. Az áttétel $a = 5$, így $U_2 = U_1/a = 100/5 = 20\,\text{V}$. A szekunder áram $I_2 = 20/10 = 2\,\text{A}$.
3. A háromfázisú hatásos teljesítmény $P = 3\,U_f I_f \cos\varphi = 3 \cdot 230 \cdot 5 \cdot \cos 30^\circ \approx 3 \cdot 230 \cdot 5 \cdot 0{,}866 \approx 2988\,\text{W}$.
4. A nulla vezetőn akkor nem folyik áram, ha a három fázis szimmetrikus, azaz az impedanciák és a fázisok terhelése egyenlő, és a feszültségrendszer szimmetrikus.
5. Ha két fázist felcserélünk, a fázissorrend megfordul, ezért a forgó mező forgásiránya ellentétes lesz.

1. feladat megoldása.
- Adott: $N_1 = 600$, $N_2 = 100$, $U_1 = 230\,\text{V}$.
- Keresett: U_2, a.
- Képlet: $a = N_1/N_2 = 600/100 = 6$; $U_2 = U_1 \cdot N_2/N_1 = 230 \cdot 100/600 = 38{,}3\,\text{V}$.
- Ellenőrzés: 6-os áttételnél a feszültség hatodára csökken. ∎

2. feladat megoldása.
- Csillagkapcsolásban $U_v = \sqrt{3}\,U_f = 1{,}732 \cdot 230 \approx 400\,\text{V}$.
- A vonali áram megegyezik a fázisárammal: $I_v = I_f = 10\,\text{A}$. ∎

3. feladat megoldása.
- Adott: $U_2 = 48\,\text{V}$, $R = 6\,\Omega$, $N_1/N_2 = a = 5$.
- Szekunder áram: $I_2 = U_2/R = 48/6 = 8\,\text{A}$.
- Primer feszültség: $U_1 = a\,U_2 = 5 \cdot 48 = 240\,\text{V}$.
- Primer áram: $I_1 = I_2/a = 8/5 = 1{,}6\,\text{A}$.
- Ellenőrzés: $P_1 = U_1 I_1 = 240 \cdot 1{,}6 = 384\,\text{W} = P_2 = 48 \cdot 8\,\text{W}$ (ideális transzformátorban a teljesítmény megmarad).

4. feladat megoldása.
- Adott: $U_v = 400\,\text{V}$, $I_v = 12\,\text{A}$, $\cos\varphi = 0{,}9$.
- Látszólagos: $S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12 \approx 8314\,\text{VA}$.

- Hatásos: $P = S\cos\varphi = 8314 \cdot 0{,}9 \approx 7483\,\mathrm{W}$.
- Meddő: $Q = \sqrt{S^2 - P^2} \approx \sqrt{8314^2 - 7483^2} \approx 3620\,\mathrm{var}$, vagy $Q = S\sin\varphi$, ahol $\sin\varphi = \sqrt{1 - 0{,}9^2} \approx 0{,}436$, így $Q \approx 8314 \cdot 0{,}436 \approx 3624\,\mathrm{var}$. ∎

5. feladat megoldása.
- Az egyenáramú teljesítmény: $P_{\mathrm{DC}} = U_{\mathrm{DC}} I_{\mathrm{DC}} = 14\,\mathrm{V} \cdot 60\,\mathrm{A} = 840\,\mathrm{W}$.
- Ideális háromfázisú generátornál a váltakozó oldali hatásos teljesítmény megegyezik az egyenáramú teljesítménnyel, ha a diódahíd és a szabályzó veszteségeitől eltekintünk. A háromfázisú leadott teljesítmény tehát kb. 840 W.
- A feszültségszabályzó azért kell, mert a generátor fordulatszáma a motorral változik, és a kimeneti feszültség fordulatszám- és terhelésfüggő; a szabályzó a gerjesztőáramot úgy állítja, hogy a fedélzeti hálózat feszültsége a 12 V-os rendszerben jellemzően 14 V körül maradjon (ellenőrizendő: a gyártói feszültségszint). Részletesen lásd A generátor.

6. feladat megoldása.
Lehetséges okok:
- inverter félvezető hiba (pl. egyik IGBT szakadt/zárlatos),
- motor egyik fázistekercsének szakadása vagy zárlata,
- fázisvezeték csatlakozó meglazulása vagy kábelkárosodás,
- áramváltó/érzékelő hibája az inverterben, aszimmetrikus jelet adva.

Mérési döntés: feszültségmentesítés után a motor fázistekercseinek ellenállását minden fázisban megmérjük, és összehasonlítjuk a gyártói értékkel; a fázisvezetékeket szakadásra és testzárlatra vizsgáljuk; az inverter kimeneti jeleit oszcilloszkóppal, az áramjeleket lakatfogóval ellenőrizzük, lehetőleg terhelés alatt. A pontos diagnosztika a Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment alfejezetben folytatódik. ∎

13.2.15. Rövid összefoglaló

A transzformátor két vagy több tekercs mágneses csatolásán alapul. Ideális esetben a feszültségáttétel a menetszámok arányával egyezik: $U_1/U_2 = N_1/N_2$, $I_2/I_1 = N_1/N_2$. A valós transzformátornak réz- és vasveszteségei vannak, a hatásfok a leadott és felvett hatásos teljesítmény aránya. A gyújtótekercs, a DC/DC átalakító és a töltőkészülék ugyanezt az elvet használja kapcsolóüzemben. A háromfázisú rendszer három, 120°-kal eltolt feszültségből áll; csillagnál $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, $I_v = I_f$, háromszögnél $U_v = U_f$, $I_v = \sqrt{3}\,I_f$. A háromfázisú hatásos teljesítmény $P = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos\varphi$. A térben és időben eltolt tekercsek forgó mágneses mezőt hoznak létre, amelynek szinkron fordulatszáma $n_s = 60f/p$; ez a gépjármű-generátor és a HV-hajtómotor működésének kulcsa. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a háromfázisú rendszert és forgó mezőt használjuk a Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok alfejezetben, a gépjármű-generátor (A generátor) és a HV-hajtómotor (Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment) tárgyalásánál.

13.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet alapvetően a váltakozó áramú elektrotechnika és a villamos gépek tankönyvi anyagára épül. A hálózati feszültségszintek (230/400 V) és a szabványos feszültségtűrés pontos értéke a mindenkori szabvány szerint ellenőrizendő. A gépjármű-generátor és a DC/DC átalakító konkrét feszültség- és hatásfokadatai gyártófüggők, ezért a javítás során mindig a gyártói adat az irányadó. A nagyfeszültségű rendszerekre vonatkozó mérési és biztonsági követelmények az ENSZ-EGB előírások és a gyártói utasítások szerint módosulhatnak (ellenőrizendő: ECE R100 és a hatályos jogszabályok). A szigetelési ellenállás határértékét és a gyújtótekercs, valamint a generátor

tekercsellenállás értékeit mindig típusspecifikus javítási adatból kell venni (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

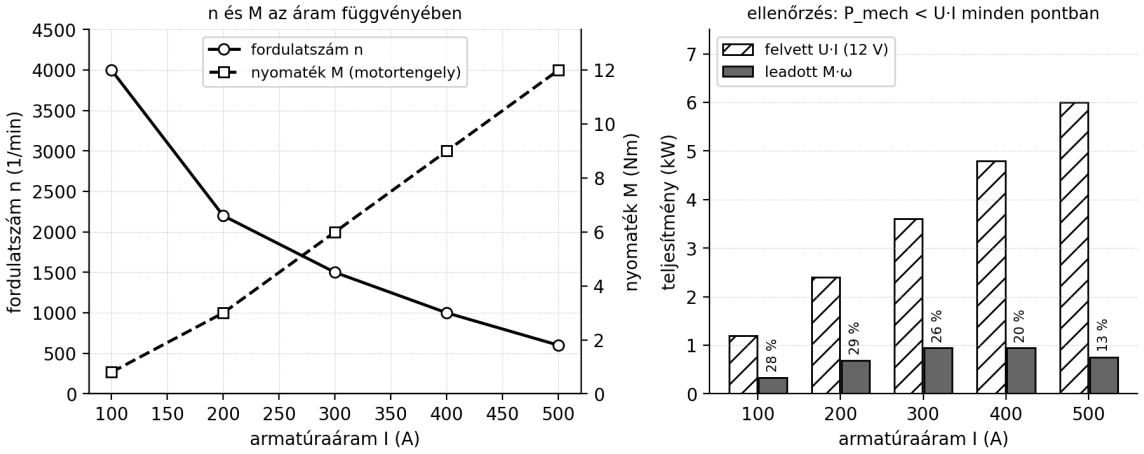
13.3. Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok

13.3.1. Motiváció

Egy hideg téli reggelen az autó nem indul: az indítómotor (köznyelven önindító) csak lassan forgatja a motort. Az akkumulátor feszültsége nyugalomban rendben van, ezért a hiba valószínűleg az indítómotorban vagy a nagyáramú vezetékben keresendő. Hogy ezt pontosan megértsd, ismerned kell a villamos gépek típusait, mert az indítómotor egy speciális egyenáramú gép, a jármű generátora pedig egy háromfázisú váltakozó áramú gép egyenirányítóval. Az elektromos autók hajtómotorja pedig általában állandó mágneses szinkronmotor. Ez a fejezet ezeket a géptípusokat rendszerezi úgy, hogy a műhelyben felismerd őket, és a hibatüneteket a működési elv alapján értelmezd.

13.3.2. Szemléletes kép

Nézd meg az alábbi jelleggörbét, amely egy soros gerjesztésű egyenáramú motor (indítómotor) fordulatszámát és nyomatékát mutatja az armatúraáram függvényében. Indításkor nagy áram folyik, a nyomaték hatalmas, de a fordulatszám alacsony. Ez pontosan az, amire az indítómotornak szüksége van: nagy nyomatékkal kell megforgatnia a belső égésű motort, miközben annak fordulatszáma még kicsi.



13.7. ábra. Soros gerjesztésű indítómotor jelleggörbéi (szemléltető adatsor egy kb. 1,5 kW-os, 12 V-os indítómotorra, a motor tengelyén; ellenőrizendő) és a teljesítmény-ellenőrzés

A bal oldali diagramon az armatúraáram 100 A-ről 500 A-re nő, a fordulatszám 4000 1/min-ről 600 1/min-re csökken, a nyomaték 0,8 Nm-ről 12 Nm-re nő: kis áramnál közel négyzetesen (a fluxus is az árammal nő), nagy áramnál a vas telítése miatt közel lineárisan. A nyomaték az indítómotor tengelyén értendő; a főtengelyen a fogaskoszorú áttétele (kb. 10–15) szorozza (ellenőrizendő). A jobb oldali oszlopok az ellenőrzést mutatják: a leadott $P = M\omega$ mindenhol kisebb a felvett $U \cdot I$-nél (az arány itt névleges 12 V-tal számolt felső becslés; indításkor a kapocsfeszültség ennél kisebb).

A görbék magyarázata: a soros gerjesztésű motorban a mező tekercse sorba van kötve az armatúrával, ezért a mező mágneses fluxusa növekszik az árammal. Kis áramnál (kis terhelésnél) a fordulatszám nagyon magas lehet, míg nagy áramnál (indulásnál) a nyomaték kiemelkedően nagy, a fordulatszám pedig leesik. A motor terhelés nélkül megszaladhat, ami veszélyes.

Figyelem. A nagy soros gerjesztésű motort (pl. vontatómotor) terhelés nélkül nem szabad járatni, mert a fluxus összeesik, a fordulatszám a szilárdsági határ fölé nőhet, és a gép tönkremehet. A jármű-indítómotornál a súrlódás, a kefék és a vezetékellenállás korlátozza az üresjárási fordulatszámot, ezért a gyártói üresjárási próba (csak rögzített motorral, néhány másodpercig, áram- és fordulatszámméréssel) megengedett (ellenőrizendő: gyártói vizsgálati eljárás).

13.3.3. Definíciók és csoportosítás

Definíció. A **villamos gép** (electric machine) olyan energiaátalakító berendezés, amely villamos energiát mechanikai energiává (motor üzem) vagy mechanikai energiát villamos energiává (generátor üzem) alakít át, általában mágneses mező közvetítésével.

A villamos gépeket főbb szempontok szerint csoportosítjuk:

- **Üzemmód szerint:** motor (villamos → mechanikai) vagy generátor (mechanikai → villamos).
- **Áramnem szerint:** egyenáramú (DC) gép – kommutátoros; váltakozó áramú (AC) gép – szinkron vagy aszinkron.
- **Fázisszám szerint:** egyfázisú vagy háromfázisú.
- **A forgórész típusa szerint:** kommutátoros armatúra, rövidrezárt kalicka, csúszógyűrűs tekercselés, állandó mágnes, gerjesztett póluskerék.
- **A mező létrehozása szerint:** állandó mágneses, külön gerjesztésű, soros, párhuzamos (sönt) vagy vegyes gerjesztésű.

A gépjárművekben leggyakrabban háromféle villamos géppel találkozunk:

- **Indítómotor** – soros gerjesztésű egyenáramú motor, ritkábban állandó mágneses egyenáramú motor.
- **Járműgenerátor (alternátor)** – háromfázisú szinkron generátor beépített egyenirányítóval.
- **Hajtómotor (elektromos és hibrid járművekben)** – többnyire állandó mágneses szinkronmotor (PMSM), ritkábban aszinkron motor.

13.3.4. Egy- és háromfázisú váltakozó áramú generátor

Felépítés és működés. Minden generátor alapelve az elektromágneses indukció: ha egy tekercsben a mágneses fluxus időben változik, a tekercs kapcsain feszültség indukálódik. Az egyfázisú generátorban egyetlen tekercs forog (vagy a mágnes forog körülötte), így a kimeneti feszültség közel szinuszos:

$$u(t) = \hat{U}\,\sin(\omega t)$$

ahol $\hat{U}$ a csúcsfeszültség, $\omega = 2\pi f$ a körfrekvencia, f a frekvencia.

A háromfázisú generátorban három tekercs van, amelyek térben 120°-kal el vannak forgatva. Így három, időben is 120°-kal eltolt feszültség keletkezik:

$$u_1(t) = \hat{U}\,\sin(\omega t), \quad u_2(t) = \hat{U}\,\sin\left(\omega t - 120^\circ\right), \quad u_3(t) = \hat{U}\,\sin\left(\omega t - 240^\circ\right).$$

A háromfázisú rendszer előnye, hogy ugyanakkora teljesítményt kisebb veszteséggel és simább nyomatékkal lehet átvinni, mint egyfázisúval.

Járműgenerátor. A mai személyautókban a generátor háromfázisú szinkron gép, amelynek forgórésze karmos pólusú (ún. Lundell-rendszer) elektromágnes. Ezt a forgó-gerjesztő áramot szénkeféken és csúszógyűrűkön keresztül kapja. A generátor által termelt háromfázisú váltakozó feszültséget egy beépített hatütemű diódahíd egyenirányítja, ezért a jármű fedélzeti hálózata egyenfeszültséget kap. A kimeneti feszültséget a feszültségszabályozó a gerjesztőáram változtatásával 13,8–14,4 V körül tartja (ellenőrizendő: gyártói adat).

13.3.5. Egyenáramú gépek: szerkezet és gerjesztési módok

Az egyenáramú gép forgórésze (armatúra) hornyolt lemezelt vasmag, benne a forgórész tekercseléssel. A tekercs végeit az ún. kommutátorhoz vezetik. A kommutátoron szénkefék csúsznak, amelyek az áramot a forgórészbe vezetik (motor) vagy onnan elvezetik (generátor).

Az állórészen vannak a főpólusok, amelyek mágneses mezőt hoznak létre. A mező gerjesztésének módja alapján megkülönböztetünk:

Gerjesztési mód	Mezőforrás	Indítónyomaték	Fordulatszám terhelés hatására	Járműipari példa
Állandó mágnes	Beépített mágnes	Kicsi/közepes	Közel állandó	Kisméretű segédmotorok, ventilátorok
Külső gerjesztés	Külön táplált tekercs	Változtatható	Változtatható	Régi generátorok szabályozása
Soros gerjesztés	Mező az armatúrával sorban	Nagyon nagy	Erősen csökken	Indítómotor
Párhuzamos (sönt)	Mező az armatúrával párhuzamosan	Kicsi	Kissé csökken	Régi generátorok, stabil hajtások
Vegyes gerjesztés	Soros + párhuzamos	Nagy	Közepes	Vontatás, régi rendszerek

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

Soros gerjesztésű motor jelleggörbéje. Az indítómotor azért soros gerjesztésű, mert induláskor az armatúra árama és a mező tekercs árama közös, ezért a fluxus erősen megnő, és a nyomaték igen nagy. A motor elektromos egyenlete:

$$U = E + I R_{\ddot{o}},$$

ahol U a kapocsfeszültség, I az áram (armatúra és gerjesztő tekercs közös árama), $R_{\ddot{o}}$ az összes ellenállás (armatúra, kefék, gerjesztő tekercs, vezetékek), E pedig az indukált feszültség. Az indukált feszültség:

$$E = k\,\Phi\,n,$$

ahol k gépállandó, Φ a fluxus, n a fordulatszám.

Soros gerjesztésnél, amíg a mágneskör nem telített, a fluxus közel arányos az árammal: $\Phi \approx k_1 I$. Ezzel $E \approx k k_1 I n$, és behelyettesítve:

$$n \approx \frac{U - I R_{\text{ö}}}{k k_1 I}.$$

Ez a képlet megmagyarázza a jelleggörbét: kis áramnál (kis terhelésnél) a fordulatszám nagy, nagy áramnál (nagy terhelésnél) a fordulatszám meredeken csökken. Üresjáratban ($I \to 0$) az egyenlet szerint a fordulatszám elvileg végtelen nő, ami a gyakorlatban a motor megfutásához és tönkremeneteléhez vezet.

13.3.6. Forgó mező és háromfázisú aszinkron motor

Definíció. A **forgó mágneses mező** olyan mágneses mező, amelynek amplitúdója állandó, de iránya a térben egyenletes szögsebességgel körbefordul. Háromfázisú tekercselésnél a 120°-kal eltolt térbeli elhelyezkedés és a 120°-kal eltolt áramok eredményeként jön létre.

A forgó mező fordulatszámát **szinkron fordulatszámnak** nevezzük:

$$n_{\text{s}} = \frac{60\,f}{p},$$

ahol f a hálózati frekvencia (Hz), p a póluspárok száma. Például $f = 50\,\text{Hz}$ és $p = 2$ (4 pólusú gép) esetén $n_{\text{s}} = 1500\,1/\text{min}$.

Aszinkron motor felépítése. Az állórészben háromfázisú tekercselés van, amely a forgó mezőt létrehozza. A forgórész lehet:

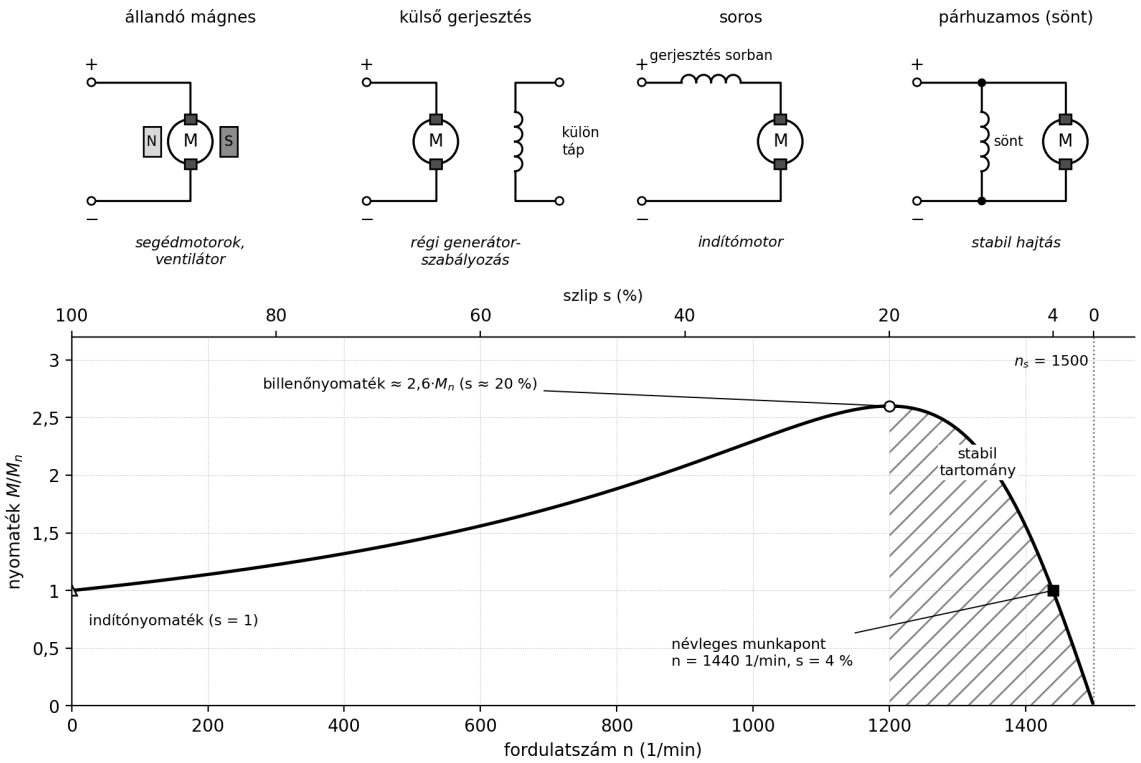
- **rövidrezárt (kalickás)**: a hornyokban réz- vagy alumíniumrudak vannak, amelyeket a két végén gyűrűk zárnak rövidre; ez a leggyakoribb, egyszerű és robusztus;
- **csúszógyűrűs**: a forgórész tekercselése csúszógyűrűkön keresztül külső ellenállásokhoz kapcsolható, így az indítónyomaték növelhető.

A forgó mező a forgórész rudakban feszültséget indukál, az indukált áram a mezővel nyomatékot hoz létre. A forgórész soha nem éri el a szinkron fordulatszámot, mert akkor nem lenne relatív elmozdulás a mező és a rudak között, és nem indukálódna feszültség. A relatív lemaradást a **szlip** jellemzi:

$$s = \frac{n_{\text{s}} - n}{n_{\text{s}}},$$

ahol n a forgórész fordulatszáma. A szlip gyakran százalékban adjuk meg. Névleges üzemben a szlip néhány százalék (pl. 2–6 %).

Nyomaték–szlip jelleggörbe. Induláskor ($s = 1$) a nyomaték közepes, a szlip csökkenésével a nyomaték előbb nő, majd egy maximális (billenő) nyomaték után csökken. A motor a stabil üzemi tartományban a billenőnyomatéktól balra dolgozik.



Felső sor: armatúra (M) kefékkel és a gerjesztés kapcsolása. Alsó: aszinkron motor M–n görbéje (szemléltető, Kloss-közelítés, p = 2, 50 Hz).

13.8. ábra. Az egyenáramú gép négy gerjesztési módjának kapcsolási vázlata és az aszinkron motor nyomaték–fordulatszám görbéje (szemléltető)

Az ábra felső sora az előző táblázat négy gerjesztési módját mutatja (az armatúra M jellel, a gerjesztőtekercs sorosan, párhuzamosan vagy külön tápról). Az alsó diagram az aszinkron motor M–n görbéje: a felső tengelyen a szlip, az alsón a fordulatszám olvasható. A „billenőnyomatéktól balra” a szlip-tengelyen értendő; a fordulatszám-tengelyen ez a billenőpont és a szinkron fordulatszám közötti, sraffozott stabil tartomány, ahol az 1. példa munkapontja ($n = 1440\,1/\mathrm{min}$, $s = 4\,\%$) is van. Az interaktív változatban a terhelőnyomaték állítható: a program kijelzi a munkapontot és a szlipet, a billenőnyomatéknál nagyobb terhelésnél pedig jelzi, hogy a motor kibillen.

13.3.7. Szinkronmotor és állandó mágneses szinkronmotor (PMSM)

Definíció. A **szinkronmotor** olyan váltakozó áramú motor, amelynek forgórésze pontosan a forgó mező fordulatszámával forog, tehát $n = n_\mathrm{s}$. A forgórész lehet elektromágneses póluskerék (kefés vagy kefe nélküli gerjesztés) vagy állandó mágnes.

Az **állandó mágneses szinkronmotor (PMSM)** forgórésze nagy energiájú ritkaföldfém mágneseket (például neodímium-vas-bór) tartalmaz, ezért nincs szüksége gerjesztő áramra, így nincs gerjesztési veszteség, és a hatásfoka nagyon jó. A PMSM előnyei:

- nagy teljesítménysűrűség és nyomatéksűrűség;
- kiváló hatásfok;
- pontos fordulatszám-szabályozás inverterrel;
- alacsony zaj.

Hátránya a ritkaföldfém mágnesek ára és hőmérséklet-érzékenysége. A nagy fordulatszám tartományában ún. **mezőgyengítéssel** (negatív d-árammal) lehet a fluxust csökkenteni, így a motor a névleges felett is képes forogni.

13.3.8. Kidolgozott példák

1. példa – Aszinkron motor szlipje.
Adott egy 4 pólusú (két póluspárú) aszinkron motor, amelyet $f = 50\,\text{Hz}$ hálózatról táplálnak. A mért forgórész-fordulatszám $n = 1440\,1/\text{min}$.

Keresett: a szinkron fordulatszám és a szlip.

Megoldás:

$$n_\text{s} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\text{min}.$$

$$s = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{60}{1500} = 0{,}04 = 4\,\%.$$

Ellenőrzés: a szlip névlegesen valóban 4–6 % közötti, tehát az eredmény reális. ∎

2. példa – Hajtómotor teljesítménye.
Egy elektromos jármű PMSM hajtómotorja $M = 200\,\text{Nm}$ nyomatékot ad le $n = 3000\,1/\text{min}$ fordulatszámon.

Keresett: a motor által leadott mechanikai teljesítmény.

Megoldás: A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi\, n}{60} = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314{,}16\,\text{rad/s}.$$

A teljesítmény:

$$P = M \cdot \omega = 200 \cdot 314{,}16 = 62\,832\,\text{W} \approx 62{,}8\,\text{kW}.$$

Ellenőrzés: $1\,\text{Nm} \cdot 1\,\text{rad/s} = 1\,\text{W}$, a nagyságrend egy közepes elektromos autó motorjához illik. ∎

3. példa – Indítómotor áramfelvétele (egyszerűsített).
Egy 12 V-os jármű indítómotorja hidegindításkor (álló rotornál, ahol még nincs ellenfeszültség) $R_\text{ö} = 0{,}025\,\Omega$ eredő ellenállást mutat (az indítómotor, a kábelek és az érintkezők együtt; tanulási példaadat, ellenőrizendő: gyártói adat). Becsüljük meg az indítási áramot és a felvett teljesítményt!

Megoldás:

$$I = \frac{U}{R_\text{ö}} = \frac{12}{0{,}025} = 480\,\text{A}.$$

$$P_\text{fel} = U \cdot I = 12 \cdot 480 = 5760\,\text{W} \approx 5{,}8\,\text{kW}.$$

Megjegyzés. Ez egy erősen egyszerűsített számolás: a valóságban az akkumulátor belső ellenállása miatt a kapocsfeszültség indításkor 9–10 V-ra esik, ezért az áram kisebb; az indukált feszültség és a belső ellenállás a fordulatszámtól is függ. Ellenőrzés: az eredmény a személyautós indítómotorokra jellemző néhány száz amperes tartományba esik (a valós érték 200–600 A is lehet; ellenőrizendő: gyártói adat).

13.3.9. Minőségellenőrzés

A villamos gépeket a műhelyben elsősorban a következő szempontok szerint ellenőrizzük:

- **Indítómotor:** kefék hossza (gyártói kopási határ, például 10–12 mm – ellenőrizendő), kommutátor felülete (egyenletes, sötétbarna, nem égett vagy barázdált), csapágyak játéka, a gerjesztő tekercs és az armatúra épsége.
- **Generátor:** a B+ és a test közötti feszültség üzemi fordulatszámon 13,8–14,4 V (ellenőrizendő), a lakatfogóval mért töltőáram, a diódahíd ellenőrzése specifikus műszerrel vagy oszcilloszkóppal.
- **Hajtómotor:** szigetelési ellenállás mérése a nagyfeszültségű rendszeren (később részletesen tárgyaljuk), fázisellenállások szimmetriája, jeladók (resolver, Hall-szenzor) jelei.

Figyelem. Az indítómotor-vizsgálat előtt az akkumulátor negatív kapcsát le kell kötni, mert a nagyáramú vezeték rövidzárlat esetén súlyos égési sérülést okozhat.

13.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Ügyfélpanasz: a jármű hidegben alig indul, az indítómotor „lassan pörög”.
Tünet: Indításkor az indítómotor fordulatszáma alacsony, a motor éppen csak átfordul.
Hipotézisek: lemerült akkumulátor, rossz akkumulátor-saru, nagy ellenállású vezeték, kopott kefék, esetleg rossz kommutátor.
Mérés: Nyugalmi feszültség 12,6 V (rendben). Indítás közben az akkumulátor kapocsfeszültsége 10,5 V-ra esik, ami még elfogadható (határérték ellenőrizendő). A lakatfogó 180 A-t mutat, ami egy kisebb motor hidegindításánál nem szokatlan (ellenőrizendő: gyártói adat). Az indítómotor fordulatszáma azonban szemmel láthatóan alacsony.
Vizsgálat: Az indítómotor kiszerelése után a kefék hossza a minimális kopási határ alatt van, a kommutátor felülete egyenetlenül égett.
Ok: A kopott kefék miatt a motor áramfelvétele csökken, a nyomaték nem elegendő, így a motor fordulatszáma is alacsony.
Javítás: Új kefék vagy felújított indítómotor beépítése a gyártó szerint; a kommutátor esztergálása, ha a mérete engedi.
Ellenőrzés: Beszerelés után indítási teszt: a motor gyorsan forgatja a belső égésű motort, az akkumulátor feszültségesése kisebb.
Tanulság: A soros gerjesztésű motor jelleggörbéjéből érthető, hogy a kefe- és kommutátorproblémák miért okoznak nagy indítási nyomatékvesztést. Ezt a hibakeresési logikát használjuk az Indítómotorok alfejezetben.

13.3.11. Tipikus hibák

1. **A szlip és a fordulatszám-eltérés összekeverése.** Sokan az $n_s - n$ különbséget nevezik szlipnek. A szlip mindig relatív mennyiség: $s = (n_s - n)/n_s$, mértékegység nélküli (vagy %).
2. **Soros gerjesztésű motor üresjáratban való járatása.** Ez tönkreteszi a motort, mert a fordulatszám a fluxus csökkenésével megugrik. Az indítómotor üresjárási próbáját csak rögzített motorral, néhány másodpercig, a gyártói eljárás szerint szabad elvégezni.
3. **Az aszinkron és a szinkron motor összekeverése.** Az aszinkron motornak van szlipje, a szinkronmotor viszont pontosan a szinkron fordulatszámon forog (terhelés hatására a terhelési szög változik, nem a fordulatszám). A PMSM tehát nem „aszinkron”, mert nincs szlipje.

4. **A járműgenerátor feszültségének egyfázisú mérése.** A generátor háromfázisú váltakozó feszültséget termel, az egyenirányító után azonban egyenfeszültséget mérünk. A fázisfeszültségeket csak a generátor belső pontjain, megfelelő műszerrel lehet vizsgálni.

13.3.12. Önellenőrzés

1. Miért alkalmaznak soros gerjesztést az indítómotorokban?
2. Számítsd ki a szlipet, ha a szinkron fordulatszám 1500 1/min és a forgórész fordulatszáma 1450 1/min!
3. Mi a különbség a rövidrezárt és a csúszógyűrűs forgórész között?
4. Miért van szükség egyenirányítóra a jármű generátorában?
5. Igaz vagy hamis: a PMSM forgórésze mindig pontosan a forgó mező fordulatszámával forog terhelés alatt is. Indokold!

A válaszokat a Megoldások elején találod.

13.3.13. Feladatok

1. feladat (A) – Definiáld a villamos gép fogalmát, és sorold fel az egyenáramú gépek gerjesztési módjait!

2. feladat (A) – Számítsd ki egy háromfázisú aszinkron motor szinkron fordulatszámát, ha a hálózati frekvencia 50 Hz és a motor 6 pólusú (3 póluspár)!

3. feladat (B) – Egy 4 pólusú aszinkron motor 50 Hz-es hálózaton üzemel. A névleges fordulatszáma 1440 1/min. Mennyi a szlip százalékban?

4. feladat (B) – Egy 12 V-os indítómotor eredő ellenállása (a kábelekkel együtt) hidegen 0,03 Ω. Becsüld meg az indítási áramot és a felvett teljesítményt! Miért csak becslés ez az érték?

5. feladat (C) – Készíts egy összehasonlító táblázatot az aszinkron motor és az állandó mágneses szinkronmotor (PMSM) járműhajtási alkalmazásáról: fordulatszám-szabályozás, hatásfok, nyomatéksűrűség, mágnesek költsége, karbantartás. Melyiket választanád egy kompakt elektromos autó hajtómotorjának, és miért?

6. feladat (C) – Elemezd a soros gerjesztésű motor jelleggörbéjét! Miért veszélyes terhelés nélkül járatni? Hogyan kerülik ezt el a gyakorlatban?

7. feladat (D) – Hibakeresés: Egy autó indítómotorja lassan forog, az akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,6 V. Indításkor a feszültség 10,8 V-ra csökken, az indítóáram 250 A. A saruk és a vezetékek melegednek, az indítómotor fordulatszáma érezhetően alacsony. Mi lehet a legvalószínűbb hiba? Javasolj mérési sorozatot az elkülönítéshez!

13.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A soros gerjesztésű motor indítóárama a mező tekercsen is átfolyik, így a fluxus nagy, és a nyomaték induláskor maximális. Ez ideális a belső égésű motor átforgatásához.
2. $s = \frac{1500 - 1450}{1500} = \frac{50}{1500} = 0{,}0333 = 3{,}33\,\%$.
3. A rövidrezárt forgórészben a rudak eleve rövidre vannak zárva (kalicka), a csúszógyűrűs forgórész tekercsét pedig csúszógyűrűkön keresztül külső ellenállásokhoz lehet csatlakoztatni az indítás megkönnyítésére.

4. Mert a jármű fedélzeti hálózata egyenfeszültséget igényel, a generátor viszont háromfázisú váltakozó feszültséget termel.
5. Igaz. A szinkronmotor fordulatszáma terhelés alatt is a szinkron fordulatszámmal egyenlő; ha a terhelés meghaladja a maximális (kicsúszási) nyomatékot, a motor kiesik a szinkronból.

Feladatok megoldásai

1. feladat – A villamos gép villamos és mechanikai energia közötti átalakítást végez. Gerjesztési módok: állandó mágneses, külső, soros, párhuzamos (sönt), vegyes.

2. feladat – $f = 50\,\text{Hz}$, $p = 3$; $n_s = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000\,1/\text{min}$.

3. feladat – $p = 2$, $n_s = 1500\,1/\text{min}$. $s = \frac{1500-1440}{1500} = 0{,}04 = 4\,\%$.

4. feladat – $I \approx \frac{12}{0{,}03} = 400\,\text{A}$; $P_{\text{fel}} = 12 \cdot 400 = 4800\,\text{W} = 4{,}8\,\text{kW}$ (a néhány száz amperes nagyságrend megfelel a szöveg szerinti valós tartománynak). Becslés, mert az indukált feszültség és a belső ellenállás fordulatszámtól függ, a vezetékek és a saruk ellenállása is számít, és a hidegben az akkumulátor belső ellenállása nagyobb.

5. feladat (C) összehasonlítás: | Szempont | Aszinkron motor | PMSM | | — | — | — | | Fordulatszám-szabályozás | Inverterrel, szlipfüggő | Inverterrel, szinkron | | Hatásfok | Jó, de forgórész-veszteség van | Kiváló, nincs gerjesztési veszteség | | Nyomatéksűrűség | Közepes | Nagy | | Mágnesek költsége | Nincs (kalickás) | Ritkaföldfém mágnesek drágák | | Karbantartás | Minimális | Minimális |

Kompakt elektromos autóba a PMSM a jobb választás a nagy hatásfok és nyomatéksűrűség miatt, bár drágább.

6. feladat – A soros gerjesztésnél $\Phi \approx k_1 I$, így a fordulatszám $n \propto 1/I$. Terhelés nélkül az áram kicsi, tehát a fluxus kicsi, ezért a fordulatszám nagyon megnő. A gyakorlatban a motort mindig terhelten, vagy csak rövid ideig járatják üresen, és a gyártók beépített védelmeket (áramkorlát, fordulatszám-korlát) alkalmaznak.

7. feladat – A tünetekből (feszültség 12,6 V nyugalomban, indításkor 10,8 V, nagy áram, melegedő saruk) arra következtethetünk, hogy a hiba nem az akkumulátorban van, hanem nagy átmeneti ellenállás a nagyáramú körben: rossz akkumulátor-saru, korrodált csatlakozás, eltört főkábel vagy hibás indítórelé érintkező. Mérés: feszültségesés mérés az indítóáramkör minden szakaszán (pl. saru, kábel, indítótest). Ha egy szakaszon a feszültségesés indítás közben jelentős (pl. 0,5 V fölött), ott a hiba. Javítás: a saru tisztítása, meghúzása, kábelcsere. Ezt a módszert az Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram alfejezetben részletesen gyakoroljuk.

13.3.15. Rövid összefoglaló

A villamos gépek energiát alakítanak át elektromechanikus úton. A gépjárművekben az indítómotor soros gerjesztésű egyenáramú motor, mert indításkor nagy nyomatékot kell leadnia; a járműgenerátor háromfázisú szinkron generátor, amelynek kimenetét diódahíd egyenirányítja; az elektromos járművek hajtómotorja tipikusan állandó mágneses szinkronmotor (PMSM), ritkábban aszinkron motor. Az aszinkron motor működése a forgó mezőn alapul, amelynek fordulatszáma $n_\text{s} = 60f/p$. A forgórész lemaradását a szlip jellemzi: $s = (n_\text{s} - n)/n_\text{s}$. A szinkronmotor terhelés alatt is a szinkron fordulatszámon forog. A soros gerjesztésű motort tilos terhelés nélkül járatni, mert megszaladhat. **Továbbvitt eredmény:** ezeket a géptípusokat és jelleggörbéket használjuk az Indítómotorok és a Hibrid és elektromos hajtások áttekintése alfejezetekben.

13.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Fizikai alapok: elektrotechnika és villamos gépek tankönyvek (stabil ismeret).
- Az egyenáramú gépek gerjesztési módjai, aszinkron és szinkron motorok jellemzői: MSZ EN 60034 sorozat (ellenőrizendő: aktuális kiadás).
- Járműgenerátor kimeneti feszültség (13,8–14,4 V), indítómotor kefehossz-határérték, tipikus indítóáram: gyártói adatok (ellenőrizendő: járműspecifikus javítási adat).
- A táblázatokban szereplő minőségi jellemzők (kicsi, nagy, közepes) tanulási besorolások, nem számszerű határértékek.

14 Elektronika

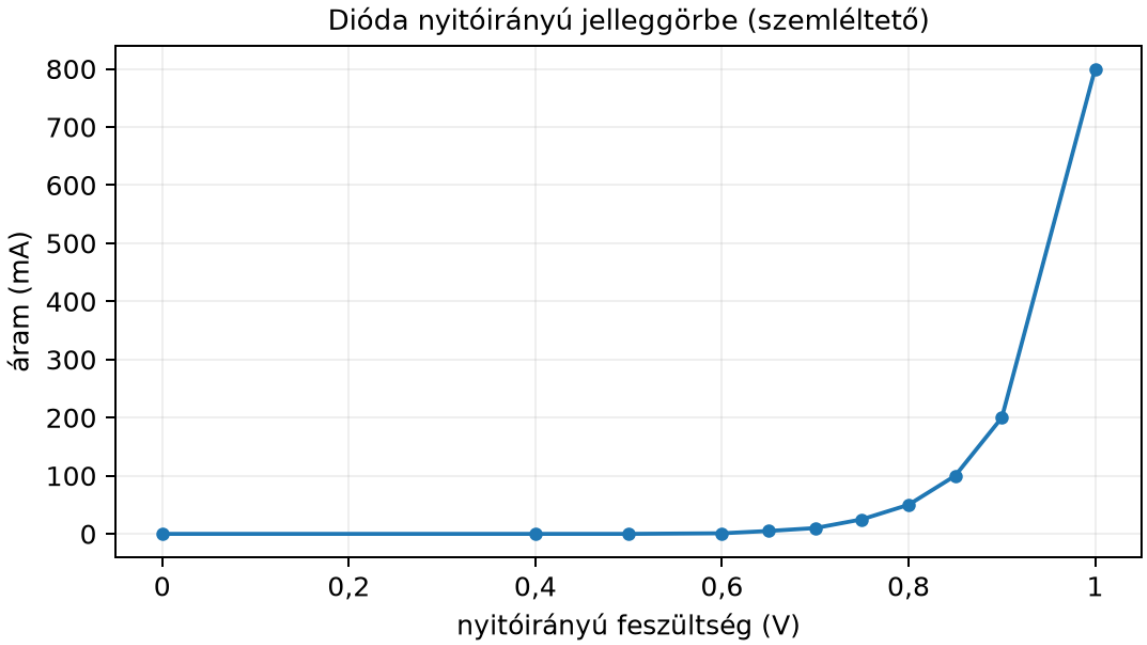
14.1. Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók

14.1.1. Motiváció

A jármű generátora (a köznyelvben „töltő”) működése közben váltakozó feszültséget állít elő, pedig a jármű fedélzeti hálózata egyenfeszültséget igényel: az akkumulátor töltése, a motorirányító, a világítás és a fedélzeti elektronika mind egyenárammal működik. Ha a generátor nem tölt, és a műszerfalon világít a töltés visszajelző, a szerelőnek pontosan értenie kell, miért felelős a generátor diódahídja az átalakításért. Ugyanez a elemcsalád – a félvezető dióda – jelenik meg a szabadonfutó diódákban (relétekercseknél), az elektronikus feszültségszabályozókban és a túlfeszültség-védelemben is. Ez az alfejezet a félvezető dióda viselkedését, a Zener-diódával megvalósított feszültségstabilizálást és az egyenirányító kapcsolásokat tanítja meg.

14.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy olaj-visszacsapó szelepet a motor kenőrendszerében: az egyik irányban nyomás hatására kinyit, a másik irányban a nyomás éppen zárva tartja. A félvezető dióda ennek villamos megfelelője: az egyik irányban kis feszültségeséssel vezet, a másik irányban gyakorlatilag lezár. Ha a váltakozó feszültséget (amelynek polaritása periodikusan váltakozik) rákapcsoljuk, a dióda csak a megfelelő polaritású félperiódusban enged áramot, így a kimeneten lüktető egyenfeszültség jelenik meg. A dióda jelleggörbéje ezt a viselkedést mutatja.



14.1. ábra. Dióda nyitóirányú jelleggörbe (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor, nem mért érték; a valós jelleggörbe a diódatípustól és hőmérséklettől függ.

A chart azt mutatja, hogy a szilíciumdióda nyitóirányban csak egy küszöbfeszültség (kb. 0,7 V) elérése után kezd jelentős áramot vezetni; utána az áram meredeken növekszik. A záróirányú tartomány (negatív feszültség) itt nincs feltüntetve, mert a záróirányú áram nagyon kicsi.

14.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **félvezető** olyan anyag (jellemzően szilícium vagy germánium), amelynek vezetőképessége a vezetők és a szigetelők között van, és szennyezéssel, hőmérséklettel vagy fénnyel befolyásolható.

Definíció. A **saját vezetés** a tiszta félvezető kristályban hőmozgás hatására felszabaduló elektronok és a hátrahagyott lyukak (pozitív töltéshordozóként viselkedő üres helyek) együttes elmozdulása.

Definíció. A **szennyezett vezetés** olyan félvezetés, amelyet szándékosan bevitt idegen atomok (szennyezők) hoznak létre. Ha a szennyező atomok szabad elektronokat adnak, **n-típusú** félvezetőt kapunk; ha lyukakat, **p-típusút**.

Definíció. A **pn-átmenet** egy p-típusú és egy n-típusú félvezető tartomány találkozása. Ezen a határrétegen belül a töltéshordozók rekombinációja miatt kiürített réteg jön létre, amely beépített feszültséget hoz létre (szilíciumnál kb. 0,7 V – ellenőrizendő: típustól függ).

Definíció. A **félvezető dióda** olyan kétkivezetésű alkatrész, amely egy pn-átmenetet tartalmaz. Az anód a p-oldal, a katód a n-oldal kivezetése. A dióda **nyitóirányban** (anód pozitív, katód negatív) kis feszültségeséssel vezet, **záróirányban** (katód pozitív, anód negatív) gyakorlatilag lezár.

Definíció. A **Zener-dióda** olyan dióda, amelyet arra terveztek, hogy záróirányban egy meghatározott **letörési feszültségen** (Zener-feszültség) stabilan, megengedett áram mellett üzemeljen. Feszültségstabilizálásra használják.

Összefüggés. A dióda nyitóirányú feszültségesése szilíciumdiódánál jellemzően 0,6–0,8 V (gyakran 0,7 V-tal számolunk), germániumdiódánál 0,2–0,3 V; a záróirányú áram normál üzemi hőmérsékleten mikroamper nagyságrendű.

14.1.4. Felépítés és működés

14.1.4.1. Sávmodell, saját- és szennyezett vezetés

A szilárdtest-fizika sávmodellje szerint az atomokban az elektronok csak meghatározott energiasávokat tölthetnek be. A legkülső, vegyértéksáv és a felette lévő vezetési sáv közötti energiakülönbséget **tiltott sávnak** nevezzük. A vezető anyagokban a két sáv átfedi egymást (vagy a tiltott sáv nagyon keskeny), a szigetelőkben a tiltott sáv széles, a félvezetőkben pedig közepes (szilíciumban kb. 1,1 eV – ellenőrizendő). Ha a félvezetőben egy elektron elegendő energiát kap (pl. hőmozgásból), átugrik a vezetési sávba, és a vegyértéksávban lyuk marad. Mind az elektron, mind a lyuk részt vesz a vezetésben.

A **saját vezetés** tehát hőmérsékletfüggő: melegedéskor több töltéshordozó-pár keletkezik, a vezetőképesség nő. A gyakorlatban a diódák működése nagyrészt a **szennyezett vezetésen** alapul. Ha a szilíciumkristályba öt vegyértékelektronos atomokat (pl. foszfor, arzén) viszünk, akkor minden szennyező atomnak egy-egy elektronja lazán kötött, és könnyen szabad elektronná válik: n-típusú félvezető keletkezik. Ha három vegyértékelektronos atomokat (pl. bór, alumínium) adunk hozzá, akkor lyukak keletkeznek: p-típusú félvezető.

14.1.4.2. A pn-átmenet és a dióda viselkedése

Amikor p-típusú és n-típusú tartományt érintkezésbe hozunk, a határfelületen a szabad elektronok az n-oldalról a p-oldalra, a lyukak a p-oldalról az n-oldalra diffundálnak. Az átlépő töltéshordozók rekombinálódnak, a határfelületen pedig visszamaradnak a szennyező atomok rögzített ionjai. Ez a **kiürített réteg** tértöltést hoz létre, amely belső elektromos teret alakít ki, és ez megakadályozza a további diffúziót. Ebből származik a beépített potenciálgát.

Ha külső feszültséget kapcsolunk a pn-átmenetre **nyitóirányban** (a p-oldalra pozitív feszültség, az n-oldalra negatív), akkor a külső tér csökkenti a kiürített réteget, és a töltéshordozók át tudnak lépni a határrétegen. A dióda vezet. A nyitóirányban mérhető feszültségesés a küszöbfeszültség (szilíciumnál kb. 0,7 V), amely az áramtól csak kis mértékben függ. **Záróirányban** (anód negatív, katód pozitív) a külső tér növeli a kiürített réteget, így a dióda gyakorlatilag nem vezet; a záróirányú áram csak néhány mikroamper.

A dióda rajzjelén a háromszög csúcsa a katód felé mutat; a háromszög a vezetési irányt jelöli (anód $\rightarrow$ katód).

14.1.4.3. Zener-dióda és feszültségstabilizálás

A Zener-diódát **záróirányban** üzemeltetjük. A záróirányú feszültséget növelve elérjük a **letörési feszültséget**, ahol a záróirányú áram hirtelen megnő. A Zener-dióda úgy van kialakítva, hogy ez a letörés megengedett, és a feszültség a letörési tartományban közel állandó. Ezt a tulajdonságot használjuk feszültségstabilizálásra.

Egy egyszerű Zener-stabilizáló kapcsolásban a stabilizálandó bemeneti feszültségre sorba kapcsolunk egy előtétellenállást és a Zener-diódát. A terhelés a Zener-diódával párhuzamosan csatlakozik. Az előtétellenállás határozza meg azt az áramot, amely a Zener-diódán és a terhelésen együttesen

átfolyik. Ha a bemeneti feszültség csökken, a Zener feszültsége (a letörési karakterisztika miatt) alig változik, így a kimeneti feszültség is stabil marad. Fontos, hogy a Zener-dióda mindig előtétellenállással használandó; anélkül a túláram tönkreteszi.

14.1.4.4. Egyenirányító kapcsolások

Az **egyutas egyenirányító** egyetlen diódából áll. A váltakozó feszültség pozitív félperiódusában a dióda vezet, a negatívban lezár, így a terhelésen csak a pozitív félperiódusok jelennek meg. A kimeneti feszültség középértéke (ideális diódával, szinuszos bemenet esetén):

$$U_{\text{av}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} \approx 0{,}318\, U_{\text{max}},$$

ahol U_{max} a váltakozófeszültség csúcsértéke. A kimenet erősen hullámos.

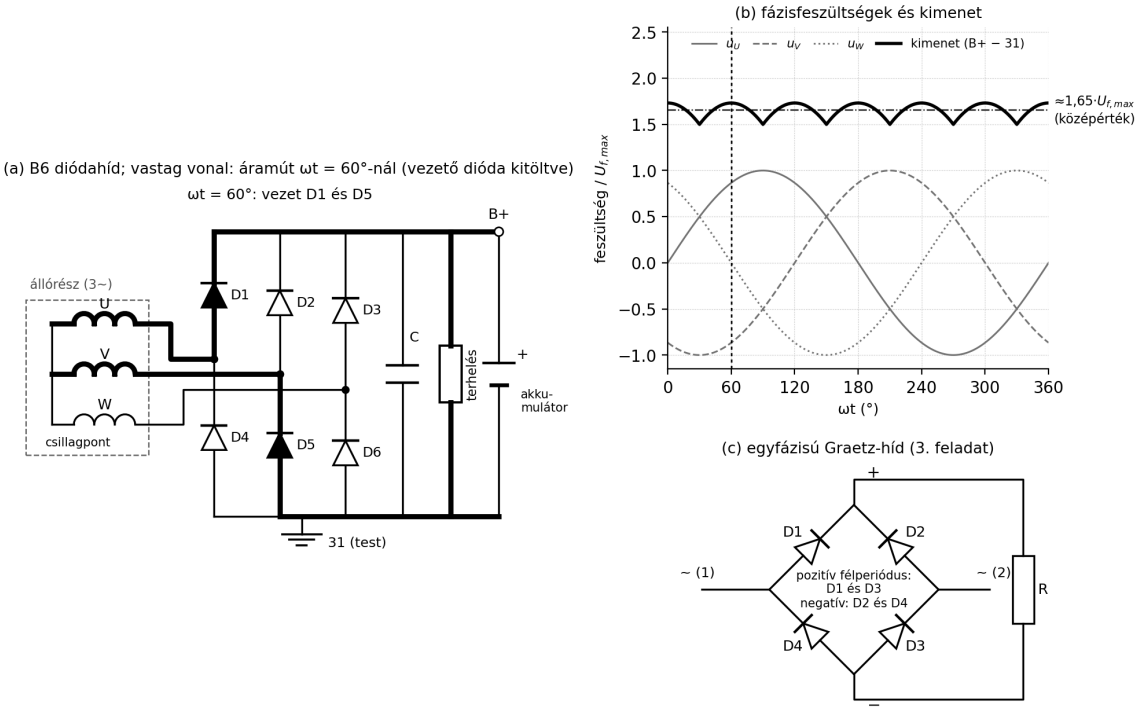
A **kétutas (középleágazásos) egyenirányító** két diódát és egy középleágazásos transzformátort használ. A két félperiódusban felváltva vezet a két dióda, így a terhelésen mindkét félperiódusból származó, azonos polaritású félhullám jelenik meg. A középérték:

$$U_{\text{av}} = \frac{2U_{\text{max}}}{\pi} \approx 0{,}636\, U_{\text{max}}.$$

A **hídkapcsolású egyenirányító (Graetz-híd)** négy diódából áll, és középleágazás nélkül, szimmetrikusan hasznosítja mindkét félperiódust. A pozitív félperiódusban két dióda vezet, a negatívban a másik kettő. A kimeneti középérték ugyanaz, mint a kétutas kapcsolásnál: $U_{\text{av}} = 2U_{\text{max}}/\pi$. A gépjármű-generátorokban **háromfázisú hídkapcsolást** alkalmaznak: hat dióda (két dióda fázisonként), amelyek a három fázis váltakozó feszültségét egyenirányítják. A háromfázisú híd kimeneti feszültségének hullámossága lényegesen kisebb, és a középérték nagyobb:

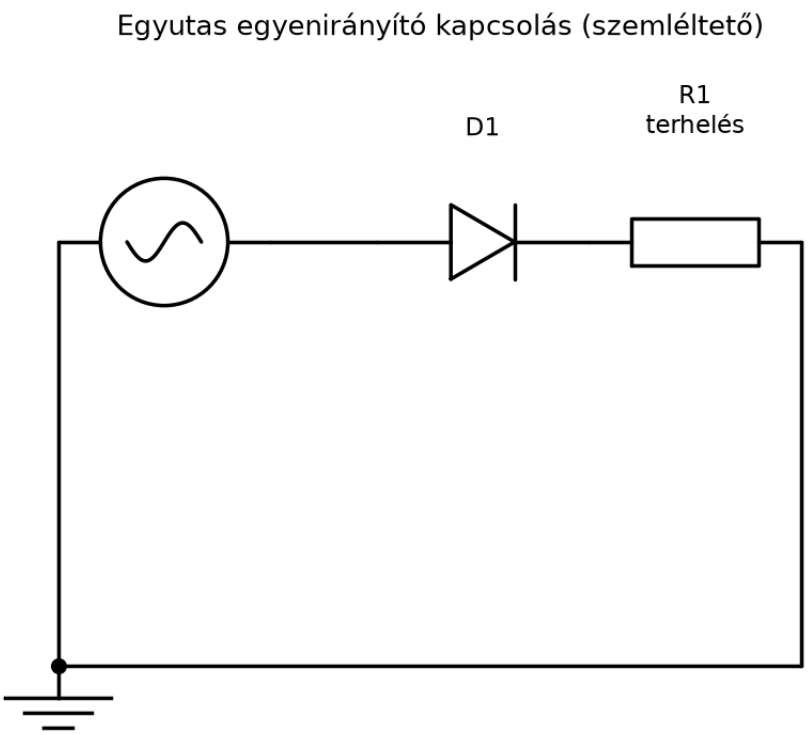
$$U_{\text{av}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\, U_{\text{fázis,max}} \approx 1{,}65\, U_{\text{fázis,max}}.$$

A gyakorlatban a terheléssel párhuzamosan **simító kondenzátort** kapcsolnak, amely a hullámosságot csökkenti, a kimeneti feszültséget pedig a csúcsfeszültség közelébe emeli.



14.2. ábra. A generátor háromfázisú (B6) diódahídja kiemelt áramúttal, a fázisfeszültségek és a kimenet idődiagramja, valamint az egyfázisú Graetz-híd D1–D4 számozással

Az (a) rajzon a csillagba kötött állórész U, V, W kapcsa egy-egy hídágra csatlakozik: a D1–D3 pozitív diódák a B+ kapocsra, a D4–D6 negatív diódák a testre (31) vezetnek. Minden pillanatban annak a fázisnak a pozitív diódája vezet, amelyiknek a feszültsége a legnagyobb, és annak a negatív diódája, amelyiké a legkisebb; $\omega t = 60^\circ$-nál ez a D1 és a D5 (vastag áramút). A (b) diagramon a kimenet a fázisfeszültségek felső és alsó burkolójának különbsége, középértéke kb. $1{,}65\,U_{\text{fázis,max}}$. A (c) rajz a 3. feladat Graetz-hídja: a pozitív félperiódusban a D1 és a D3, a negatívban a D2 és a D4 vezet. Az interaktív változat a hat vezetési szakaszt és egy zárlatos dióda hatását lépésenként mutatja.



14.3. ábra. Egyutas egyenirányító kapcsolás (szemléltető) - A dióda a váltakozó feszültség pozitív félperiódusában vezet, a negatívban lezár; az ellenállás a fogyasztót modellezi.

A rajz egy egyutas egyenirányítót mutat. A váltakozó feszültségű forrás bal oldali kivezetése a testre van kötve, a jobb oldali kivezetése a diódán át a terheléshez csatlakozik. A dióda anódja a [3,4], katódja az [5,4] ponton van, így a pozitív félperiódusban az áram a forrás pozitív pólusából az anódon át a katód felé, majd a terhelésen keresztül a test felé folyik. A negatív félperiódusban a dióda lezár.

14.1.5. Kidolgozott példák

1. példa (egyszerű). Egy műhelytranszformátorról $U_{\text{eff}} = 12\,\text{V}$ váltakozó feszültséget kapcsolunk egy egyutas egyenirányító bemenetére. Ideális diódát feltételezve számítsuk ki a csúcsfeszültséget és a kimeneti átlagfeszültséget, ha nincs simító kondenzátor.

Megoldás. A csúcsfeszültség:

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2}\,U_{\text{eff}} = 1{,}414 \cdot 12\,\text{V} \approx 17{,}0\,\text{V}.$$

Az egyutas középérték:

$$U_{\text{av}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} = \frac{17{,}0\,\text{V}}{3{,}14} \approx 5{,}4\,\text{V}.$$

A kimenet tehát csak kb. 5,4 V átlagú lüktető egyenfeszültség; simító kondenzátorral terhelés nélkül a kimenet a csúcsfeszültségig, 17 V-ig emelkedhet.

2. példa (közepes). Egy érzékelő-áramkör 5,6 V stabil feszültséget igényel. A bemeneti feszültség a jármű hálózatából jön, ahol U_{be} névlegesen 12 V, de 11–15 V között ingadozhat. A terhelő áram legfeljebb $I_{\mathrm{L,max}} = 20\,\mathrm{mA}$. Válasszunk Zener-diódát $U_{\mathrm{Z}} = 5{,}6\,\mathrm{V}$ letörési feszültséggel, és határozzuk meg az előtétellenállást úgy, hogy a Zener-dióda minimális üzemi árama $I_{\mathrm{Z,min}} = 5\,\mathrm{mA}$ legyen.

Megoldás. A legrosszabb eset a minimális bemeneti feszültség, ekkor kell a Zenernek még megbízhatóan vezetnie.

$$R_{\mathrm{S}} = \frac{U_{\mathrm{be,min}} - U_{\mathrm{Z}}}{I_{\mathrm{Z,min}} + I_{\mathrm{L,max}}} = \frac{11\,\mathrm{V} - 5{,}6\,\mathrm{V}}{5\,\mathrm{mA} + 20\,\mathrm{mA}} = \frac{5{,}4\,\mathrm{V}}{25\,\mathrm{mA}} = 216\,\Omega.$$

Válasszunk szabványos $220\,\Omega$ ellenállást. Ellenőrizzük maximális bemenetnél ($U_{\mathrm{be,max}} = 15\,\mathrm{V}$): az összáram

$$I = \frac{15\,\mathrm{V} - 5{,}6\,\mathrm{V}}{220\,\Omega} \approx 42{,}7\,\mathrm{mA}.$$

A Zener árama: $I_{\mathrm{Z}} = I - I_{\mathrm{L}} = 42{,}7\,\mathrm{mA} - 20\,\mathrm{mA} = 22{,}7\,\mathrm{mA}$. Ha a Zener-dióda megengedett maximális árama például 50 mA (ellenőrizendő: gyártói adat), akkor a kapcsolás teljes terhelésnél biztonságos.

Legrosszabb eset a Zenerre: a legnagyobb bemeneti feszültségnél ($U_{\mathrm{be,max}} = 15\,\mathrm{V}$) és terhelés nélkül ($I_{\mathrm{L}} = 0$) a teljes áram a Zenerre jut: $I_{\mathrm{Z}} = 42{,}7\,\mathrm{mA} < 50\,\mathrm{mA}$, a disszipáció $P_{\mathrm{Z}} = 5{,}6\,\mathrm{V} \cdot 42{,}7\,\mathrm{mA} \approx 0{,}24\,\mathrm{W}$. Az előtétellenállás teljesítménye $P_{\mathrm{R}} = (15 - 5{,}6)\,\mathrm{V} \cdot 42{,}7\,\mathrm{mA} \approx 0{,}40\,\mathrm{W}$, ezért legalább 0,5 W-os, jobb, ha 1 W-os ellenállást választunk. Ellenőrizendő: a Zener-dióda adatlap szerinti P_{tot} és $I_{\mathrm{Z,max}}$ értéke.

3. példa (híd). Ugyanarra a 12 V effektív váltakozófeszültségre hídkapcsolású egyenirányítót kapcsolunk. Mekkora a kimeneti átlagfeszültség?

$$U_{\mathrm{max}} = 17{,}0\,\mathrm{V}, \qquad U_{\mathrm{av}} = \frac{2 \cdot 17{,}0\,\mathrm{V}}{\pi} \approx 10{,}8\,\mathrm{V}.$$

A hídkapcsolás tehát kétszer akkora átlagfeszültséget ad, mint az egyutas.

14.1.6. Előírás

Előírás. A járműgenerátor diódahídjának ellenőrzésekor a gyártói javítási utasítás szerint kell mérni: a dióda nyitóirányú feszültségesése és a záróirányú szivárgási áram határértékei típusonként eltérnek. A mérés előtt ki kell kapcsolni a gyújtást, és a gyártói előírás szerint (adatmentés; ellenőrizendő) le kell kötni az akkumulátor negatív (test) saruját – először a testet, felkötéskor fordított sorrendben –, mert a generátor B+ kivezetése gyújtás nélkül is feszültség alatt van, és a leszerelésnél a kulcs a testtel rövidzárat okozhat. Csak ezután szabad a generátor kivezetéseit leválasztani. Az itt megadott értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

14.1.7. Minőségellenőrzés

A diódát digitális multiméter **dióda üzemmódjában** a legegyszerűbb ellenőrizni. A műszer ilyenkor kis nyitóirányú áramot küld a mérendő alkatrészen, és a feszültségesést mutatja. A mérés lépései:

1. Áramtalanítsd az áramkört, kapcsold ki a gyújtást, és kösd le az akkumulátor negatív (test) pólusát (előtte a gyártói előírás szerint adatmentés; ellenőrizendő), mert a generátor B+ kivezetése gyújtás nélkül is feszültség alatt van.
2. Válaszd a multiméter dióda üzemmódját (a rajzjele: egy háromszög és egy merőleges vonal).
3. Mérj **nyitóirányban** (a piros mérőzsinór az anódon, a fekete a katódon): szilíciumdiódánál jellemzően 0,5–0,8 V (például 0,52 V) feszültségesést kell kapnod. Sok műszer sípol, ha a dióda vezet.
4. Cseréld fel a mérőzsinórt (**záróirányban**): a műszernek **OL** (végtelen, azaz szakadás) értéket kell mutatnia.
5. Ha a dióda mindkét irányban vezet (mindkét irányban alacsony feszültségesés), akkor rövidzáras. Ha egyik irányban sem vezet (mindkét irányban OL), akkor szakadt.

Zener-dióda esetén a záróirányú letörési feszültség méréséhez korlátozott áramú áramkört (például egy előtétellenállással) kell használni; a multiméter dióda üzemmódja általában nem elegendő a magasabb letörési feszültség kimérésére.

14.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Tünet. A műhelybe behozott autón a töltés visszajelző halványan világít, és a fedélzeti hálózat feszültsége járó motornál csak 12,3 V (egészséges rendszernél 13,5–14,5 V, ellenőrizendő: típusfüggő). Az akkumulátor indításkor megfelelő, de utazás közben a fogyasztók gyengülnek.

Vizsgálat. A szerelő kikapcsolja a gyújtást, a gyártói előírás szerint (adatmentés; ellenőrizendő) lekötötte az akkumulátor negatív (test) saruját, és csak ezután szereli le a generátor B+ kivezetését és csatlakozóját, és dióda üzemmódban megméri a diódahíd egyes diódáit. Az egyik dióda nyitóirányban 0,52 V feszültségesést mutat – ez normális –, de záróirányban is 0,35 V értéket ad, és a multiméter sípol. A dióda tehát záróirányban is vezet, azaz rövidzáras.

Ok. A rövidzáras dióda miatt a híd már nem egyenirányít helyesen: az egyik fázis árama visszafolyik a generátor tekercsébe, a kimeneti feszültség hullámossága megnő, a töltési teljesítmény csökken. A hibás dióda melegedhet, tovább károsíthatja a diódahidat.

Javítás. A diódahíd cseréje a generátoron, a gyártói javítási utasítás szerint. Ha a generátor hőterhelése miatt más alkatrész is károsodott (pl. szénkefék, feszültségszabályzó), azokat is ellenőrzik. A szerelés után feszültségmérés járó motornál: a kimenetnek 14 V körül kell lennie (ellenőrizendő: típusfüggő), és a töltés visszajelzőnek ki kell aludnia. A hibakód-tárból törölhető a múltbeli alacsony feszültségre utaló bejegyzés.

Tanulság. Egy rossz dióda tünete könnyen összetéveszthető az akkumulátor hibájával vagy a szénkefék kopásával. A célzott dióda mérés (nyitó- és záróirány) egyértelműen elkülöníti a hibát, és megakadályozza a felesleges alkatrészcserét.

14.1.9. Tipikus hibák

1. **A dióda polaritás felcserélése szereléskor.** A dióda katódját általában egy csík jelöli, de a műhelyi kapkodásban könnyű fordítva bekötni. A helyes gyakorlat: mindig ellenőrizd a rajzot, és a katódot a kimenet felé, az anódot a bemenet felé irányítsd.
2. **A záróirányú mérés hibás értelmezése.** A kezdő szerelő gyakran úgy gondolja, hogy a záróirányú OL érték hibát jelent, pedig ez a jó dióda jele. A hibás dióda záróirányban is mutat valamekkora feszültségesést, vagy mindkét irányban OL-t ad.

3. **Zener-dióda előtétellenállás nélkül.** Ha a Zener-diódát közvetlenül a tápfeszültségre kötjük, a záróirányú áram korlátozás nélkül megnő, és a dióda pillanatok alatt tönkremegy. Mindig méretezni kell az előtétellenállást.
4. **A simító kondenzátor elhagyása vagy rossz értéke.** Az egyenirányított feszültség hullámossága zavarhatja az elektronikus áramköröket. A gyakorlatban a simító kondenzátor kapacitását a terhelő áram és a megengedett feszültség-hullámosság szerint választják; ha túl kicsi, a hálózati feszültség ingadozása miatt hibás működés léphet fel.

14.1.10. Önellenőrzés

Válaszolj röviden, majd ellenőrizd a leckében található magyarázatokkal.

1. Igaz-e, hogy a szilíciumdióda nyitóirányú feszültségesése jellemzően 0,7 V körül van?
2. Igaz-e, hogy a Zener-dióda nyitóirányban üzemelve stabilizál feszültséget?
3. Igaz-e, hogy az egyutas egyenirányító kimeneti feszültségének középértéke kisebb, mint a hídkapcsolásé?
4. Miért kell a Zener-dióda elé soros előtétellenállást kötni?
5. Egy dióda mérésekor a multiméter dióda üzemmódban nyitóirányban 0,00 V-ot, záróirányban 0,00 V-ot mutat. Mi a hiba?

14.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Magyarázd el a pn-átmenet nyitó- és záróirányú viselkedését a kiürített réteg változásával.

2. feladat (A). Egy egyutas egyenirányító bemeneti váltakozófeszültségének effektív értéke 24 V. Számítsd ki a csúcsfeszültséget és a kimeneti átlagfeszültséget ideális dióda esetén.

3. feladat (B). Rajzold le szövegesen a hídkapcsolású egyenirányító áramútját a pozitív és a negatív félperiódusban. Melyik diódák vezetnek az egyes esetekben?

4. feladat (B). Egy Zener-stabilizátorban $U_{\mathrm{be}} = 13{,}8\,\mathrm{V}$, $U_{\mathrm{Z}} = 5{,}1\,\mathrm{V}$, az előtétellenállás $R_{\mathrm{S}} = 330\,\Omega$, a terhelő áram $I_{\mathrm{L}} = 10\,\mathrm{mA}$. Mekkora a Zener-dióda árama?

5. feladat (C). Hasonlítsd össze az egyutas, a kétutas középleágazásos és a hídkapcsolású egyenirányítót a diódák száma, a kimeneti feszültség középértéke és a hullámosság szempontjából. Miért használnak a gépjármű-generátorok háromfázisú hídkapcsolást?

6. feladat (D). Generátor-diagnosztika. A multiméter dióda üzemmódjában az egyik diódán nyitóirányban 0,48 V, záróirányban OL látható. A másik diódán nyitóirányban 0,02 V, záróirányban 0,02 V. Melyik dióda hibás, és milyen következménye lehet a töltésre?

14.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A szilíciumdióda nyitóirányú feszültségesése az áramtól függően 0,6–0,8 V, gyakran 0,7 V-ként becsüljük.
2. Hamis. A Zener-dióda **záróirányú** letörési tartományában működik, ott tartja a feszültséget stabilan.
3. Igaz. Egyutas: $U_{\mathrm{av}} = U_{\mathrm{max}}/\pi$; híd: $U_{\mathrm{av}} = 2U_{\mathrm{max}}/\pi$, tehát a híd középértéke kétszerese.

4. Az előtétellenállás korlátozza a záróirányú áramot. Anélkül a Zener-dióda túláram miatt tönkremegy.
5. A dióda rövidzáras (mindkét irányban vezet), mert a feszültségesés mindkét irányban 0 V körüli.

Feladatok – megoldások

1. feladat. Nyitóirányban (anód pozitív, katód negatív) a külső feszültség csökkenti a kiürített réteg szélességét, így a töltéshordozók át tudnak lépni a határrétegen, és a dióda kis feszültségeséssel vezet. Záróirányban (anód negatív, katód pozitív) a külső feszültség növeli a kiürített réteget, a határréteg lezár, és csak elhanyagolható záróirányú áram folyik.

2. feladat. $U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 24\,\mathrm{V} = 33{,}9\,\mathrm{V}$. Az egyutas középérték: $U_{\mathrm{av}} = 33{,}9\,\mathrm{V}/3{,}14 \approx 10{,}8\,\mathrm{V}$.

3. feladat. A hídkapcsolás négy diódát használ két-két párban. Pozitív félperiódusban az áram a bemenet pozitív csúcsáról a D1 diódán át a terhelésre, majd a terhelésből a D3 diódán át vissza a bemenet negatív csúcsa felé folyik. Negatív félperiódusban a bemeneti polaritás megfordul; ekkor az áram a D2 és D4 diódán át ugyanolyan irányban halad a terhelésen. Mindkét félperiódusban azonos polaritású feszültség jelenik meg a kimeneten.

4. feladat. Az összáram:

$$I = \frac{U_{\mathrm{be}} - U_{\mathrm{Z}}}{R_{\mathrm{S}}} = \frac{13{,}8\,\mathrm{V} - 5{,}1\,\mathrm{V}}{330\,\Omega} = \frac{8{,}7\,\mathrm{V}}{330\,\Omega} \approx 26{,}4\,\mathrm{mA}.$$

A Zener árama: $I_{\mathrm{Z}} = I - I_{\mathrm{L}} = 26{,}4\,\mathrm{mA} - 10\,\mathrm{mA} = 16{,}4\,\mathrm{mA}$.

5. feladat. Egyutas: 1 dióda, $U_{\mathrm{av}} = 0{,}318 U_{\max}$, nagy hullámosság. Kétutas középleágazásos: 2 dióda, $U_{\mathrm{av}} = 0{,}636 U_{\max}$, kisebb hullámosság. Hídkapcsolás: 4 dióda, $U_{\mathrm{av}} = 0{,}636 U_{\max}$, ugyanolyan hullámosság, de középleágazás nélkül. A gépjármű-generátorok három fázisú hídkapcsolást használnak, mert a három fázis egyenirányítása hat diódával kisebb hullámosságú és nagyobb kimeneti feszültséget ad, ami a járműhálózat stabilitása szempontjából fontos.

6. feladat. Az első dióda jó: nyitóirányban 0,48 V (szilíciumra jellemző), záróirányban OL (szakadás). A második dióda rövidzáras, mert mindkét irányban nagyon alacsony, közel azonos feszültségesést mutat. A rövidzáras dióda miatt a híd egyik ága zárlatos lesz a generátor tekercsében, a töltési teljesítmény csökken, a kimeneti feszültség hullámos lesz, és a generátor túlmelegedhet.

14.1.13. Rövid összefoglaló

A félvezető dióda a pn-átmenet tulajdonságain alapul: nyitóirányban kis feszültségeséssel vezet, záróirányban gyakorlatilag lezár. A szennyezett vezetés (n- és p-típus) hozza létre a kiürített réteget, amely a dióda viselkedését szabályozza. A Zener-dióda záróirányú letörését használjuk feszültségstabilizálásra, mindig soros előtétellenállással. Az egyenirányító kapcsolások (egyutas, kétutas, híd, háromfázisú híd) a váltakozó feszültséget lüktető egyenfeszültséggé alakítják; a hídkapcsolás mindkét félperiódust hasznosítja, a háromfázisú híd pedig kisebb hullámosságot ad. **Továbbvitt eredmény.** A dióda és egyenirányítás alapelveit használjuk a tranzisztorok és tirisztorok tárgyalásánál (Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika), valamint a generátor diódahídjának vizsgálatánál (A generátor).

14.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A szakmai tartalom szabványos villamossági alapismereteken, a járműgenerátorok szerkezeti leírásain és általános félvezető-elektronikai szakkönyveken alapul. A kapcsolási rajzok a szabványos rajzjelek (MSZ EN 60617 / IEC 60617) szerint készültek. A konkrét határértékek, mint a Zener-dióda maximális árama, a szilíciumdióda nyitófeszültsége, a generátor töltőfeszültségének tartománya és a tiltott sáv szélessége, tanulási példák; a gyártói javítási adatokat és a használt alkatrészek adatlapjait mindig ellenőrizni kell. Nincs jogszabályi vagy ECE-előírásra vonatkozó állítás ebben az alfejezetben.

14.2. Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika

14.2.1. Motiváció

Egy modern autóban a hűtőventilátor nemcsak bekapcsol vagy kikapcsol, hanem fokozat nélkül felpörög, ha a hűtővíz hőmérséklete emelkedik. A belső világítás halványul, a LED-es nappali menetfény időnként tompítottan világít, a gyújtótekercs nagy áramát pedig egyetlen rozsdás érintkező sem kapcsolgatja. E mögött szinte mindig valamelyik félvezető kapcsolóelem dolgozik: tranzisztor, MOSFET, IGBT, ritkábban tirisztor. Ha hibát keresünk – például egy ventilátor nem forog, egy izzó nem kap feszültséget, vagy egy LED-lámpa halvány –, nem elég a vezetéket és a biztosítékot nézni: a kapcsoló félvezetőt is mérni kell. Ebben az alfejezetben a(z) Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók alfejezetben megismert p-n átmenetekből felépülő, három- és négykivezetésű kapcsolóelemeket, azok járműipari kapcsolóüzemét, valamint a fényérzékelő és fénykibocsátó elemeket tanuljuk meg.

14.2.2. Szemléletes kép: a tranzisztor mint vezérelt vízcsap

A bipoláris tranzisztort egy kézzel állítható vízcsaphoz hasonlíthatjuk: a nagy kollektoráramot kis bázisárammal nyitjuk. A MOSFET inkább egy elektromosan szigetelt tolózár: a kapura adott feszültség hozza létre a vezető csatornát, és a vezérlő gyakorlatilag nem vesz fel teljesítményt. A tirisztor pedig reteszelő kapcsoló: egy kis gyújtóimpulzus bekapcsolja, de csak akkor zár le, ha a főáram megszakad. A fényelektromos elemek a fény és az elektromos jel között fordítanak, ezért a járműben érzékelőként és leválasztóként használjuk őket.

14.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **bipoláris tranzisztor** (bipolar junction transistor, BJT) két p-n átmenetből felépülő, három kivezetésű félvezető eszköz. Az NPN tranzisztor kivezetései: **bázis** (B), **kollektor** (C) és **emitter** (E). A bázisba folyó kis áram a kollektor és emitter közötti nagy áramot vezérli.

Összefüggés. Normál aktív üzemben, közelítőleg:

$$I_C \approx \beta\, I_B,$$

ahol β az egyenáramú áramerősítési tényező (jellemzően néhány tíztől néhány százig; gyártói adat, erős szórással – ellenőrizendő).

Definíció. A bipoláris tranzisztor **kapcsolóüzemben** két határozott állapotban dolgozik:

- **lezárás:** a bázisáram gyakorlatilag nulla, ezért $I_C \approx 0$, a kollektor–emitter feszültség majdnem a teljes tápfeszültség;
- **telítés:** a bázisáram akkora, hogy a tranzisztor már nem tud erősítőként dolgozni; a kollektor–emitter feszültség $U_{CE(\text{sat})}$ nagyon kicsi, NPN-tranzisztornál jellemzően 0,1–0,3 V (tanulási példa, katalógusadat – ellenőrizendő).

A kapcsolóüzem azért jó, mert a két szélső állapotban a tranzisztoron disszipált teljesítmény kicsi: lezárva nincs áram, telítésben kicsi a feszültségesés.

Definíció. A **Darlington-kapcsolás** két bipoláris tranzisztort fűz össze úgy, hogy az első emittere a második bázisát hajtja. Az eredő áramerősítés közelítőleg a két tényező szorzata:

$$\beta_{\text{összes}} \approx \beta_1 \, \beta_2.$$

Hátránya a nagyobb telítési feszültség, jellemzően 1,2–1,4 V körül (tanulási példa, ellenőrizendő), ezért itt nagyobb a disszipáció.

Definíció. A **PWM** (pulse-width modulation, impulzusszélesség-moduláció) olyan kapcsolóüzemi vezérlés, ahol a félvezetőt állandó frekvenciával kapcsolgatjuk, és a bekapcsolt idő arányát változtatjuk. A kitöltési tényező:

$$D = \frac{t_{\text{be}}}{T},$$

ahol t_{be} a bekapcsolt idő, T a periódusidő. A fogyasztóra jutó átlagos feszültség ideális négyszögjel esetén:

$$U_{\text{átlag}} = D \, U_{\text{táp}}.$$

Például $D = 0{,}4$-nél 12 V-os hálózatban az átlagfeszültség 4,8 V. A motor fordulatszáma nagyjából ezt az átlagot követi, mert a motortekercs induktivitása simítja az áramot. Fűtőszál, izzó vagy ellenállás esetén azonban a hőfejlődéshez az **effektív** feszültség tartozik: $U_{\text{eff}} = U_{\text{táp}}\sqrt{D}$, ezért teljesítményszámításnál ezt kell használni.

Definíció. A **MOSFET** (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) unipoláris, feszültség vezérelt tranzisztor. N-csatornás MOSFET kivezetései: **gate** (G), **drain** (D), **source** (S). A gate-tet vékony oxidréteg szigeteli, ezért a vezérlő bemenet egyenáramú ellenállása rendkívül nagy. A gate–source feszültség egy $U_{GS(\text{th})}$ küszöbérték felett nyitja a drain–source csatornát; a csatorna bekapcsolt ellenállása $R_{DS(\text{on})}$. Ez a modern járművekben gyakran néhány milliohm és néhány tíz milliohm közötti (tanulási példa, katalógusadat – ellenőrizendő).

Definíció. Az **IGBT** (insulated-gate bipolar transistor) a MOSFET szigetelt kapuját kombinálja a bipoláris tranzisztor kis vezetési feszültségesésével. Emiatt nagy áramú, kapcsolóüzemi alkalmazásokban használják: gyújtásvégfokokban, elektromos és hibrid járművek invertereiben, DC/DC átalakítókban.

Definíció. A **tirisztor** (thyristor) négyrétegű p-n-p-n félvezető eszköz, kivezetései: anód (A), katód (K) és gyújtóelektróda (G). Ha az anód a katódhoz képest pozitív, egy kis gyújtóimpulzus begyújtja, és a tirisztor mindaddig vezet, amíg az anódáram a tartóáram alá nem csökken. A gate a bekapcsolás után elveszíti a vezérlő szerepét. A **triak** kétirányú tirisztorként viselkedik, ezért váltakozó áramú körben is használható.

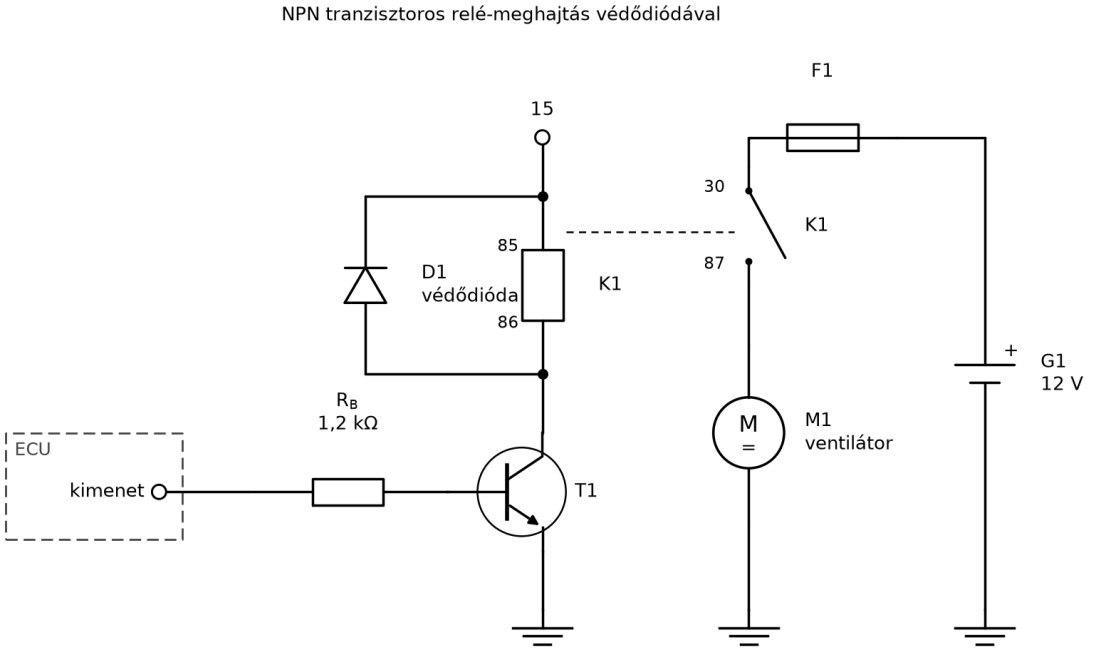
Definíció. A **fotoellenállás** (LDR, light-dependent resistor) olyan félvezető ellenállás, amelynek ellenállása a rá eső fény erősségének növekedésével csökken. A **fotodióda** p-n átmenetéből

fény hatására záróirányú áram folyik; gyorsabb és jobban reprodukálható, mint a fotoellenállás. A **LED** (light-emitting diode, fénykibocsátó dióda) nyitóirányú áram hatására fényt bocsát ki. Az **optocsatoló** egy tokozásban lévő LED-ből és egy fényérzékelő félvezetőből (fotodióda, fototranzisztor) áll, és galvanikus leválasztást ad két áramkör között.

14.2.4. Felépítés és működés kapcsolóüzemű járműrendszerekben

14.2.4.1. Bipoláris tranzisztor mint reléhajtó

A műszerfal alatti relétárban sok esetben egy motorvezérlő (ECU) kis teljesítményű kimenete kapcsolja a relé tekercsét. A régi autókban ezt gyakran mechanikus kapcsoló tette, ma inkább tranzisztor. Az alábbi vázlat NPN tranzisztoros relé-meghajtást mutat.



14.4. ábra. NPN tranzisztoros relé-meghajtás védődiódával - Gyújtás ráadott állapot (15 feszültség alatt), a tranzisztor lezárt, a relé alapállapotban. A D1 védődióda anódja a 86-os (kollektor), katódja a 85-ös (+15) kapcson van, így a lekapcsolási feszültségcsúcsot zárja. A K1 munkaérintkezője (30–87) a ventilátormotort kapcsolja. A megadott értékek tanulási példák.

A 15-ös kapocs a gyújtáskapcsolás utáni tápfeszültséget adja a relé 85-ös kapcsára. Az ECU kimenete az R_B bázisellenálláson át vezérli a tranzisztort. Amikor az ECU bekapcsol, a bázisáram megnyitja a kollektor–emitter áramkört: a relétekercs 86-os kapcsa a T1-en keresztül testre zár, a tekercs meghúz, a relé a 30-as érintkezőjét 87-re kapcsolja. Amikor az ECU lezár, a tekercs árama hirtelen megszakadna; a tekercs induktivitása miatt azonnal nagy önindukciós feszültséglökés keletkezik:

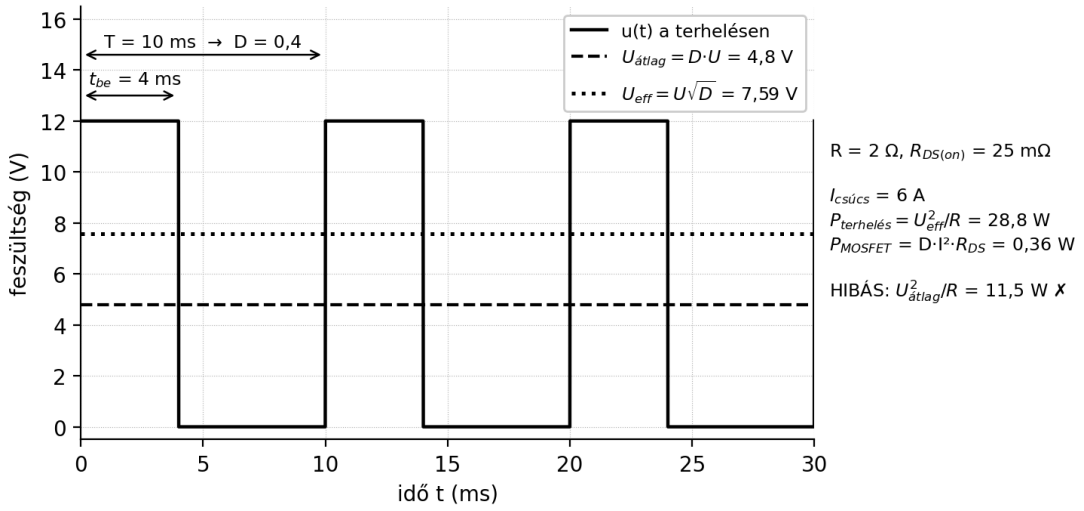
$$U_L = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Ez a feszültségcsúcs átütheti a tranzisztort. A D1 védődióda anódja a tranzisztoros oldalon, katódja a tápfeszültséges oldalon van, így a lökést úgy zárja rövidre, hogy az áram a tekercsben még egy rövid ideig körben folyhat.

14.2.4.2. MOSFET és IGBT teljesítménykapcsolóként

A bipoláris tranzisztorral szemben a MOSFET gate-jét feszültséggel vezéreljük. Ha az ECU kimenete U_{GS}-et a küszöbfeszültség fölé emeli, a drain–source ellenállás $R_{DS(\mathrm{on})}$-ra csökken. A vezérléshez alig kell áram, csak a gate kapacitását kell feltölteni; ezért a MOSFET kiváló nagyfrekvenciás kapcsoló.

A modern hűtőventilátorokban az ECU nem hagyományos relét, hanem PWM-mel működtetett MOSFET-et hajt. A jel hasonlít az alábbi ábrához.



14.5. ábra. PWM-jel 40%-os kitöltéssel 12 V-on: átlag- és effektív feszültség (a 2. példa adataival, ideális négyszögjel)

Az ábrán a periódusidő 10 ms, a bekapcsolt idő 4 ms, tehát $D = 0{,}4$. Az átlagfeszültség 4,8 V. Az effektív feszültség ennél nagyobb, $12\sqrt{0{,}4} \approx 7{,}59\,\mathrm{V}$ (pontvonal); ohmos terhelés (fűtőszál, izzó) teljesítményét ez határozza meg, a motor fordulatszámát viszont az átlag. Az interaktív kalkulátorban a kitöltési tényező, a tápfeszültség, a terhelés és az $R_{DS(\mathrm{on})}$ állítható; a 2. példa és a 4. feladat adatai betölthetők. A valóságban a jel felfutása és lefutása nem végtelenül meredek, mert a vezeték induktivitása, a gate kapacitása és a kapcsolási idők kerekítik.

Példa. Egy jármű fűtőventilátor-motorja 12 V-ról PWM-vezérléssel kap táplálást. A motor induktivitása miatt a fordulatszám az átlagfeszültséget követi, nem az RMS-t. A PWM frekvencia jellemzően 100 Hz és néhány kHz közötti (gyártói rendszerfüggő, ellenőrizendő). A félvezető kapcsoló szerepe az, hogy a rajta disszipált teljesítmény kicsi maradjon: bekapcsolt állapotban $R_{DS(\mathrm{on})}$ kicsi, lezárva pedig közel nulla az áram.

Szabály. A MOSFET gate-je szigetelt, ezért **rendkívül érzékeny az elektrosztatikus kisülésre (ESD)**. Tároláskor, beültetéskor és méréskor be kell tartani a gyártói ESD-előírásokat; a gate-et ne érintsük meg védelem nélkül.

14.2.4.3. Tirisztor és triak

A tirisztor kevésbé alkalmas az egyenáramú PWM-kapcsolásra, mert a bekapcsolás után a gate már nem oltja le: az áramnak külsőleg meg kell szakadnia. Váltakozó áramú körben azonban az áram minden félperiódusban nullán megy át, ezért például fényerő-szabályozóként működik. A járművekben történeti szerepe van a **kondenzátoros (HKZ) gyújtásban**: a gyújtókondenzátort tirisztor süti ki a gyújtótekercsbe. Ezt a rendszert a(z) Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig alfejezetben vizsgáljuk részletesen.

14.2.4.4. Optoelektronika a járműben

- **Fényérzékelő (automatikus világítás).** A szélvédő mögé szerelt fotodióda vagy fotoellenállás a környezeti fény erősségét méri; a vezérlő a jel alapján kapcsolja a tompított fényszórót. A pontos küszöbértékeket és a beállítási eljárást a gyártó adja (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Esőérzékelő.** A szélvédő belső oldalán egy infravörös LED fényét a tiszta üveg teljes visszaverődéssel egy fotodiódára veri vissza. A vízcseppek csökkentik a visszavert fényt, a vezérlő ebből állítja az ablaktörlő működését. Szélvédőcsere után az érzékelő tapadását, tisztaságát és a gyártói kalibrálást ellenőrizni kell (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **LED-lámpa.** A LED árama előtétellenállással vagy áramgenerátoros meghajtóval korlátozandó: $R = (U - U_F)/I = (12 - 2{,}2)\,\mathrm{V}/20\,\mathrm{mA} = 490\,\Omega$, szabványos $470\,\Omega$ ellenállással az áram kb. 20,9 mA (tanulási példaadatok; ellenőrizendő: a LED adatlapja). A járművilágításban a LED-hez rendszerint áramgenerátoros meghajtó tartozik, mert a fedélzeti feszültség ingadozik.
- **Optocsatoló.** A LED fénye a fototranzisztorra jut, a két oldal között nincs villamos összeköttetés, ezért a nagyfeszültségű (HV) és a 12 V-os kört galvanikusan elválasztja (leválasztott jelátvitel). Ez nem helyettesíti a feszültségmentesítést: HV-rendszeren a munka előtt a gyártói feszültségmentesítési eljárást és a feszültségmentesség ellenőrzését akkor is el kell végezni.

14.2.5. Kidolgozott példák

14.2.5.1. 1. példa: bázisellenállás méretezése relés kapcsolóhoz

Adott: relétekercs ellenállása $R_{\text{tekercs}} = 80\,\Omega$, tápfeszültség $U_{\text{táp}} = 12\,\mathrm{V}$, NPN tranzisztor minimális áramerősítése $\beta_{\min} = 80$, telítési bázis–emitter feszültség $U_{BE(\text{sat})} = 0{,}8\,\mathrm{V}$, vezérlőjel $U_{\text{vez}} = 5\,\mathrm{V}$. A telítés biztosításához kétszeres túlvezérlést választunk ($k = 2$).

Keresett: a szükséges bázisellenállás R_B.

Számítás. A relé tekercs árama telítő tranzisztorral:

$$I_C = \frac{U_{\text{táp}}}{R_{\text{tekercs}}} = \frac{12\,\mathrm{V}}{80\,\Omega} = 0{,}15\,\mathrm{A} = 150\,\mathrm{mA}.$$

A minimálisan szükséges bázisáram:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{\min}} = \frac{150\,\mathrm{mA}}{80} = 1{,}875\,\mathrm{mA}.$$

Kétszeres túlvezérléssel:

$$I_B = k\,\frac{I_C}{\beta_{\min}} = 2 \cdot 1{,}875\,\mathrm{mA} = 3{,}75\,\mathrm{mA}.$$

A bázisellenállásra jutó feszültség a vezérlőjel és a bázis–emitter feszültség különbsége:

$$R_B = \frac{U_{\mathrm{vez}} - U_{BE(\mathrm{sat})}}{I_B} = \frac{5\,\mathrm{V} - 0{,}8\,\mathrm{V}}{0{,}00375\,\mathrm{A}} = \frac{4{,}2\,\mathrm{V}}{0{,}00375\,\mathrm{A}} = 1120\,\Omega.$$

Az E12 sorból válasszunk 1,2 kΩ-ot (1200 Ω). Ezzel a bázisáram:

$$I_B = \frac{4{,}2\,\mathrm{V}}{1200\,\Omega} = 3{,}5\,\mathrm{mA},$$

ami még mindig nagyobb a minimális 1,875 mA-nél, tehát a tranzisztor telítésbe kerül. A telítési veszteség közelítőleg:

$$P_{\mathrm{veszt}} \approx U_{CE(\mathrm{sat})}\, I_C = 0{,}2\,\mathrm{V} \cdot 0{,}15\,\mathrm{A} = 30\,\mathrm{mW}.$$

Ez kicsi, ezért a tranzisztor lényegében hűvös marad. ∎

14.2.5.2. 2. példa: PWM-vezérelt MOSFET izzó/fűtőszál

Adott: tápfeszültség $U_{\mathrm{táp}} = 12\,\mathrm{V}$, PWM kitöltési tényező $D = 0{,}4$, a terhelés tiszta ohmos jellegű $R = 2\,\Omega$, a MOSFET csatorna-ellenállása $R_{DS(\mathrm{on})} = 25\,\mathrm{m\Omega}$.

Keresett: átlagfeszültség, effektív feszültség, átlagos teljesítmény a terhelésen, bekapcsolt állapot csúcsárama, és a MOSFET átlagos vesztesége.

Számítás. Az átlagfeszültség:

$$U_{\mathrm{átlag}} = D\,U_{\mathrm{táp}} = 0{,}4 \cdot 12\,\mathrm{V} = 4{,}8\,\mathrm{V}.$$

Az effektív feszültség:

$$U_{\mathrm{eff}} = U_{\mathrm{táp}}\sqrt{D} = 12\,\mathrm{V} \cdot \sqrt{0{,}4} = 12 \cdot 0{,}6325 = 7{,}59\,\mathrm{V}.$$

A terhelés átlagos teljesítménye:

$$P_{\mathrm{átlag}} = \frac{U_{\mathrm{eff}}^2}{R} = \frac{(7{,}59\,\mathrm{V})^2}{2\,\Omega} = \frac{57{,}6}{2} = 28{,}8\,\mathrm{W}.$$

A csúcsáram a bekapcsolt pillanatokban:

$$I_{\mathrm{csúcs}} = \frac{U_{\mathrm{táp}}}{R} = \frac{12\,\mathrm{V}}{2\,\Omega} = 6\,\mathrm{A}.$$

A MOSFET átlagos vezetési vesztesége, mivel az csak a bekapcsolt időszakban disszipál:

$$P_{\mathrm{DS(átlag)}} = D\,I_{\mathrm{csúcs}}^2\,R_{DS(\mathrm{on})} = 0{,}4 \cdot (6\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}025\,\Omega = 0{,}4 \cdot 36 \cdot 0{,}025 = 0{,}36\,\mathrm{W}.$$

A kapcsolási veszteségek ezt még megnövelik, ezért nagyobb áramnál hűtőbordát vagy hűtőfelületet alakítanak ki. ∎

Hibás példa. Gyakori hiba, hogy valaki az átlagfeszültséggel számolja az ohmos terhelés teljesítményét: $P_{\text{hányzó}} = U_{\text{átlag}}^2/R = 4{,}8^2/2 = 11{,}52\,\text{W}$. Ez **téves**, mert a teljesítmény a pillanatnyi feszültség négyzetének átlaga, nem az átlagfeszültség négyzete. A helyes eredmény ebben a példában 28,8 W.

14.2.6. Minőségellenőrzés

A félvezető kapcsolóelemeket leggyakrabban multiméter **diódateszt** üzemmódjában, kikapcsolt áramkörben, a csatlakozókat leválasztva vizsgáljuk. A mért értékek katalógusfüggők, ezért minden mérés előtt nézzük meg a gyártói adatlapot.

Vizsgált elem	Mérés multiméterrel	Jó esetben várható eredmény	Tipikus hiba
NPN tranzisztor	B–E és B–C nyitóirányban diódateszt	körülbelül 0,6–0,7 V	mindkét irányban OL vagy 0 V
NPN tranzisztor	C–E mindkét irányban	OL mindkét irányban (nincs zárlat)	rövidre zárt C–E
N-csatornás MOSFET	D–S testdióda irányban	körülbelül 0,4–0,6 V	szakadt testdióda
MOSFET gate	G–S ellenállás	nagyon nagy, OL	kis ellenállás, zárlatos oxid
LED	nyitóirányú diódateszt	2–3,5 V között a LED színétől függően	OL nyitóirányban
Optocsatoló	bemeneti LED és kimeneti tranzisztor	LED diódaként; C–E OL	LED szakadt, fototranzisztor zárlatos

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: az adott alkatrész gyártói adatlapja).

14.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Tünet. Egy személyautónál a hűtőventilátor nem forog, álló járműnél, alapjáraton a hűtőfolyadék hőmérséklete túl magasra emelkedik. A szerelő ellenőrzi a biztosítékot, a ventilátor csatlakozóját és magát a motort: ezek rendben vannak. A hűtővíz-hőfokérzékelő és a motorvezérlő élő adata is megfelelő.

Hibakeresés. A kapcsolási rajz szerint a ventilátort egy PWM-vezérelt MOSFET kapcsolja. A diagnosztikai műszerrel a vezérlőegység parancsát nézve látszik, hogy az ECU 30%-os PWM jelet ad. A ventilátorcsatlakozón azonban nincs feszültség. Ezután a szerelő megkeresi a ventilátor-vezérlő modult, és oszcilloszkóppal méri a MOSFET gate-jelét: a jel él, tehát a vezérlőoldal rendben van. A modul kimeneti oldalán viszont nincs feszültség. A MOSFET csatornája nem nyit (például szakadt drain–source út vagy kiégett bondhuzal). A modul belső hibája miatt a gyártói javítási utasítás szerint a teljes ventilátor-vezérlő modult cserélik. A javítás után a ventilátor a PWM jel arányában felpörög, a hőmérséklet stabil marad.

Tanulság. A hibát nem a vezérlésben, hanem a félvezető kapcsolóban kellett keresni. A modern járművekben a „relé nem húz” helyett gyakran „a MOSFET nem nyit”.

14.2.8. Gyakorlati útmutató: félvezető kapcsolóelemek gyors vizsgálata

Cél. Egy tranzisztor, MOSFET vagy LED működőképességének gyors, áramkörön kívüli vizsgálata multiméterrel.

Szükséges eszközök. Digitális multiméter dióda- és ellenállásmérő funkcióval, gyártói kapcsolási rajz, csatlakozó-visszabontó célszerszám, ESD-védő csuklópánt és vezetőképes munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Mérés előtt a jármű gyújtását ki kell kapcsolni, az akkumulátort a gyártói utasítás szerint le kell kötni; hibrid vagy elektromos járműben a narancssárga nagyfeszültségű kábelek közelében csak arra jogosult személy dolgozhat.

Munkalépések.

1. Azonosítsa a gyártói kapcsolási rajzból a mérendő alkatrészt és a kivezetéseit.
2. Kösse le az akkumulátort a gyártói sorrend szerint (először a negatív pólust), és várja meg a gyártói várakozási időt, ha a járműben aktív rendszerek vannak.
3. Használjon ESD-védő eszközt, különösen MOSFET- és IGBT-mérésnél.
4. Multiméter diódatest üzemmódjában mérje a BJT bázis–emitter és bázis–kollektor átmeneteit oda-vissza irányban.
5. MOSFET-nél mérje a drain–source testdiódát és a gate–source közötti ellenállást; a gate-nek minden más kivezetéstől szigeteltnek kell lennie.
6. LED-nél mérje a nyitóirányú feszültségesést és a záróirányú szivárgást.
7. Hasonlítsa össze a mért értékeket a gyártói adatlappal; a kétes alkatrészt cserélni kell, nem „megpörgetni”, és nem szabad a kivezetéseket összeforrasztani a járműben mérés közben.

14.2.9. Tipikus hibák

Hiba 1. A szerelő a MOSFET gate-jét csupasz kézzel fogja, majd a félvezető rejtélyesen tönkremegy. **Helyes gyakorlat:** a gate szigetelt oxidrétege ESD-sérülést szenvedhet, ezért mindig ESD-védő eszközöket és földelt munkafelületet kell használni.

Hiba 2. A relés kapcsolásból kihagyják a védődiódát, ezért a tranzisztor a lekapcsolási feszültségcsúcs miatt hetekkel később meghibásodik. **Helyes gyakorlat:** relétekercs vagy más induktív terhelés kapcsolásakor a védődiódát mindig a tekercs sarkaira, helyes polaritással kell kötni.

Hiba 3. A LED-et előtétellenállás nélkül kötik 12 V-ra, arra hivatkozva, hogy „a LED csak 20 mA-t vesz fel”. **Helyes gyakorlat:** a LED nyitófeszültsége jellemzően 2–3,5 V, így a 12 V fennmaradó része ellenállás nélkül határtalan áramot hajt át rajta, és kiég.

Hiba 4. A tirisztort úgy akarják lezárni, hogy a gate feszültségét nullára veszik. **Helyes gyakorlat:** a bekapcsolt tirisztor csak akkor olt le, ha az anódáram a tartóáram alá csökken; egyenáramú körben meg kell szakítani az áramkört, vagy váltóirányú feszültségre kapcsolni.

14.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? „A MOSFET gate-je szigetelt, ezért nem érzékeny az elektrosztatikus kisülésre.”
2. Igaz vagy hamis? „A telített NPN tranzisztor kollektor–emitter feszültsége kisebb, mint 1 V.”

3. Számítsa ki: $U_{\text{táp}} = 12\,\text{V}$, $D = 20\%$, $R = 4\,\Omega$. Mennyi az átlagfeszültség és a bekapcsolt állapot csúcsárama?
4. Nézze meg a kapcsolási rajzot: mi a D1 dióda szerepe?
5. Mi a hiba ebben az állításban: „A LED-et 12 V-ra kötjük előtétellenállás nélkül, mert a LED úgyis csak 20 mA-t vesz fel.”

14.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg, mi a különbség a BJT, a MOSFET és a tirisztor vezérlési módja és kikapcsolási lehetősége között.

2. feladat (A). Határozza meg a szükséges bázisellenállást: NPN BJT, $I_C = 120\,\text{mA}$, $\beta_{\min} = 100$, $U_{\text{vez}} = 5\,\text{V}$, $U_{BE(\text{sat})} = 0{,}7\,\text{V}$, kétszeres túlvezérlés.

3. feladat (B). Magyarázza el a kapcsolási rajz alapján, miért kell a D1 védődióda katódjának a relétekercs pozitív, 85-ös oldalára esnie.

4. feladat (B). PWM-vezérelt fűtőszál: $U_{\text{táp}} = 12\,\text{V}$, $D = 60\%$, $R = 3\,\Omega$. Számítsa ki az átlagfeszültséget, az effektív feszültséget, a csúcsáramot, az átlagos teljesítményt és a MOSFET átlagos veszteségét, ha $R_{DS(\text{on})} = 30\,\text{m}\Omega$. Ez a feladat előkészíti a PWM-jelek használatát a(z) Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger alfejezethez.

5. feladat (C). Egy szerelő egyenáramú hűtőventilátort PWM-es fordulatszám-szabályozással akar tirisztorral vezérelni. Magyarázza el, miért okoz gondot a tirisztor lekapcsolása, és milyen félvezető lenne alkalmasabb.

6. feladat (D). Egy LED-es hátsó lámpa halványan világít. A multiméter a LED-soron 2,8 V-ot, a soros ellenálláson 9,2 V-ot mér, az ellenállás értéke 470 Ω. Számolja ki az áramot, és döntse el, hogy az áram értéke önmagában normális-e. Mi lehet a halvány fény oka?

14.2.12. Megoldások

14.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A gate szigetelése éppen hogy ESD-érzékennyé teszi a MOSFET-et, mert a vékony oxidréteget már néhány tíz voltos sztatikus töltés is átütheti.
2. Igaz. A telített NPN tranzisztor kollektor–emitter feszültsége jellemzően 0,1–0,3 V, tehát 1 V alatt van.
3. $U_{\text{átlag}} = 0{,}2 \cdot 12 = 2{,}4\,\text{V}$; $I_{\text{csúcs}} = 12\,\text{V}/4\,\Omega = 3\,\text{A}$.
4. A D1 védődióda a relétekercs lekapcsolásakor keletkező önindukciós feszültségcsúcsot zárja rövidre, és megvédi a T1 tranzisztort.
5. A LED nyitófeszültsége csak 2–3,5 V. A 12 V fennmaradó része ellenállás nélkül az áramot a LED dinamikus ellenállása korlátozza, ami rendkívül kis ellenállás, ezért a LED azonnal tönkremegy.

14.2.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A). A BJT-t bázisárammal vezéreljük, és a bázisáram megszüntetésével le tud zárni. A MOSFET-et gate-feszültséggel vezéreljük, a gate gyakorlatilag nem vesz fel egyenáramot, és a gate-feszültség megszüntetése lezárja. A tirisztor gyújtóimpulzussal bekapcsol, de a gate nem oltja le; csak az anódáram tartóáram alá csökkenése szünteti meg a vezetést.

2. feladat (A). Minimális bázisáram $I_{B,\min} = I_C/\beta_{\min} = 120\,\text{mA}/100 = 1{,}2\,\text{mA}$. Kétszeres túlvezérléssel $I_B = 2{,}4\,\text{mA}$. Az ellenállásra jutó feszültség $U_{\text{vez}} - U_{BE(\text{sat})} = 5 - 0{,}7 = 4{,}3\,\text{V}$. $R_B = 4{,}3\,\text{V}/0{,}0024\,\text{A} = 1792\,\Omega$. Az E12 sorból válasszunk $1{,}8\,\text{k}\Omega$-ot.

3. feladat (B). A relétekercs 85-ös kapcsa a 15-ös, tehát pozitív oldal. A lekapcsolt tranzisztoros oldalon (86-os kapocs) negatív feszültségcsúcs alakul ki. A diódának úgy kell vezetnie, hogy az anódja a negatívabb, katódja a pozitívabb oldalon legyen. Ha fordítva kötjük, a dióda rövidre zárja a relétekercset, és elszáll a biztosíték vagy a tranzisztor.

4. feladat (B). $D = 0{,}6$; $U_{\text{átlag}} = 0{,}6 \cdot 12 = 7{,}2\,\text{V}$. $U_{\text{eff}} = 12\sqrt{0{,}6} = 12 \cdot 0{,}7746 = 9{,}295\,\text{V}$. $I_{\text{csúcs}} = 12\,\text{V}/3\,\Omega = 4\,\text{A}$. $P_{\text{átlag}} = U_{\text{eff}}^2/R = 86{,}4/3 = 28{,}8\,\text{W}$. MOSFET-veszteség: $P_{DS} = D\,I_{\text{csúcs}}^2\,R_{DS(\text{on})} = 0{,}6 \cdot 16 \cdot 0{,}03 = 0{,}288\,\text{W}$.

5. feladat (C). Egyenáramú körben a tirisztor begyújtása után az áram folyamatosan folyik, és a gate nem tudja lezárni. A PWM akkor működne, ha a terhelőáram minden periódusban nullára csökkenne, de egyenáramú motoros körben ez nem következik be külső árammegszakítás nélkül. A megoldás MOSFET vagy IGBT, mert azok a gate-jel megszüntetésével lezárnak.

6. feladat (D). A soros ellenállás árama: $I = U_R/R = 9{,}2\,\text{V}/470\,\Omega = 0{,}0196\,\text{A} = 19{,}6\,\text{mA}$. Ez a LED-sorra jellemző névleges áramtartomány közelében van, tehát az áramkör nem szakadt, és az ellenállás körülbelül helyes. Ha a lámpa mégis halvány, a hiba valószínűleg a LED-modulban van: a LED-sor öregedett, fényhasznosítása csökkent, vagy egy belső LED-rövidzár miatt megváltozott a soros szerkezet. Ki kell olvasni a lámpavezérlő hibakódját, és a gyártói diagnosztika szerint megmérni a LED-modult; rossz modulnál a gyártói előírás szerint cserélni kell.

14.2.13. Rövid összefoglaló

A tranzisztor a modern járműelektronika vezérelt kapcsolója. A bipoláris NPN/PNP tranzisztort kis bázisáram vezérli: $I_C \approx \beta I_B$. Kapcsolóüzemben lezárva nincs áram, telítésben $U_{CE(\text{sat})}$ kicsi, ezért a disszipáció alacsony. Relék hajtásakor a tekercs lekapcsolási feszültségcsúcsa ellen védődióda kell. A MOSFET feszültség vezérelt, szigetelt kapuval, kis $R_{DS(\text{on})}$ ellenállással, ezért PWM-teljesítménykapcsolásra kiváló. A PWM átlagfeszültsége $U_{\text{átlag}} = DU_{\text{táp}}$, az effektív feszültség $U_{\text{eff}} = U_{\text{táp}}\sqrt{D}$. A tirisztor reteszelő kapcsoló, egyenáramú körben csak árammegszakítással olt; HKZ-gyújtásokban kondenzátorkisütést vezérel. A fotoellenállás, fotodióda, LED és optocsatoló a fény és villamos jel átalakításában, járműipari érzékelésben és galvanikus leválasztásban használatos. **Továbbvitt eredmény.** A tranzisztoros kapcsolóüzem és a PWM feszültségátlag-számítás a(z) Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger, a(z) Elektronikai elemek a gépjármű villamos hálózatában és a(z) Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig alfejezetben kerül újra elő.

14.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: félvezető-gyártói katalóguslapok (BJT β, $U_{CE(\text{sat})}$, MOSFET $U_{GS(\text{th})}$ és $R_{DS(\text{on})}$, LED nyitófeszültség), járműgyártói kapcsolási rajzok és javítási utasítások, gyártói ESD-előírások. A megadott számértékek – mint 0,1–0,3 V telítési feszültség, 1,2–1,4 V Darlington-telítés, 100 Hz–néhány kHz PWM-frekvencia, a LED 2–3,5 V nyitófeszültsége – tanulási példák, amelyeket a konkrét alkatrész és jármű adatlapja szerint ellenőrizni kell (ellenőrizendő). A relés kapcsolási rajz kapocsjelölései a gyártói rajz szerint ellenőrizendők.

14.3. Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger

14.3.1. Motiváció

A műhelyben egy motor időnként kihagy, és a rendszerteszter „főtengely-jeladó jel hiánya” hibakódot tárol. Az induktív főtengely-jeladó kimenetén oszcilloszkóppal nem tiszta négyszögjelet látunk, hanem zajos, torz szinuszszerű jelet, amelynek amplitúdója fordulatszámmal változik. A motorvezérlő mégis megbízható fordulatszámjelet kap, mert a bemeneti áramköre **jelformálást** végez: a jelet erősíti, vágja, és egy hiszterézissel rendelkező **Schmitt-trigger** alakítja tiszta négyszögjellé. Ugyanebben a fejezetben értjük meg, hogyan működik az irányjelző villogója, miért villog gyorsabban az irányjelző, ha egy izzó kiégett, és mit jelent a motorvezérlő kimenetén a **PWM-jel**, például egy elektromos hűtőventilátor fordulatszám-állításánál.

14.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy oszcilloszkópot, amelyen egy négyszögjelet látunk. A jel két feszültségszint között ugrál: például 0 V és 5 V között. A jelet egy kapcsoló óra hozza létre, amely másodpercenként sokszor be- és kikapcsolja az 5 V-os tápfeszültséget. A képernyőn leolvasható, hogy mennyi ideig van bekapcsolva a jel, és mennyi ideig van kikapcsolva. Ha a bekapcsolt és kikapcsolt idő aránya változik, a fogyasztó átlagos teljesítménye is változik, pedig a feszültség mindig ugyanakkora. Ezt az elvet használja a modern járműelektronika a fényszóró-motorok, ventilátorok, fűtőbetétek és sok más fogyasztó fokozatmentes vezérléséhez.

14.3.3. Impulzusok jellemzői, kitöltési tényező

Definíció. Az **impulzus** olyan villamos jel, amely rövid időre eltér az alapállapottól, majd visszatér. A gyakorlatban gyakran periódikusan ismétlődő négyszögimpulzusokkal dolgozunk. A periodikus négyszögjel jellemzői:

- **Amplitúdó** ($U_{\max}$): a jel legnagyobb feszültségértéke az alapállapothoz képest (pl. 5 V).
- **Periódusidő** (T): egy teljes ciklus időtartama, mértékegysége s, ms vagy μs.
- **Frekvencia** (f): $f = 1/T$, mértékegysége Hz.
- **Bekapcsolási idő** (t_{be}): az az idő, amíg a jel magas szinten van.
- **Kikapcsolási idő** (t_{ki}): az az idő, amíg a jel alacsony szinten van, $T = t_{\text{be}} + t_{\text{ki}}$.

Definíció. A **kitöltési tényező** (D) a bekapcsolási idő és a periódusidő hányadosa:

$$D = \frac{t_{\text{be}}}{T} \quad \text{vagy} \quad D = \frac{t_{\text{be}}}{t_{\text{be}} + t_{\text{ki}}}.$$

A kitöltési tényezőt gyakran százalékban adjuk meg: $D = 30\%$ azt jelenti, hogy a periódusidő 30%-ában van a jel magas szinten. Az ilyen, rögzített frekvenciájú, változtatható kitöltési tényezőjű jelet **PWM-jelnek** (pulse width modulation, impulzusszélesség-moduláció) nevezzük.

Szabály. A PWM-jel átlagos feszültsége egy periódusra vetítve:

$$U_{\text{átlag}} = D \cdot U_{\max}.$$

Ha például egy 12 V-os fogyasztót 40% kitöltési tényezőjű PWM-mel kapcsolunk, az átlagos feszültsége $0{,}4 \cdot 12\,\text{V} = 4{,}8\,\text{V}$, ezért a fogyasztó átlagosan úgy viselkedik, mintha kisebb egyenfeszültséget kapna.

14.3.4. Az RC-tag mint négypólus

A Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó alfejezetben megismertük a kondenzátor töltését és kisütését, valamint az időállandót: $\tau = RC$. Egy ellenállásból és kondenzátorból álló **RC-tag** négypólus, amelynek bemeneti feszültségét U_{be}, kimeneti feszültségét U_{ki} jelöli. Attól függően, hogy a kimenetet az ellenállásról vagy a kondenzátorról vesszük le, a kapcsolás két alapvető viselkedést mutat.

14.3.4.1. Differenciáló RC-tag

A **differenciáló tag** kapcsolásában a kondenzátor a bemenet és a kimenet között van sorban, az ellenállás pedig a kimenet és a test között. A kimeneti feszültség az ellenálláson jelenik meg. Ha a bemenet egy négyszögjel, akkor a felfutó él pillanatában a kondenzátor feszültsége hirtelen nem változhat, ezért a kimeneten rövid, magas **tüskeimpulzus** jelenik meg, amely az $\tau = RC$ időállandóval exponenciálisan lecseng. A lefutó élkor egy fordított polaritású tüske keletkezik.

Szabály. A differenciáló tag akkor viselkedik valódi differenciálóként, ha az időállandó sokkal kisebb, mint a bemeneti jel periódusidejének fele:

$$\tau \ll T/2.$$

Ilyenkor a kimeneti feszültség gyakorlatilag a bemeneti feszültség változási sebességét tükrözi. Járműpélda: a gyújtáselektronika régebbi rendszereiben tüskeimpulzust hoztak létre a jel felfutó éléről, hogy a vezérlőtranzisztort ki- vagy bekapcsolják.

14.3.4.2. Integráló RC-tag

Az **integráló tag** kapcsolásában az ellenállás a bemenet és a kimenet között van sorban, a kondenzátor pedig a kimenet és a test között. Ha a bemenet négyszögjel, akkor a kondenzátor töltése és kisütése miatt a kimeneti feszültség háromszögjelszerűen emelkedik és süllyed, mert a kondenzátor feszültsége az idővel fokozatosan változik.

Szabály. Az integráló tag akkor viselkedik valódi integrálóként, ha az időállandó sokkal nagyobb, mint a bemeneti jel félperiódusa:

$$\tau \gg T/2.$$

Ilyenkor a kimeneti feszültség közelíti a bemeneti feszültség idő szerinti integrálját. Az RC-integrátor az impulzustechnikában például zajszűrésre, feszültségátlagolásra és lassú, egyenletes jelváltozás létrehozására szolgál.

Megjegyzés. Ugyanaz az RC-tag lehet differenciáló vagy integráló attól függően, hogy milyen frekvenciájú jelet adunk rá. A döntő a τ és a jel periódusidejének aránya.

14.3.5. Diódás vágóáramkörök

A **diódás vágóáramkör** olyan kapcsolás, amely a bemeneti jelből levág egy feszültségtartományt, vagy a kimeneti feszültséget egy előre megadott szintre korlátozza. A dióda nyitóirányban körülbelül 0,7 V feszültséget ejt (szilíciumdiódánál), ezért ha a kimenettel párhuzamosan test felé nyitóirányban diódát kötünk, a kimenet nem tud 0,7 V fölé emelkedni. Soros diódával pedig egy félhullámú jelet hozhatunk létre.

A járműelektronikában a vágóáramkörök fontos védelmi szerepet töltenek be: a relétekercsek, szelepek és injektorok kikapcsolásakor keletkező önindukciós feszültségcsúcsot **szabadonfutó diódával** vagy Zener-diódás vágókörrel korlátozzák, hogy a vezérlőtranzisztor ne károsodjon. A vágás lehet pozitív, negatív vagy kétirányú; a kétirányú vágást például a vezérlőegységek érzékelőbemeneteinek túlfeszültség-védelmében alkalmazzák.

14.3.6. Bistabil, monostabil és astabil billenőkapcsolás

A **billenőkapcsolás** (multivibrátor) olyan kapcsolás, amely két erősítő fokozatból áll, és amelynek kimenete két állapot között váltogat. A három alaptípus a gyakorlati járműelektronikában a következő.

14.3.6.1. Bistabil billenőkapcsolás (latch, tároló)

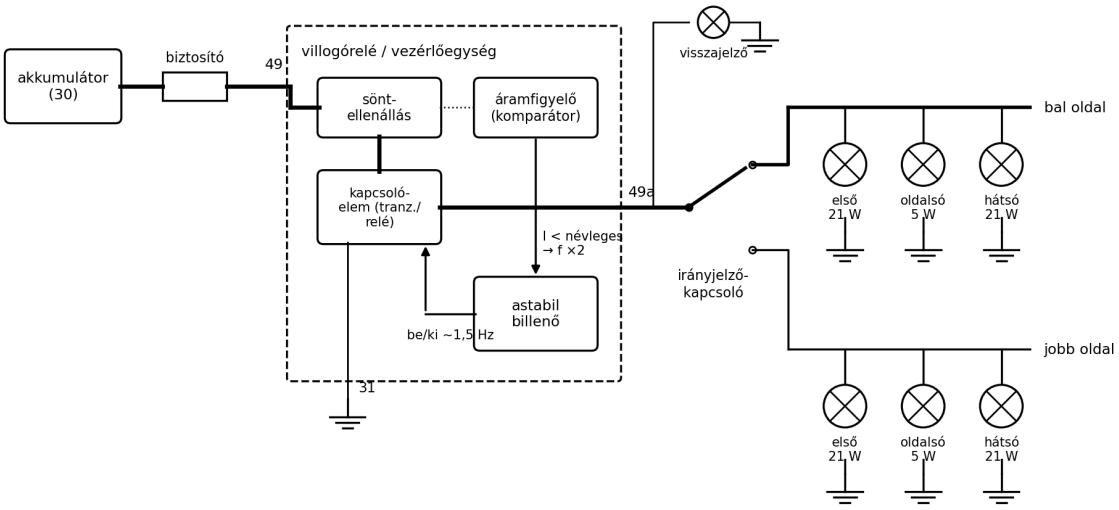
A **bistabil billenőkapcsolásnak** két stabil állapota van. Egy bemenő impulzussal az egyik, újabb impulzussal a másik állapotba billen, és külső jel nélkül az utolsó állapotban marad. Ilyet valósítanak meg a digitális **RS-tárolók** és a fedélzeti elektronika memóriáinak alapáramkörei. A járművezérlőkben a bistabil elem segítségével tárolják például egy beavatkozó be- vagy kikapcsolt állapotát.

14.3.6.2. Monostabil billenőkapcsolás

A **monostabil billenőkapcsolásnak** egy stabil állapota van. Ha egy indítóimpulzust kap, rövid időre átbillen a másik állapotba, majd az időzítő elem (RC-tag) által meghatározott idő után magától visszabillen. A kimeneti impulzus hossza $t_{\text{imp}} \approx 0{,}7 \cdot R \cdot C$. A monostabil áramkört járművekben például beltéri világítás késleltetésére, ablaktörlő-intervallum-vezérlésre és szervoablakok egyszeri működtetésére használják.

14.3.6.3. Astabil billenőkapcsolás

Az **astabil billenőkapcsolásnak** nincs stabil állapota, ezért folyamatosan oszcillál: a kimenete periodikusan vált a két állapot között. A frekvenciát és a kitöltési tényezőt két RC-tag határozza meg. Az astabil multivibrátor elve működteti az **irányjelző villogóját**: az elektronikus villogórelé astabil billenője kb. 1,5 Hz-cel kapcsolja az izzók áramát (az előírt villogási frekvencia 60–120 villanás/perc; ellenőrizendő: a hatályos előírás). Egy söntellenálláson mért árammal ellenőrzi az izzók áramfelvételét: ha egy izzó kiég, vagy kisebb teljesítményűre cserélték, az áram csökken, és az áramkör kb. kétszeres frekvenciára kapcsol (ellenőrizendő: gyártói adat); ez jelzi a vezetőnek a hibát. A modern járművekben ezt a vezérlőegység szoftvere és az izzófigyelő áramkör végzi.



vastag vonal: főáramkör (bal irány bekapcsolva); a söntön eső feszültségből az áramfigyelő érzékeli, ha egy izzó kiégett, és ekkor a billenő kb. kétszeres frekvenciával villog (tanulási példa: ~1,5 Hz → ~3 Hz, ellenőrizendő).

14.6. ábra. Az irányjelző villogó elvi blokkvázlata (elektronikus villogórelé izzófelügyelettel)

A rajzon az akkumulátor (30) a biztosítón át a villogórelé 49-es bemenetére jut. A relében az astabil billenő ütemesen be- és kikapcsolja a kapcsolóelemet (tranzisztor vagy relé), amely a 49a kimeneten, az irányjelző-kapcsolón át a kiválasztott oldal izzóit (első, oldalsó, hátsó) táplálja; az izzók a testen (31) záródnak, a visszajelző lámpa a 49a-ra csatlakozik. Az áramfigyelő a söntellenálláson eső feszültségből érzékeli az izzók áramát: ha egy izzó kiég (oldalanként $2 \cdot 21\,\mathrm{W} + 5\,\mathrm{W}$ esetén kb. 3,9 A helyett kb. 2,2 A folyik), a billenő kb. kétszeres frekvenciával villog (tanulási példa: kb. 1,5 Hz helyett kb. 3 Hz, ellenőrizendő: előírás és gyártói adat). Az interaktív változatban az irány választható, és egy izzó „kiégethető”.

14.3.7. Schmitt-trigger: jelformálás a motorvezérlő bemenetén

A **Schmitt-trigger** olyan hiszterézissel rendelkező komparátorkapcsolás, amelynek két küszöbfeszültsége van: a felfutó jel csak egy magasabb U_H küszöbnél kapcsolja be a kimenetet, a lefutó jel csak egy alacsonyabb U_L küszöbnél kapcsolja ki. A két küszöb közötti feszültségkülönbséget **hiszterézisnek** nevezzük.

Definíció. A Schmitt-trigger hiszterézise:

$$U_\mathrm{h} = U_\mathrm{H} - U_\mathrm{L}.$$

A hiszterézis megakadályozza, hogy egy zajos vagy lassan változó jel a küszöb környékén többször ki-be kapcsoljon. Ezt **zajszűrésnek** nevezzük. A motorvezérlő bemenetein a főtengely- és vezérműtengely-jeladó jelét, valamint a kerékfordulatszám-jeladók jelét általában Schmitt-trigger formálja tiszta négyszögjellé.

Példa. Egy induktív főtengely-jeladó jele 900 1/min fordulatszámon kb. 1 V amplitúdójú, zajos feszültség (ellenőrizendő: gyártói adat). A Schmitt-trigger $U_\mathrm{H} = 0{,}5\,\mathrm{V}$ és $U_\mathrm{L} = 0{,}2\,\mathrm{V}$ küszöbökkel rendelkezik (hiszterézis: 0,3 V). A jel felfutásakor a kimenet 0,5 V-nál kapcsol be, lefutáskor 0,2 V-nál kapcsol ki. A 0,3 V-nál kisebb csúcstól csúcsig zaj nem okoz hamis átbillenést.

14.3.8. Kidolgozott példák

14.3.8.1. 1. példa – Impulzusjellemzők számítása

Adott: Egy PWM-jel periódusideje $T = 20\,\text{ms}$, bekapcsolási ideje $t_{\text{be}} = 6\,\text{ms}$, amplitúdója $U_{\max} = 5\,\text{V}$.

Keresett: a frekvencia, a kitöltési tényező és az átlagfeszültség.

Megoldás:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}02\,\text{s}} = 50\,\text{Hz},$$

$$D = \frac{t_{\text{be}}}{T} = \frac{6\,\text{ms}}{20\,\text{ms}} = 0{,}3 = 30\%,$$

$$U_{\text{átlag}} = D \cdot U_{\max} = 0{,}3 \cdot 5\,\text{V} = 1{,}5\,\text{V}.$$

Ellenőrzés: 50 Hz egy normál villamos hálózati frekvencia, a 30% kitöltés pedig 1,5 V átlagot ad az 5 V-os amplitúdóból, ami nagyságrendileg helyes. ∎

14.3.8.2. 2. példa – Differenciáló RC-tag tüske hossza

Adott: Egy differenciáló RC-tag ellenállása $R = 27\,\text{k}\Omega$, kondenzátora $C = 10\,\mu\text{F}$. A bemenet $f = 1\,\text{kHz}$ frekvenciájú négyszögjel.

Keresett: az időállandó, valamint annak eldöntése, hogy a kapcsolás differenciálóként viselkedike.

Megoldás:

$$\tau = RC = 27 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 10 \cdot 10^{-6}\,\text{F} = 0{,}27\,\text{s}.$$

A bemenet félperiódusa:

$$T/2 = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2000} = 0{,}5\,\text{ms}.$$

Összehasonlítva: $\tau = 0{,}27\,\text{s} \gg 0{,}5\,\text{ms}$, tehát a feltétel nem teljesül. A kapcsolás nem differenciáló, hanem valójában **integráló** viselkedést mutat erre a jelre. A tüske nem rövid, hanem a félperiódus alatt alig változik a kimenet. ∎

14.3.8.3. 3. példa – Schmitt-trigger hiszterézise

Adott: Egy Schmitt-trigger bekapcsolási küszöbe $U_{\mathrm{H}} = 2{,}8\,\mathrm{V}$, kikapcsolási küszöbe $U_{\mathrm{L}} = 2{,}2\,\mathrm{V}$.

Keresett: a hiszterézis nagysága.

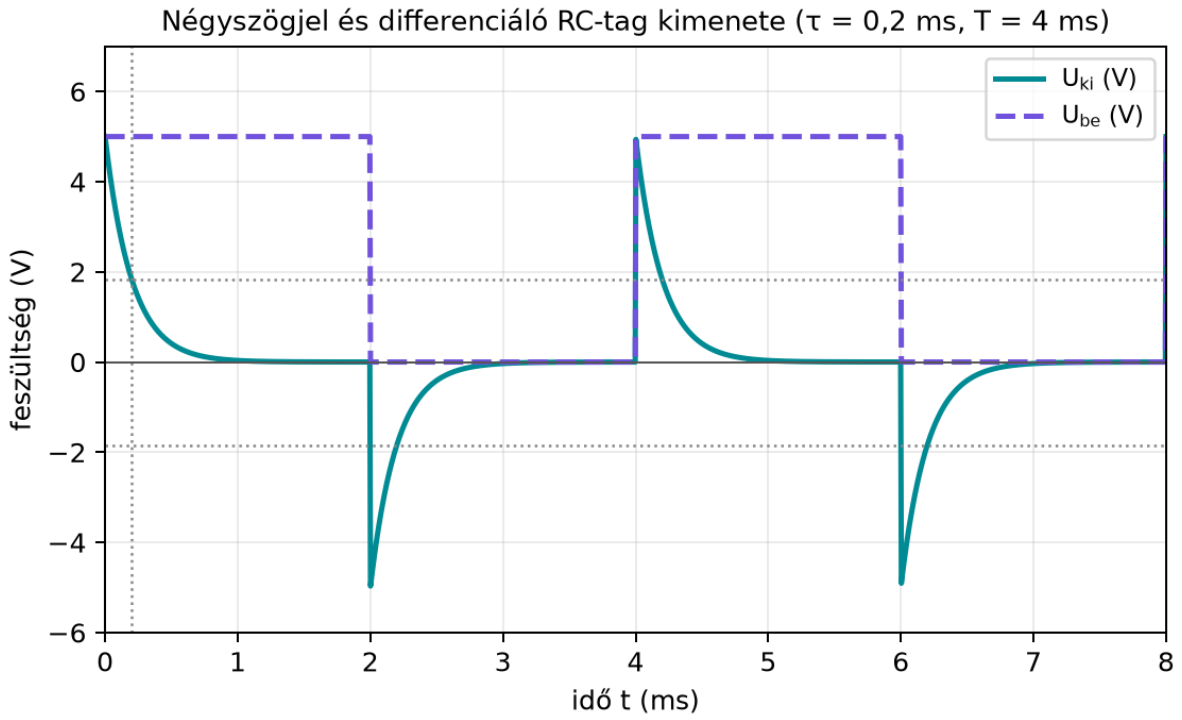
Megoldás:

$$U_{\mathrm{h}} = U_{\mathrm{H}} - U_{\mathrm{L}} = 2{,}8\,\mathrm{V} - 2{,}2\,\mathrm{V} = 0{,}6\,\mathrm{V} = 600\,\mathrm{mV}.$$

Ellenőrzés: egy átlagos zajszint 100 mV alatt nem okoz hamis átbillenést, mert a hiszterézis 600 mV. ∎

14.3.9. Impulzusjellemzők és jelformálás szemléltetése

A következő ábra egy bemeneti négyszögjelet és egy differenciáló RC-tag kimeneti tüskejelét mutatja szemléltető, számításból adódó pontokkal:



14.7. ábra. Négyszögjel és differenciáló RC-tag kimenete ($\tau = 0{,}2$ ms, $T = 4$ ms) - Képletből számolt görbék: 5 V-os, $T = 4$ ms periódusú négyszögjel; differenciáló RC-tag $\tau = R \cdot C = 0{,}2$ ms (pl. $R = 2$ kΩ, $C = 100$ nF) $\ll T/2 = 2$ ms. A kimenet a felfutó élnél +5 V-ról, a lefutó élnél −5 V-ról exponenciálisan, τ időállandóval cseng le.

Az ábrán látható, hogy a bemeneti négyszögjel felfutó élével egy pozitív tüske, lefutó élével egy negatív tüske jelenik meg a kimeneten. Az ábrán $\tau = RC = 0{,}2\,\mathrm{ms}$ (például $R = 2\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 100\,\mathrm{nF}$), ami jóval kisebb a félperiódusnál ($T/2 = 2\,\mathrm{ms}$): a tüske $t = \tau$ alatt a csúcsérték kb. 37%-ára (1,84 V, pontozott segédvonal), kb. $5\tau = 1\,\mathrm{ms}$ alatt gyakorlatilag nullára cseng le, vagyis a tüske hossza a τ nagyságrendjébe esik. A tüske csúcsa közel van a bemenet ugrásának

értékéhez, de a nagysága és a lecsengési idő az RC-időállandótól függ. A vízszintes tengelyen az idő, a függőlegesen a feszültség szerepel.

14.3.10. Minőségellenőrzés

A jelformáló áramkörök vizsgálatához elsősorban oszcilloszkópot használunk. Az ellenőrzés során a következőket mérjük:

- **Impulzusjellemzők:** az oszcilloszkóp időalapjával olvassuk le a periódusidőt, a bekapcsolási időt és a feszültségszinteket. A számított kitöltési tényezőt a kapcsolási rajz vagy a gyártói adat szerinti értékkel vetjük össze.
- **RC-tag viselkedése:** négyzetjel bemenetre adott kimeneti jelalak legyen tüske (differenciáló) vagy háromszög (integráló). A tüske hossza τ nagyságrendjében van.
- **Diódás vágó:** a kimeneti jel maximális vagy minimális feszültsége ne haladja meg a vágási szintet. A szivárgó dióda a vágott jel enyhe torzulását okozza.
- **Schmitt-trigger:** a bemeneti jel lassú háromszögjellel, az oszcilloszkóp két csatornáján figyeljük a bemeneti és kimeneti jelet, és leolvassuk a hiszterézist.

Ellenőrzőlista. Jelformáló áramkör vizsgálatakor:

1. A műszer földelése a mérendő áramkör testpontjához csatlakozzon.
2. A mérőfej kalibrálása, a csillapítás beállítása (1:10) legyen helyes.
3. A jel amplitúdója és időbeli lefutása legyen az elvárt tartományban.
4. A hiszterézis mérésénél jegyezzük fel a felfutó és lefutó küszöbfeszültséget.
5. A PWM-jel vizsgálatánál ellenőrizzük a frekvenciát és a kitöltési tényezőt.

14.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy benzinüzemű jármű indítás után jár, de rángat, és a rendszerteszter „főtengely-jeladó jel hiánya” hibakódot tárol. A szerelő a főtengely-jeladó csatlakozóján oszcilloszkópot kötött. A jel szinuszszerű volt, amplitúdója alapjáraton 1,2 V, de indításkor csak 0,4 V, és erős zajjal keveredett. A műhelyben a jeladó és a vezérlő közötti árnyékolt vezeték ellenállását multiméterrel megmérték: a vezeték ép, földelése megfelelő, de a csatlakozó erősen oxidált volt. A nagy átmeneti ellenállás miatt a jel amplitúdója leesett, és a motorvezérlő bemeneti Schmitt-triggere nem kapcsolt megbízhatóan. A csatlakozó megtisztítása és a jel újravizsgálata után a jel amplitúdója visszatért, a hibakód törölhető volt, és a motor járása egyenletes lett. A tanulság: a legjobb jelformáló áramkör sem tudja helyettesíteni a megbízható, tiszta bemeneti jelet.

14.3.12. Tipikus hibák

1. **Differenciáló és integráló tag felcserélése a méretezésben.** Gyakori hiba, hogy a tanuló csak a kapcsolási rajzot nézi, és nem ellenőrzi a τ és a jel periódusidejének arányát. Például egy 1 MΩ-os ellenállásból és 10 μF-os kondenzátorból álló tag egy néhány kHz-es négyszögjelre nem differenciáló, hanem gyakorlatilag aluláteresztő integráló.
2. **A kitöltési tényező helytelen számítása.** Sokan a kikapcsolási időt osztják a periódusidővel, vagy elfelejtik százalékká alakítani. A helyes képlet mindig $D = t_{\mathrm{be}}/T$. Ha $t_{\mathrm{be}} = 6\,\mathrm{ms}$ és $T = 20\,\mathrm{ms}$, akkor $D = 30\%$, nem pedig 70%.
3. **A Schmitt-trigger hiszterézisének elhanyagolása mérésnél.** Zajos jelnél előfordul, hogy a multiméteres egyenfeszültség-mérés nem mutatja a tényleges váltást, mert az átlagfeszültséget méri. A hiszterézist csak oszcilloszkóppal lehet megbízhatóan meghatározni, a felfutó és lefutó küszöbök külön rögzítésével.

14.3.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A PWM-jel kitöltési tényezője a kikapcsolási idő és a periódusidő hányadosa.
2. **Gyors számolás.** Egy PWM-jel $f = 200\,\text{Hz}$, bekapcsolási ideje $2\,\text{ms}$. Mekkora a kitöltési tényező?
3. **Mi a hiba?** Egy tanuló azt állítja, hogy a differenciáló RC-tag akkor differenciál, ha $\tau \gg T/2$. Igaza van-e?
4. **Rajzolvasás.** Egy kapcsolási rajzon a bemeneti kondenzátor után ellenállás van test felé, és a kimenet az ellenállásról csatlakozik. Mi ez a kapcsolás, és milyen jelalakot várunk négyszögjel bemenetre?
5. **Schmitt-trigger.** Egy Schmitt-trigger küszöbei $U_\text{H} = 3{,}3\,\text{V}$ és $U_\text{L} = 2{,}9\,\text{V}$. Mekkora a hiszterézis, és miért fontos?

14.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Definíciók: határozd meg az impulzus, a kitöltési tényező és a PWM fogalmát.

2. feladat (A). Egy négyszögjel periódusideje $250\,\text{ms}$, bekapcsolási ideje $100\,\text{ms}$. Számítsd ki a frekvenciát és a kitöltési tényezőt százalékban.

3. feladat (B). Egy integráló RC-tag ellenállása $R = 100\,\text{k}\Omega$, kondenzátora $C = 4{,}7\,\mu\text{F}$. A bemenet $f = 50\,\text{Hz}$ négyszögjel. Ellenőrizd, hogy az integráló feltétel teljesül-e, és számítsd ki az időállandót.

4. feladat (B). Rajzold le az astabil billenő elvi kapcsolását (tranzisztoros multivibrátor) és magyarázd el, miért nincs stabil állapota.

5. feladat (C). Egy motorvezérlő bemenetén a főtengely-jel zajszintje $120\,\text{mV}$, a jel amplitúdója alapjáraton $900\,\text{mV}$. Milyen Schmitt-trigger küszöböket és hiszterézist választanál, hogy a zaj ne okozzon téves kapcsolást, de a jel megbízhatóan átbillenjen? Indokold a választást.

6. feladat (D). Egy járművillamos diagnosztikai műhelyben az irányjelző izzói gyorsan villognak, mint amikor kiégett izzót érzékel a vezérlő. Milyen áramköri okokat és mérési lépéseket vizsgálnál? Fogalmazd meg a hibakeresési láncot.

14.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kitöltési tényező a bekapcsolási idő és a periódusidő hányadosa: $D = t_\text{be}/T$.
2. $T = 1/f = 1/200\,\text{Hz} = 5\,\text{ms}$, így $D = t_\text{be}/T = 2\,\text{ms}/5\,\text{ms} = 0{,}4 = 40\%$.
3. **Nincs igaza.** A differenciáló feltétel $\tau \ll T/2$. Ha $\tau \gg T/2$, akkor a tag integrálóként viselkedik.
4. A leírás szerint kondenzátor van a bemenettel sorban, ellenállás a kimenettel párhuzamosan, tehát differenciáló RC-tag. Négyszögjel bemenetre a kimeneten tüskeimpulzusok jelennek meg.
5. A hiszterézis $U_\text{h} = 3{,}3\,\text{V} - 2{,}9\,\text{V} = 0{,}4\,\text{V} = 400\,\text{mV}$. A hiszterézis megakadályozza, hogy a zaj és a lassú jelváltozás a küszöb közelében többször átbillentse a kimenetet.

1. feladat (A) megoldása. Az impulzus olyan villamos jel, amely rövid időre eltér az alapállapottól. A kitöltési tényező a bekapcsolási idő és a periódusidő hányadosa, százalékban is megadható. A PWM (impulzusszélesség-moduláció) olyan jel, amelynek frekvenciája állandó, kitöltési tényezője változtatható.

2. feladat (A) megoldása. $T = 250\,\text{ms} = 0{,}25\,\text{s}$, $t_{\text{be}} = 100\,\text{ms} = 0{,}1\,\text{s}$. A frekvencia $f = 1/T = 1/0{,}25 = 4\,\text{Hz}$. A kitöltési tényező $D = 0{,}1/0{,}25 = 0{,}4 = 40\%$.

3. feladat (B) megoldása. $\tau = RC = 100 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-6}\,\text{F} = 0{,}47\,\text{s}$. A félperiódus $T/2 = 1/(2 \cdot 50) = 10\,\text{ms} = 0{,}01\,\text{s}$. Mivel $\tau = 0{,}47\,\text{s} \gg 0{,}01\,\text{s}$, az integráló feltétel teljesül.

4. feladat (B) megoldása. A tranzisztoros astabil multivibrátor két tranzisztorból, két kondenzátorból és négy ellenállásból áll, a két tranzisztor kollektoráról vesszük le a kimenő jeleket. Az egyik tranzisztor kinyit, a másik lezár, majd a kondenzátorok töltésének és kisütésének hatására az állapot folyamatosan felcserélődik. Mivel nincs olyan állapot, amelyben a kapcsolás külső jel nélkül megmaradna, nincs stabil állapota. A frekvenciát az RC-tagok értékei határozzák meg.

5. feladat (C) megoldása. A zaj 120 mV csúcsértékű, ezért a hiszterézis legyen legalább ennek kétszerese, például 300 mV, hogy a zaj ne billentse meg a kimenetet. A jel amplitúdója 900 mV, ezért a felső küszöb legyen 600 mV, az alsó 300 mV. Így a felfutó jel 600 mV-nál bekapcsol, lefutó jel 300 mV-nál kikapcsol, a hiszterézis 300 mV elegendő a zajszűrésre, és a jel megbízhatóan átbillenti a komparátort.

6. feladat (D) megoldása. A tünet: gyors villogás. A lehetséges okok: kiégett izzó, rossz izzótípus, nagy átmeneti ellenállás a foglalatban, az izzófigyelő áramkör hibája, vagy a vezérlőegység hibája. Hibakeresési lánc: 1) ellenőrizzük az összes irányjelző izzó működését és teljesítményét; 2) megmérjük az izzófoglalat átmeneti ellenállását és a tápfeszültséget terhelés alatt; 3) megvizsgáljuk az irányjelzőkábel testpontjait és csatlakozóit; 4) rendszerteszterrel ellenőrizzük az izzófigyelő áramköröket és a hibakódokat; 5) szükség esetén oszcilloszkóppal ellenőrizzük a villogórelé kimenetét és a vezérlőegység PWM-jelét; 6) a megtalált hibát javítjuk (izzócsere, csatlakozó tisztítás), majd újrateszteljük a villogást, és a hibakódokat töröljük.

14.3.16. Rövid összefoglaló

Az impulzusok jellemzői az amplitúdó, a periódusidő, a frekvencia és a kitöltési tényező. A kitöltési tényező a bekapcsolási idő és a periódusidő hányadosa: $D = t_{\text{be}}/T$; a PWM-jel átlagos feszültsége $U_{\text{átlag}} = D \cdot U_{\text{max}}$. Az RC-tag differenciáló vagy integráló viselkedését a $\tau = RC$ időállandó és a jel félperiódusának aránya dönti el: $\tau \ll T/2$ esetén differenciáló, $\tau \gg T/2$ esetén integráló. A diódás vágóáramkörök a feszültségcsúcsokat korlátozzák. A billenőkapcsolások három típusa a bistabil (tároló), a monostabil (időzítő) és az astabil (oszcillátor, irányjelző villogó) multivibrátor. A Schmitt-trigger két küszöbfeszültséggel rendelkező hiszterézisű komparátor, amely a zajos, lassú jeleket tiszta négyszögjellé alakítja a motorvezérlő bemenetén. A hiszterézis $U_{\text{h}} = U_{\text{H}} - U_{\text{L}}$. **Továbbvitt eredmény:** Az impulzusjellemzők és a jelformáló áramkörök ismerete szükséges a digitális logikai áramkörök (Digitális alapok: számrendszerek, logikai függvények, hálózatok, regiszterek) és az oszcilloszkópos mérések (Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata) megértéséhez, mert a digitális jelek éppen ilyen kétállapotú impulzusokból állnak, és az oszcilloszkópos vizsgálatnál a hiszterézist és a jelformálást figyelembe kell venni.

14.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

- **Szakkönyvi alapok:** villamosságtan, elektronika alapjai, impulzustechnika, járművillamossági szakkönyveknek az RC-tagokra, diódás vágókra, multivibrátorokra és Schmitt-triggerre vonatkozó fejezetei. A fizikai, matematikai összefüggések ellenőrzött ismeretek.
- **Gyártói javítási adatok:** a konkrét járművek irányjelző-villogó frekvenciáit, izzófigyelési küszöbértékeit, PWM-vezérlési paramétereit és a motorvezérlő jelformáló bemeneteinek tényleges feszültségszintjeit mindig az adott jármű gyártói dokumentációjából kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)**.
- **Mérési határértékek:** a járművillamos diagnosztikában használt mérési tűrések, jelamplitúdók és frekvenciák típusfüggők, ezért a fejezetben szereplő számok tanulási szemléltetők **(ellenőrizendő: járműspecifikus értékek)**.

14.4. Digitális alapok: számrendszerek, logikai függvények, hálózatok, regiszterek

14.4.1. Motiváció

A diagnosztikai műszer élő adat nézete közben gyakran találkozol ilyen értékekkel: a motorfordulatszám `0x0FA0`, a hűtőfolyadék-hőmérséklet nyers regiszterértéke `0x4B`, a CAN-üzenet azonosítója `0x1A5`. A hibakódokat pedig `P0300` vagy `C1201` alakban látod. Ahhoz, hogy megértsd, mit „mond” a vezérlőegység, miért éppen 4000 1/min lesz a `0x0FA0` értékből, vagy miért gyanakszol szakadásra, ha a hőmérséklet-nyersérték `0xFF`, szükséged van a digitális technika alapjaira: számrendszerekre, logikai függvényekre és tároló áramkörökre. Ez az alfejezet ezt az alapot építi fel, hogy a későbbi motorirányítási és adatbuszos fejezetekben ne idegen nyelvként találkozz a kettes és tizenhatos számrendszerrel, amikor a munkahelyen hibakódot fejtesz vagy CAN-üzenetet elemezel.

14.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy 8 bites regisztert a vezérlőegységben: nyolc apró tárolócella egymás mellett, mindegyikben vagy `0`, vagy `1` áll. A cellák fölé írjuk a helyiértékeket jobbról balra: 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7. Ha a cellák tartalma `0000 1010`, az emberi szemnek nehézkes, de a vezérlő számára egyértelmű: a motorvezérlő egyetlen utasítással tudja összeadni, eltolni vagy egy memóriacímhez rendelni. A diagnosztikai műszer ezt az értéket rövidítve, `0x0A` alakban jeleníti meg. Ugyanez a gondolat vezet a logikai hálózatokig: a digitális áramkörök nem feszültségértékekkel, hanem `0` és `1` állapotokkal dolgoznak; a vezérlőegység bemenetei, kimenetei, belső regiszterei és kommunikációs üzenetei is ilyen állapotokra vezethetők vissza.

14.4.3. Analóg és digitális mennyiség, számrendszerek

Definíció. Analóg mennyiség olyan jel vagy fizikai mennyiség, amely adott tartományon belül folytonosan, elvileg tetszőleges közbenső értéket felvehet. Ilyen például a feszültség, a hőmérséklet, a nyomás vagy a fordulatszám mint fizikai folyamat.

Definíció. Digitális mennyiség olyan jel, amely csak véges számú, jól elkülönített értéket vehet fel. A járműelektronikában leggyakrabban két értéket használunk: `0` (logikai alacsony, low) és `1` (logikai magas, high). A kettős logikát **binárisnak** nevezzük.

Definíció. A **bit** (binary digit) a legkisebb információegység, értéke `0` vagy `1`. Nyolc bit alkot egy **bájtot** (byte), négy bit egy **nibble-t** („félbájt"). A vezérlőegységek gyakran 8, 16 vagy 32 bites szavakban dolgoznak; egy 8 bites regiszter értékkészlete $2^8 = 256$ különböző állapot, `0`-tól `255`-ig.

A hétköznapi életben a tízes (decimális) számrendszert használjuk: az alapszám 10, a helyiértékek $10^0, 10^1, 10^2, \ldots$. A digitális rendszerekben a kettes (bináris) számrendszer az alap: az alapszám 2, az egyes helyiértékek $2^0, 2^1, 2^2, \ldots$ Tehát például

$$1011_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{10}.$$

A hosszú bináris számok áttekinthetetlenek, ezért a járműdiagnosztikában és a programozásban gyakran **hexadecimális** (16-os alapú) számrendszert használunk. Az alapszám 16, a számjegyek: `0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F`, ahol `A = 10`, `B = 11`, …, `F = 15`. A járműdiagnosztikai eszközök gyakran `0x` előtaggal jelölik a hexadecimális értéket, például `0x2F`; a számjegyeket pedig úgy írjuk, hogy `2F_{16}`.

Szabály. Binárisból hexadecimálisra úgy váltunk, hogy a bináris számot jobbról indulva négyes csoportokra osztjuk, és minden csoportot egyetlen hexadecimális számjeggyé alakítunk. Hiányzó bal oldali bitek helyére `0`-t írunk.

Szabály. Decimálisból binárisba úgy váltunk, hogy a decimális számot ismételten kettővel osztjuk, a maradékokat feljegyezzük, majd a maradékokat az utolsótól az elsőig olvassuk. Decimálisból hexadecimálisba hasonlóan, 16-tal osztva járunk el.

Az alábbi táblázat a leggyakrabban használt 0–15 közötti értékeket mutatja.

Decimális	Hexadecimális	Bináris
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Az értékek bináris és hexadecimális megfeleltetése matematikailag egyértelmű; ez nem igényel ellenőrzést.

Példa. Alakítsuk át a 234_{10} értéket binárisba és hexadecimálisba.

1. lépés – decimálisból binárisba osztással. A 234-et osztjuk 2-vel, és feljegyezzük a maradékokat:

$$234 : 2 = 117, \quad \text{maradék } 0;$$
$$117 : 2 = 58, \quad \text{maradék } 1;$$
$$58 : 2 = 29, \quad \text{maradék } 0;$$
$$29 : 2 = 14, \quad \text{maradék } 1;$$
$$14 : 2 = 7, \quad \text{maradék } 0;$$
$$7 : 2 = 3, \quad \text{maradék } 1;$$
$$3 : 2 = 1, \quad \text{maradék } 1;$$
$$1 : 2 = 0, \quad \text{maradék } 1.$$

A maradékokat alulról felfelé olvasva:

$$234_{10} = 1110\,1010_2.$$

2. lépés – binárisból hexadecimálisba. A bináris számot jobbról négyes csoportokra bontjuk:

$$1110\,1010_2 \Rightarrow 1110_2 = E_{16}, \quad 1010_2 = A_{16}.$$

Tehát

$$234_{10} = EA_{16} = 0\text{x}EA.$$

Ellenőrzésként: $E_{16} = 14$, $A_{16} = 10$, így

$$14 \cdot 16^1 + 10 \cdot 16^0 = 224 + 10 = 234. \quad \blacksquare$$

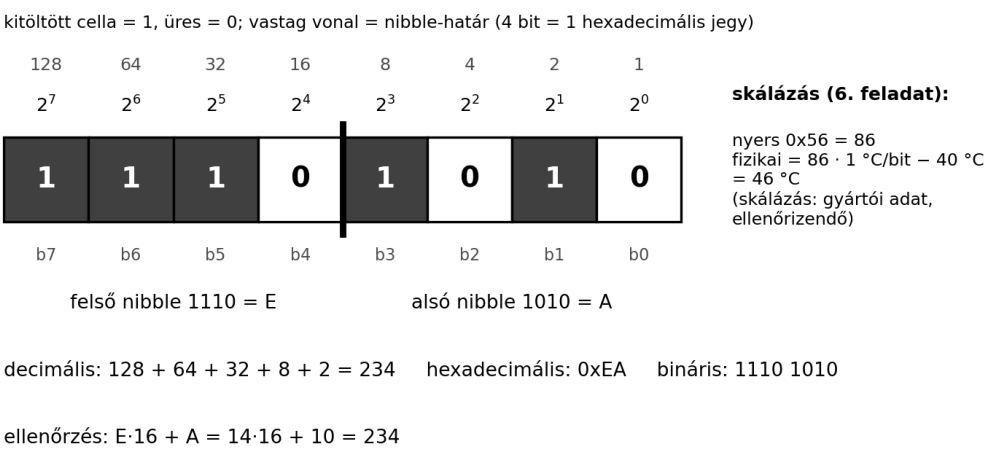
Példa. Alakítsuk át a $2F_{16}$ értéket decimálisba, majd binárisba.

$$2F_{16} = 2 \cdot 16^1 + 15 \cdot 16^0 = 32 + 15 = 47_{10}.$$

A 2 hexadecimális jegy binárisan `0010`, az F pedig `1111`, ezért

$$2F_{16} = 0010\,1111_2 = 101111_2.$$

A binárisból történő visszaellenőrzés: $101111_2 = 32 + 0 + 8 + 4 + 2 + 1 = 47$. A két eredmény egyezik.



14.8. ábra. 8 bites regiszter a $234 = 0\text{x}EA = 1110\,1010_2$ példával, helyiértékekkel és nibble-határral

Az ábrán a kitöltött cellák az 1-es bitek: a helyiértékek összege $128 + 64 + 32 + 8 + 2 = 234$. A vastag vonal a nibble-határ: a felső négy bit $1110 = E$, az alsó négy $1010 = A$, így az érték $0\text{x}EA$. Az interaktív változatban a bitekre kattintva vagy értéket beírva gyakorolható az átváltás, és a nyers érték skálázása is kipróbálható (a 6. feladat adataival $0\text{x}56 = 86 \to 86 \cdot 1 - 40 = 46\,^\circ\text{C}$).

14.4.4. Logikai függvények és Boole-algebra

Definíció. Logikai függvény olyan leképezés, amelynek bemenetei és kimenete is logikai értékeket, `0`-t vagy `1`-t vehetnek fel. Például $Y = f(A, B, C)$ azt jelenti, hogy az Y kimenet a A, B, C bemenetek minden kombinációjához hozzárendeli a `0` vagy `1` értéket.

A három alapművelet:

- **ÉS (AND):** $Y = A \cdot B$. A kimenet csak akkor `1`, ha minden bemenet `1`.
- **VAGY (OR):** $Y = A + B$. A kimenet `1`, ha legalább egy bemenet `1`.
- **NEM (NOT):** $Y = \overline{A}$. A kimenet a bemenet ellentettje.

Ezekből épül fel a **NAND** ($Y = \overline{A \cdot B}$), a **NOR** ($Y = \overline{A + B}$), a **kizáró VAGY (XOR, exclusive OR)** és a **XNOR**. Az XOR akkor `1`, ha a két bemenet különböző:

$$Y = A \oplus B = \overline{A}B + A\overline{B}.$$

Az alapkapuk igazságtáblája:

A	B	AND ($A \cdot B$)	OR ($A + B$)	XOR	NAND
0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	0	0

A logikai függvények egyszerűsítéséhez a Boole-algebra szabályait használjuk. A legfontosabb azonosságok:

$$\begin{aligned} A + 0 = A, \quad & A \cdot 1 = A, \\ A + 1 = 1, \quad & A \cdot 0 = 0, \\ A + \overline{A} = 1, \quad & A \cdot \overline{A} = 0, \\ A + A = A, \quad & A \cdot A = A, \\ A + AB = A, \quad & A(A + B) = A, \\ \overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}, \quad & \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}. \end{aligned}$$

Az utolsó két azonosságot De Morgan-törvényeknek nevezzük. A gyakorlatban a legegyszerűbb egyszerűsítési módszer a **szorzatösszeg-alak** (sum of products, SOP) felírása, majd a közös tényezők kiemelése. Ha a függvény bonyolult, **Karnaugh-táblát** használunk.

Példa. Legyen

$$Y = \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}BC + AB\overline{C} + ABC.$$

Kiemeljük $\overline{A}B$-t az első két tagból, illetve AB-t az utolsó kettőből:

$$Y = \overline{A}B(\overline{C} + C) + AB(\overline{C} + C).$$

Mivel $\overline{C} + C = 1$ és bármely logikai kifejezés szorozva 1-gyel önmaga,

$$Y = \overline{A}B + AB = B(\overline{A} + A) = B \cdot 1 = B.$$

A négytagú kifejezés tehát egyetlen bemenetre redukálódott. A Karnaugh-tábla ugyanezt grafikusan mutatja: ha az összes olyan cella, ahol $B = 1$, 1-es értéket tartalmaz, a függvény $Y = B$.

A Karnaugh-tábla lényege röviden: a bemeneti változókat úgy rendezzük el a táblázat sor- és oszlopcímeiben, hogy a szomszédos cellák mindig csak egyetlen változóban különbözzenek. A táblában kettes, négyes, nyolcas stb. élével érintkező `1`-es csoportokat keresünk, és minden csoportból elhagyhatjuk azt a változót, amely a csoporton belül `0` és `1` értéket is felvesz. A járműdiagnosztikában ritkán kell papíron Karnaugh-táblát rajzolnod, de a módszer logikáját érdemes ismerned, mert a vezérlőegységek belső feltételrendszerei ugyanígy egyszerűsödnek.

14.4.5. Kombinációs és szekvenciális hálózatok

Definíció. Kombinációs hálózat olyan logikai áramkör, amelynek kimenete csak a bemenetek aktuális értékétől függ. Nincs benne tárolóelem; ha a bemenet megváltozik, a kimenet a kapuk késleltetése után követi a változást.

A kombinációs hálózatok fontos autóipari példái:

- **Multiplexer (adatválasztó):** n vezérlőbemenettel 2^n adatbemenet közül választ egyet, és azt vezeti a kimenetre. Például egy 2 bites vezérlővel kiválaszthatjuk, hogy a négy bemeneti jel közül melyik jusson a mikrovezérlő egyetlen analóg bemenetére. Ezzel bekötéseket és vezérlőegység-lábakat lehet megtakarítani.
- **Demultiplexer:** egy bemenő jelet oszt szét több kimenetre a vezérlőbemenetek szerint. A mikrovezérlő így ugyanarról a lábról vezérelheti több teljesítményfokozat engedélyezését.
- **Aritmetikai áramkörök:** félösszeadó, teljes összeadó, kivonó és összehasonlító áramkörök. Egy **félösszeadó** két bitet ad össze:

$$S = A \oplus B, \qquad C_{\text{ki}} = A \cdot B.$$

A S az összeg, a C_{ki} az átvitel. Teljes összeadó már a bejövő átvitelt is figyelembe veszi, és ezekből építhető fel a mikrovezérlő aritmetikai-logikai egysége (ALU).

Definíció. Szekvenciális hálózat olyan logikai áramkör, amelynek kimenete nemcsak a bemenetek aktuális értékétől, hanem a korábbi állapotoktól is függ. Ehhez tárolóelemeket, leggyakrabban **flip-flopokat** használ. A szekvenciális hálózatok képesek állapotot megjegyezni.

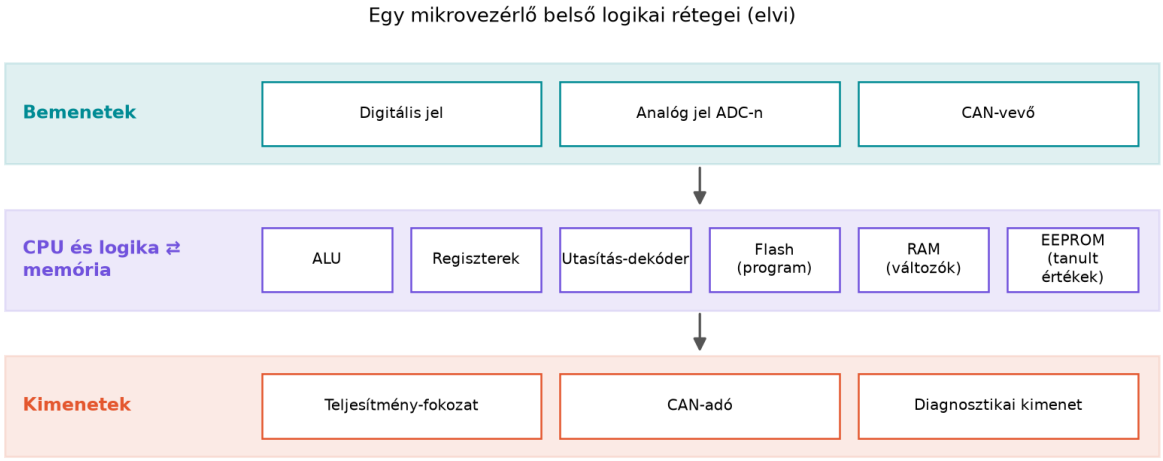
A járműelektronikában a legfontosabb szekvenciális elemek:

- **Regiszter:** több flip-flopból álló tároló, amely egy meghatározott órajel ütemére eltárolja az adatbiteket. Például egy 8 bites regiszter egy bájtot tárol. Ha a regiszter tartalmát órajelenként jobbra vagy balra léptetjük, **shift regisztert** kapunk; ez soros adatbevitelre és -kivitelre alkalmas.
- **Számláló:** olyan regiszter, amelynek tartalma minden órajelre meghatározott sorrend szerint nő vagy csökken. Egy 3 bites bináris számláló így számol: `000`, `001`, `010`, `011`, `100`, `101`, `110`, `111`, majd újraindul. A számláló frekvenciaosztásra, időzítésre és eseményszámlálásra is alkalmas.
- **Állapotgép:** a vezérlőegységek működési logikája gyakran állapotgép, amely bizonyos bemenetek hatására egyik belső állapotból a másikba lép. Például az indításgátló, az alapjárat-szabályozó vagy az automata váltó kapcsolási logikája ilyen módon írható le.

A soros adatátvitelben, például a CAN- vagy LIN-üzeneteknél, a bitek időben egymás után érkeznek. A vevő egy shift regiszterben gyűjti a biteket, majd amikor a teljes üzenet összeállt, a tartalmat egy párhuzamos regiszterbe másolja. Ez a soros-párhuzamos átalakítás a digitális járműhálózatok egyik alapművelete.

14.4.6. A mikrovezérlő mint programozható logika

A mai motorvezérlő (ECU) lényegében egy beágyazott mikrovezérlő, amely kombinációs logikát, regisztereket, számlálókat, időzítőket, memóriát és analóg-digitális átalakítókat (ADC) tartalmaz. A mikrovezérlő nem rögzített kapukból, hanem programozható logikai egységekből épül, így ugyanaz a hardver különböző szoftverekkel más-más járműtípus feladatát is elláthatja.



14.9. ábra. Egy mikrovezérlő belső logikai rétegei (elvi) - Szemléltető vázlat; a jel útja Bemenetek → CPU → Kimenetek, a memóriát (program, változók, tanult értékek) a CPU olvassa és írja, a jel nem a memórián át jut a kimenetre. A tényleges ECU-felépítés típusonként eltér.

A rétegábra azt mutatja, hogy a bemeneti jelek az ADC-n vagy a digitális bemeneteken keresztül jutnak a CPU-ba, ahol az ALU aritmetikai és logikai műveleteket végez, a regiszterek átmeneti adatokat tárolnak, a flash memória a programot, a RAM a változókat, az EEPROM pedig a tanult értékeket és hibakódokat őrzi. A kimeneti fokozatok ezután a beavatkozókat, például injektorokat, gyújtótekercset vagy CAN-adót vezérlik.

Ez a felépítés azért fontos, mert a későbbi motorirányítási alfejezetben már adottnak vesszük, hogy az ECU „elolvassa” a fordulatszám-jeladót, regiszterben tárolja a motorhőmérsékletet, és logikai feltételekkel dönt például arról, hogy az alapjárat-szabályozó melyik állásba lépjen. A bináris és hexadecimális ábrázolást pedig közvetlenül használjuk majd a(z) A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek és az Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet alfejezetben.

Továbbvitt eredmény. A bináris, decimális és hexadecimális átváltás, a bit/bájt fogalom, valamint a regiszterben tárolt adatok olvasása és léptetése szükséges a motorvezérlő belső működésének (A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek) és a CAN/LIN-üzenetek értelmezésének (Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet) megértéséhez. Aki itt megtanulja, hogy `0x0F` = 15, `0x10` = 16, `0xFF` = 255, az a diagnosztikai műszer nyers adatainál már pontosan tudja, milyen tartományba esik a mért érték.

14.4.7. Minőségellenőrzés

A számrendszeres átváltásokat mindig ellenőrizzük vissza egy másik irányból. Ha például `0x3C`-t decimálissá alakítunk, $3 \cdot 16 + 12 = 60$. A bináris érték `0011 1100`, amiből a helyiértékekkel számolva szintén $32 + 16 + 8 + 4 = 60$ adódik. Ha a két út nem egyezik, hibát vétettünk a csoportosításban vagy a helyiértékekben.

A logikai egyszerűsítést úgy ellenőrizzük, hogy az eredeti kifejezést és az egyszerűsített kifejezést minden bemeneti kombinációra kiértékeljük. Például az előző $Y = B$ egyszerűsítésnél $B = 0$ esetén az eredeti kifejezés minden tagja `0`, $B = 1$ esetén pedig minden lehetséges A és C kombinációra az egyik tag `1`-et ad. Ha bármelyik sor eltér, az egyszerűsítés hibás.

Az ECU-ban tárolt nyers regiszterértékek minőségét is ellenőrizni kell. A gyártói diagnosztikai adat megadja, hogy egy adott jel hány bites, milyen skálázású, és van-e hozzá hibahatár. A mért nyersértéket ezzel összevetve dönthető el, hogy az érték életszerű-e, vagy jeladóhibára, szakadásra, rövidzárlatra utal. Az ilyen értékek mindig tanulási példák, a konkrét járműhöz a gyártói javítási adat az irányadó.

14.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azzal hozza a járművét, hogy a hűtőfolyadék-hőmérséklet-mutató időnként a maximumra ugrik, majd visszaáll, és a motorellenőrző lámpa is kigyulladt. A szerelő csatlakoztatja a diagnosztikai műszert, és kiolvassa az élő adatokat. A hűtőfolyadék-hőmérséklet nyers regiszterértéke a műszeren `0xFF`-ként jelenik meg.

A szerelő tudja, hogy az adott vezérlő 8 bites regiszterben tárolja az érzékelő értékét, és a példaként vett skálázás szerint 1 bit = 1 °C, az érték pedig -40 °C eltolással értendő **(ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai adat)**. Kiszámolja:

$$0\mathrm{x}FF = 255_{10},$$

$$\text{hőmérséklet} = 255 - 40 = 215\,^{\circ}\mathrm{C}.$$

Ez fizikailag irreális hűtőfolyadék-hőmérséklet (a `0xFF` a 8 bites tartomány teteje), ezért az érték nem valós mérést, hanem hibát jelez: a vezérlő az ilyen tartományon kívüli értéket hibajelként kezeli. A hibát az érzékelőkör zárlata vagy szakadása okozhatja, ezért a gyártói hibakód és az érzékelő ellenállásának mérése dönt (ellenőrizendő: gyártói adat). A szerelő ellenőrzi a hőmérséklet-érzékelő csatlakozóját, ahol oxidációt talál. A csatlakozó tisztítása és a hiba törlése után a nyersérték visszaáll `0x7D`-re, ami $125 - 40 = 85\,^{\circ}$C-ot mutat, és üzemmeleg motornál reális. A tanulság: a nyers digitális értékekből azonnal látható, ha a jel a mérési tartomány szélére ragadt. (A nyers kód és a skálázott hőmérséklet két külön mennyiség: a szenzor az NTC-termisztor feszültségét méri, amely nem lineáris a hőmérséklettel, a vezérlő pedig ebből számítja a regiszterbe kerülő, skálázott értéket.)

14.4.9. Tipikus hibák

1. A hexadecimális számot decimálisnak nézik. A `0x10` nem 10, hanem $1 \cdot 16 = 16$. A műszerfalon vagy a CAN-naplóban szereplő `0x10` tehát nem azt jelenti, hogy a készülék tízes értéket mért. Ezt a hibát legkönnyebben úgy kerülheted el, hogy a `0x` előtagot mindig „hexadecimális” figyelmeztetésként olvasod.

2. A bit súlyozását balról kezdik. A 1001_2 értéket néha $1+0+0+1 = 2$-nek számolják, ami hibás. A helyiértékek jobbról balra nőnek: $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 1 = 9$. A hiba gyakran abból adódik, hogy a számot szövegként, nem helyiérték-rendszerként kezelik.

3. A Karnaugh-csoportosításnál nem szomszédos cellákat vonnak össze. Csak olyan cellák vonhatók össze, amelyek élével érintkeznek, vagy a tábla szélei a ciklikus elrendezés miatt összeérnek. Ha nem szomszédos cellákat foglalnak csoportba, az egyszerűsített kifejezés hibás lesz.

4. A logikai állapotot összekeverik a feszültségszinttel. A digitális `0` és `1` nem feltétlenül 0 V és 12 V. A vezérlőegységekben jellemzően 5 V, 3,3 V vagy más logikai szintek vannak. A

gyakorlatban mindig a gyártói kapcsolási rajz és a javítási útmutató adja meg, milyen feszültség tartozik az adott logikai szinthez.

14.4.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy `0x1A` decimális értéke 26? Indokold.
2. Mennyi a `200` decimális érték hexadecimálisan? Számítsd ki.
3. Valaki azt állítja, hogy $Y = \overline{A}B + AB$ egyszerűsítése A. Mi a hiba?
4. Igaz-e, hogy a NAND kapu kimenete akkor `1`, ha mindkét bemenete `1`?
5. Milyen hálózat a multiplexer: kombinációs vagy szekvenciális? Indokold.
6. Miért lehet gyanús, ha egy 8 bites hőmérséklet-nyersérték `0xFF`, ha a skála 1 bit = 1 °C, az eltolás pedig -40 °C?

14.4.11. Feladatok

1. feladat (A) Alakítsd át a 101_{10} értéket bináris és hexadecimális számrendszerbe. Ellenőrizd is az eredményt.

2. feladat (A) Írd fel a NAND kapu igazságtábláját, és fejezd ki a függvényt A és B logikai változókkal.

3. feladat (B) Tervezz olyan 3 bemenetű logikai függvényt, amelynek kimenete akkor `1`, ha a bemenetek közül legalább kettő `1` (többségi döntés). Írd fel a szorzatösszeg-alakot, és egyszerűsítsd Boole-algebrai lépésekkel.

4. feladat (B) Rajzold fel egy félösszeadó kapcsolási vázlatát `XOR` és `AND` kapukból, és írd fel az igazságtábláját. Milyen autóipari feladatnál hasznos az ilyen aritmetikai logika?

5. feladat (C) Hasonlítsd össze a multiplexer és a demultiplexer feladatát. Hol használhatná egy ECU a multiplexert a bemeneti jelek számának csökkentésére? Gondolj például több kapcsoló vagy több hőmérsékletjel egyetlen vezérlőegység-lábra való bekötésére.

6. feladat (D) A diagnosztikai műszer a hűtőfolyadék-hőmérséklet 8 bites nyers regiszterében `0x56` értéket mutat. A gyártói skálázás példaként: 1 bit = 1 °C, eltolás -40 °C **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. Számítsd ki a hőmérsékletet. Miért gyanús, ha a nyersérték `0xFF`?

14.4.12. Megoldások

14.4.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. $1 \cdot 16^1 + 10 \cdot 16^0 = 16 + 10 = 26$.
2. $200 : 16 = 12$, maradék 8, tehát `C8`. Ellenőrzés: $12 \cdot 16 + 8 = 200$.
3. A hiba az, hogy az egyszerűsítés nem A, hanem B: $\overline{A}B + AB = B(\overline{A} + A) = B$.
4. Hamis. A NAND kapu kimenete ilyenkor éppen `0`, mert az ÉS kimenetének negáltját adja.
5. Kombinációs, mert nincs tárolóeleme; a kimenete csak az aktuális bemenetektől és a vezérlőbemenetektől függ.
6. Mert `0xFF` = 255, az átszámítva $255 - 40 = 215\,^{\circ}\text{C}$ lenne, ami hűtőfolyadék esetén irreális. Az ilyen szélső érték általában szakadásra vagy rövidzárlatra utal.

14.4.12.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A) A 101-et osztjuk 2-vel:

$$\begin{aligned} 101 : 2 &= 50, \quad \text{maradék } 1; \\ 50 : 2 &= 25, \quad \text{maradék } 0; \\ 25 : 2 &= 12, \quad \text{maradék } 1; \\ 12 : 2 &= 6, \quad \text{maradék } 0; \\ 6 : 2 &= 3, \quad \text{maradék } 0; \\ 3 : 2 &= 1, \quad \text{maradék } 1; \\ 1 : 2 &= 0, \quad \text{maradék } 1. \end{aligned}$$

A maradékokat visszafelé olvasva: `110 0101`. Hexadecimálisan négyes csoportokban: `0110 0101` = `65`. Ellenőrzés: $6 \cdot 16 + 5 = 96 + 5 = 101$.

2. feladat (A) A NAND kapu igazságtáblája:

A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A függvény: $Y = \overline{A \cdot B}$.

3. feladat (B) A háromból legalább kettő szabály miatt a kimenet `1`, ha A és B, vagy A és C, vagy B és C egyidejűleg `1`. A szorzatösszeg-alak:

$$Y = ABC + AB\overline{C} + A\overline{B}C + \overline{A}BC.$$

Egyszerűsítés:

$$Y = AB(C + \overline{C}) + AC(B + \overline{B}) + BC(A + \overline{A}).$$

Mivel mindegyik zárójeles összeg `1`,

$$Y = AB + AC + BC.$$

Ellenőrzésként: ha $A = 1$, $B = 1$, $C = 0$, akkor $AB = 1$, tehát a kimenet `1`, és az eredeti tagok közül $AB\overline{C}$ szintén `1`. A többi bemeneti kombinációra is egyezik.

4. feladat (B) A félösszeadó vázlata: az A és B bemenet egyaránt egy XOR kapura és egy AND kapura megy. Az XOR kimenete az összeg, $S = A \oplus B$; az AND kimenete az átvitel, $C_{\text{ki}} = A \cdot B$. Igazságtáblája:

A	B	S	C_ki
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Az autóiparban az ilyen aritmetikai logika az ECU ALU-jában fut, amikor összeadja a befecskendezési idő korrekcióit, vagy számolja a kerékfordulatszám-jeladó impulzusainak futó összegét.

5. feladat (C) A multiplexer sok bemenő jelből választ egyet, és azt vezeti a kimenetre; a demultiplexer egyetlen bemenő jelet oszt szét több kimenetre. Egy ECU például több kapcsoló állapotát egyetlen többbemenetű multiplexerre kötheti. A mikrovezérlő a vezérlőbemenetekkel végigméri a kapcsolókat, így kevesebb bemeneti lábat használ. Ez egyszerűbb bekötést és kevesebb vezetéket eredményez.

6. feladat (D) A `0x56` hexadecimális érték decimálisan:

$$5 \cdot 16 + 6 = 80 + 6 = 86.$$

A hőmérséklet:

$$86 - 40 = 46\,^{\circ}\mathrm{C}.$$

Ha a nyersérték `0xFF` $= 255$ lenne, akkor a hőmérséklet $255 - 40 = 215\,^{\circ}\mathrm{C}$ lenne, ami fizikailag lehetetlen hűtőfolyadéknál. Ez szakadásra vagy rövidzárlatra utal, ezért a műszeres mérést az érzékelő csatlakozóján és bekötésén kell folytatni.

14.4.13. Rövid összefoglaló

A digitális rendszerekben az analóg, folytonos jeleket véges állapotú, bináris értékekkel ábrázoljuk. A bit a legkisebb információegység, nyolc bit egy bájt. A bináris, decimális és hexadecimális számrendszer között helyiértékekkel váltunk; binárisból hexadecimálisra jobbról négyes csoportokra bontva, decimálisból binárisba ismételt osztással. A logikai függvények a `0` és `1` értékeken működnek; az ÉS, VAGY, NEM, NAND, XOR műveletek segítségével egyszerűsíthetők, például $\overline{A}B + A\overline{B} = B$. A kombinációs hálózatok csak az aktuális bemenetektől függenek, a szekvenciális hálózatok tárolóelemekkel rendelkeznek. A regiszterek, shift regiszterek és számlálók a vezérlőegységek belső adatkezelésének alapjai. A mikrovezérlő programozható logikája fogadja a digitális és analóg jeleket, regiszterekben tárolja az értékeket, és a beavatkozókat vezérli. **Továbbvitt eredmény:** a bináris és hexadecimális ábrázolás, valamint a regiszterfogalom közvetlenül szükséges a motorirányítás és az adatbusz-hálózatok tárgyalásához, mert ott a CAN-üzenetek és a diagnosztikai nyersértékek ugyanilyen formában jelennek meg.

14.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

A számrendszerek, a Boole-algebra, a kapuk és a regiszterek leírása a digitális elektronika stabil tankönyvi alapanyaga, nem igényel külön forrásellenőrzést. A járműipari diagnosztikai gyakorlatban használt konkrét skálázások, nyersérték-tartományok és OBD- vagy CAN-jellemzők gyártói, illetve szabványos adatok, ezért ellenőrizendők. A szövegben használt hőmérséklet-skálázás (`1 bit = 1 °C`, eltolás `-40 °C`) tanulási példa, a tényleges értéket a gyártói diagnosztikai adat határozza meg. Az OBD-hibakódok és a CAN-azonosítók részletes rendszerét a későbbi, fedélzeti diagnosztikát és adatbusz-hálózatokat tárgyaló alfejezetek mutatják be; az ott megadott szabvány- és előírásszámok a kiadás előtt ellenőrizendők.

15 Villamos mérések

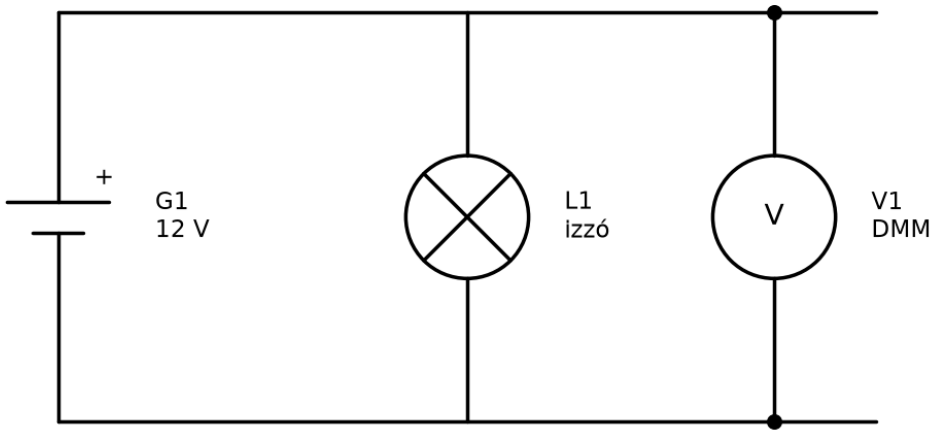
15.1. Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó

15.1.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy autó hidegindításkor nagyon lassan forgatja a motort. A feszültségmérővel mért akkumulátorfeszültség üres állapotban 12,4 V – ez önmagában még „elfogadhatónak” tűnhet. A tapasztalt szerelő azonban nemcsak feszültséget mér, hanem a lakatfogóval indítás közbeni áramot és a feszültségesést is ellenőrzi. A mérés csak akkor ad használható diagnózist, ha tudod, milyen műszert válassz, milyen méréshatáron, mekkora hibával mértél, és hogyan csatlakoztasd a műszert a jármű áramköréhez. Ebből az alfejezetből a méréstechnikai alapokat, a digitális multiméter és a DC-lakatfogó biztonságos használatát tanulod meg.

15.1.2. Szemléletes kép

Rajzoljuk meg azt a legalapvetőbb járművillamossági mérési helyzetet: feszültséget mérünk digitális multiméterrel egy fogyasztón, például egy izzón, az akkumulátor feszültségén.



15.1. ábra. Feszültségmérés digitális multiméterrel (párhuzamos bekötés) - A voltmérő belső ellenállása nagy, ezért párhuzamosan kötjük a mérendő fogyasztóval. A kapcsolási rajz tanulási szemléltetés, az értékek tájékoztató jellegűek.

A rajzon a feszültségmérő párhuzamosan kapcsolódik a mérendő fogyasztóval: a műszer „fent” a plusz ágra, „lent” a testre csatlakozik. Ez az ábrázolás rögtön megmutatja a feszültségmérés alapszabályát: feszültséget mindig két pont **között** mérünk, ezért a voltmérőt a mérendő szakasszal párhuzamosan kötjük be.

15.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **mérés** olyan megfigyelési tevékenység, amelynek során egy fizikai mennyiség értékét összehasonlítjuk egy ismert mértékegységgel, és az eredményt számértékkel, mértékegységgel, valamint mérési bizonytalansággal adjuk meg.

Definíció. A **mérőműszer** a mérés céljára kialakított eszköz vagy rendszer. Járműjavítási gyakorlatban leggyakrabban **analóg mutatós** vagy **digitális** műszereket használunk. A digitális multiméter (DMM – digital multimeter) feszültséget, áramot, ellenállást és gyakran más jellemzőket is mér, az eredményt számkijelzőn mutatja.

Definíció. A **mérési hiba** a mért érték és a valós (helyes) érték különbsége:

$$\Delta x = x_{\mathrm{m}} - x_{\mathrm{valós}}$$

ahol x_{m} a mért érték, $x_{\mathrm{valós}}$ a valós érték. A hibát a mért értéktől és a valós értéktől függően abszolút vagy relatív formában szokás megadni.

Definíció. Az **abszolút hiba** maga a különbség, a mért mennyiséggel azonos mértékegységben. A **relatív hiba** az abszolút hiba és a valós érték hányadosa, általában százalékban:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_{\text{valós}}} \cdot 100\,\%$$

A műszerek pontossági adatai gyakran nem egyetlen számot, hanem hibahatárt adnak meg: a valódi érték a mért érték körüli, megadott intervallumban van.

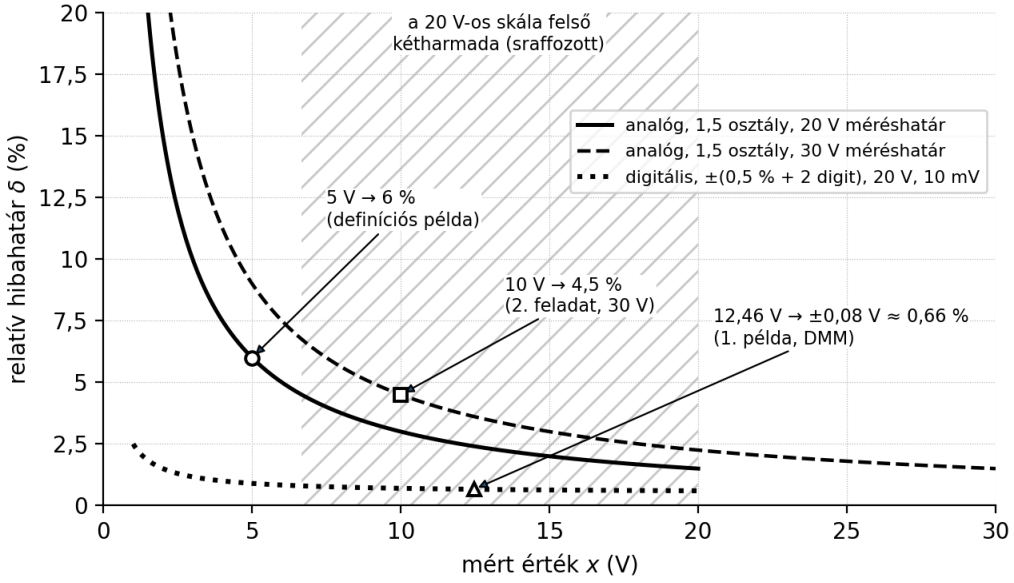
Összefüggés. Az analóg mutatós műszerek **pontossági osztálya** k azt mutatja, hogy a megengedett legnagyobb abszolút hiba a méréshatár végértékének hány százaléka:

$$\Delta x_{\max} = \pm\frac{k}{100} \cdot M_{\text{vég}}$$

ahol $M_{\text{vég}}$ a méréshatár végértéke. Például egy 1,5 pontossági osztályú, 20 V végértékű feszültségmérő abszolút hibahatára:

$$\Delta U_{\max} = \pm\frac{1{,}5}{100} \cdot 20\,\text{V} = \pm 0{,}3\,\text{V}$$

Ha ezzel 5 V-ot mérünk, a relatív hibahatár $\frac{0{,}3}{5} \cdot 100 = 6\,\%$. Ebből is látszik, hogy a méréshatárt úgy kell választani, hogy a mért érték a műszer felső tartományába essen, mert a pontosság a méréshatár végértékéhez van kötve.



15.2. ábra. Relatív hibahatár a mért érték függvényében: analóg műszer 20 és 30 V-os méréshatáron és digitális multiméter

Az ábra a fejezet három számpéldáját mutatja: az 1,5 osztályú, 20 V-os analóg műszer 5 V-nál 6 %-os, a 30 V-os méréshatáron 10 V-nál 4,5 %-os relatív hibahatárt ad, a ±(0,5 % + 2 digit) pontosságú multiméter 12,46 V-nál ±0,08 V-ot (kb. 0,66 %). A HTML-kiadás kalkulátorában a pontossági osztály, a méréshatár, a digitális hibaadat és a mért érték állítható; a kijelzés az abszolút és relatív hibahatárt, valamint a valós érték tartományát (pl. 12,38–12,54 V) adja.

Definíció. A **felbontás** a digitális műszer által megjelenített legkisebb értékkülönbség, amelyet a kijelző még elkülönít. Például egy 2000 count (3½ számjegyű) kijelző a 20 V-os méréshatáron 10 mV-os felbontást adhat. A **méréshatár** az a legnagyobb bemeneti érték, amelyet az adott tartományon a műszer még mérni képes.

Definíció. A **műszer belső ellenállása** az a bemeneti ellenállás, amelyet a mérőműszer a mérendő áramkör felé mutat. Feszültségmérésnél a digitális multiméter belső ellenállása jellemzően 10 MΩ, ami azt jelenti, hogy a műszer csak nagyon kis áramot vesz fel, és általában nem terheli számottevően a mérendő áramkört. Áramméréskor a műszer bemeneti ellenállása a beépített sönt miatt nagyon kicsi, hogy a mért áramkör feszültségesését alig növelje.

Definíció. A **DC-lakatfogó** olyan árammérő, amely az áram mágneses terét érzékeli, így az áramköri vezeték megszakítása nélkül méri az egyenáramot (DC). A készülék pofái a vezeték köré záródnak.

15.1.4. Felépítés és működés

A mérőműszerek felépítése az analóg és digitális eszközöknél eltérő, de a mérési cél közös: a bemeneti jelet olyan formára alakítani, amelyet a kijelző megjeleníthet.

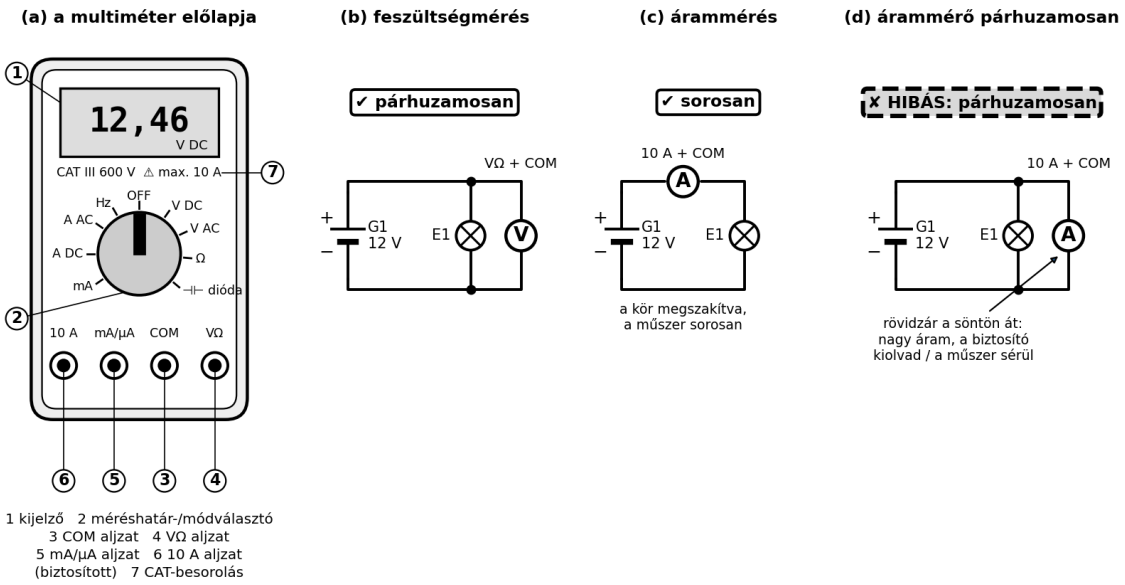
- Az **analóg** mutatós műszer általában lengőcsévés rendszerű (Deprez-műszer). Az áram a lengőcsévén halad át, a cséve mágneses térben elfordul, a mutató kitér. A skálán olvassuk le az értéket. Feszültségmérőként nagy értékű előtétellenállást, árammérőként kis értékű söntöt kapcsolnak a műszerhez.
- A **digitális** multiméter a bemenő jelet feszültségosztóval vagy sönttel a belső analóg-digitális átalakító (A/D) tartományára hozza, digitalizálja, és a kijelzőre írja. A korszerű kézi DMM-ek **auto-ranging** funkcióval maguk választják a méréshatárt, de van kézi méréshatár-választás is.

A digitális multimétereken általában a következő mérési módok találhatók:

Üzemmód	Mérendő mennyiség	Bekötés	Jellemző adat (példa)
V DC	egyenfeszültség	párhuzamosan	bemeneti ellenállás ~10 MΩ
V AC	váltakozó feszültség	párhuzamosan	True RMS vagy átlagérték
A DC	egyenáram	sorosan	belső sönt, pl. 200 mV esés
A AC	váltakozó áram	sorosan	
Ω	ellenállás	áramtalan áramkörben	feszültségmentes áramkörben
dióda/continuity	dióda nyitófeszültség, folytonosság	alkatrészen	áramtalan áramkörben

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a konkrét gyártói kézikönyvben).

A feszültségmérőt tehát párhuzamosan, az árammérőt sorosan kell bekötni. Az árammérő söntje miatt a bemeneti ellenállás kicsi, ezért ha véletlenül párhuzamosan kötöd, a műszer belső biztosítéka kiolvadhat, és a mért áramkör rövidzárlatot kaphat.



15.3. ábra. A multiméter előlapja és bekötése: feszültségmérés párhuzamosan, árammérés sorosan (helyes), árammérő párhuzamosan (hibás)

Az (a) rajzrész számozása: 1 kijelző, 2 méréshatár-/módválasztó, 3 COM aljzat, 4 VΩ aljzat, 5 mA/µA aljzat, 6 biztosított 10 A-es aljzat, 7 CAT-besorolás. A (d) rajzrész a leggyakoribb, a műszer biztosítóját kiolvasztó hibát mutatja: a 10 A-es aljzatba dugott zsinórral párhuzamosan mérni rövidzár a söntön át. A HTML-kiadásban a mód, az aljzat és a bekötés választható, és a szimuláció jelzi, helyes-e a mérés.

DC-lakatfogó. A DC-lakatfogó a vezetőben folyó áram által keltett mágneses teret méri. A leggyakoribb kivitel Hall-érzékelőt használ a pofák között: a mágneses térrel arányos Hall-feszültséget dolgozza fel, és áramértékké alakítja. A pofák kinyithatók, így a műszert a mérendő vezeték köré kell zárni, anélkül, hogy a csatlakozót megbontanád. A nagyobb áramokat, például az indítómotor áramát így gyorsan meg lehet mérni.

A DC-lakatfogó nulla beállítást igényel: amikor a pofák üresek, a kijelzőn nullát kell mutatnia. A méréskor csak **egyetlen** vezetéket szabad átfogni, mert ha egy kábelköteg pozitív és negatív erét egyszerre fogod át, az ellentétes áramok mágneses tere kioltja egymást, és hibásan nullát mérsz.

15.1.5. Mérési hibák és műszerválasztás

A mérési hibákat három csoportba sorolhatjuk:

- **Rendszeres hiba:** mindig azonos irányú, ismert okból származik. Például nem nullázott műszer, a műszer belső ellenállásának terhelő hatása, hőmérséklet-változás, elhasználódott mérőzsinór. Részben korrigálható, ha a hibát ismerjük vagy a műszert kalibráljuk.
- **Véletlen hiba:** véletlenszerűen változó, mindkét irányban lehet. Például zaj, érintkezési ellenállás ingadozása, elektromágneses zavar. A véletlen hibákat átlagolással, ismételt méréssel csökkenthetjük.
- **Durva hiba:** figyelmetlenségből, rossz bekötésből, rossz leolvasásból származik. Például az analóg műszer skáláját a rossz tükörszögből olvassuk le, vagy a méréshatárt rosszul állítjuk be. Ezt helyes mérési eljárással meg kell előzni, nem átlagolni.

Szabály. A mérési eredményt soha ne úgy írd le, hogy „pontosan 12 V”. Mindig tüntesd fel a méréshatárt, a műszer pontossági adatából számítható hibahatárt, és ha szükséges, a mérés körülményeit. A járműdiagnosztikában a gyártói határértékekhez is hibahatárral együtt viszonyítunk.

A digitális multiméterek pontossági adata tipikusan `±(a% rdg + n digit)` alakú. Az `a% rdg` azt jelenti, hogy a leolvasott érték százalékát vesszük, az `n digit` pedig a legkisebb kijelzett egység n-szeresét. A példát lásd lentebb.

Méréshatár-bővítés. Egy alapműszer, például egy mutatós lengőtekercs, csak kis áramot tud közvetlenül mérni. A feszültségméréshatár bővítéséhez **előtétellenállást**, az áramméréshatár bővítéséhez **söntöt** kapcsolunk.

Legyen az alapműszer végkitérési árama I_m, belső ellenállása R_m, így a belső feszültségesése:

$$U_\mathrm{m} = I_\mathrm{m} R_\mathrm{m}$$

Ha a feszültségmérővel U feszültséget akarunk mérni, az előtétellenállás:

$$R_\mathrm{e} = \frac{U}{I_\mathrm{m}} - R_\mathrm{m} = R_\mathrm{m}\left(\frac{U}{U_\mathrm{m}} - 1\right)$$

Ha az árammérővel I áramot akarunk mérni, a söntellenállás:

$$R_\mathrm{s} = \frac{U_\mathrm{m}}{I - I_\mathrm{m}} = \frac{R_\mathrm{m}}{\frac{I}{I_\mathrm{m}} - 1}$$

A gyakorlatban a sönt feszültségesése gyári multimétereknél tipikusan 100–200 mV a méréshatárnál (ellenőrizendő: gyártói adat).

Áram- és feszültségváltó. Váltakozó áramnál a méréshatárt transzformátorral is bővíthetjük. Az **áramváltó** a nagy primer áramot a menetszám-arány szerint kis szekunder árammá alakítja ($I_2 = I_1 \cdot N_1/N_2$); az AC-lakatfogó áramváltó elvű, a DC-áramot csak Hall-elvű lakatfogó méri. A **feszültségváltó** a nagy feszültséget kis, mérhető feszültséggé alakítja. Az áramváltó szekunder körét üzem közben nyitni tilos, mert veszélyes nagy túlfeszültség lép fel; a szekunder oldalt mindig rövidre kell zárni vagy a mérőműszeren át zárva kell tartani.

15.1.6. Előírások és biztonság

Előírás. A mérőműszerek biztonságos kialakítását az IEC 61010 szabványsorozat írja le. A műszeren és a mérőzsinóron feltüntetett **mérési kategória** (CAT I, CAT II, CAT III, CAT IV) azt adja meg, hogy a műszer milyen villamos hálózati környezetben és mekkora tranziensek ellen véd. A járművillamossági méréseknél általában legalább **CAT III 600 V**, nagyfeszültségű járműrendszeren a gyártó által előírt, jellemzően **CAT III 1000 V** besorolású műszer és zsinór szükséges (ellenőrizendő: az adott mérőeszköz és a gyártói javítási utasítás szerint).

A mérési kategóriák (IEC/MSZ EN 61010-1; ellenőrizendő: a hatályos kiadás) azt jelzik, hol szabad a műszert használni, és mekkora tranzienst bír; nem a mérhető tartós feszültség a lényeg, hanem a hálózat forrásimpedanciájától függő rövidzárlati energia és a tranziens:

Kategória	Környezet	Példa
CAT I	védett, hálózattól elválasztott elektronikai áramkörök	elektronikai mérések leválasztott áramkörön
CAT II	dugaszolóaljzatról táplált készülékek	háztartási gép, szerszámgép csatlakozása
CAT III	épületvillamos hálózat, elosztók	műhelyi elosztószekrény, fix bekötésű gépek
CAT IV	az épület betáplálási pontja	fogyasztásmérő, csatlakozó szekrény

A jármű 12 V-os fedélzeti hálózata nem hálózati kör, ezért a CAT-kategória ott nem a feszültségszint miatt fontos; a CAT III/600 V-os műszer a műhelyi 230/400 V-os mérésekhez és a nagyfeszültségű (HV) járművön végzett méréshez is biztonsági tartalékot ad (ellenőrizendő: gyártói előírás).

Figyelem. A multiméter CAT-besorolása önmagában nem elegendő, ha a mérőzsinór nem ugyanolyan kategóriájú. A rossz, repedt, kopott szigetelésű zsinór nagyfeszültségű környezetben áramütést okozhat. Mérés előtt mindig ellenőrizd a zsinórok, csatlakozók, a műszer házának állapotát.

Tilos. Ellenállást, folytonosságot vagy diódát mérni feszültség alatt lévő áramkörben. A mérésre használt belső áramforrás a műszerre és a vizsgált áramkörre is kárt tehet, és hibás eredményt adsz.

Tilos. Az árammérőt (A-bemenet) feszültségmérőként, a forrással párhuzamosan bekötni, vagy az árammérő zsinórját terhelés alatt feszültségmérésre átdugni. Előbb áramtalanítsd az áramkört, és csak utána dugd át a mérőzsinórt a másik bemenetre.

15.1.7. Kidolgozott példák

15.1.7.1. 1. példa – digitális multiméter hibahatára

Adott: digitális multiméter a 20 V DC méréshatáron, a felbontás 10 mV, a gyári pontosság $\pm(0{,}5\,\% + 2$ digit). A kijelzett érték 12,46 V.

Keresett: a mért érték hibahatára.

Számítás:

$$\Delta U_1 = 0{,}005 \cdot 12{,}46\,\mathrm{V} = 0{,}0623\,\mathrm{V}$$

A 2 digit a 10 mV-os felbontás mellett:

$$\Delta U_2 = 2 \cdot 0{,}01\,\mathrm{V} = 0{,}02\,\mathrm{V}$$

A teljes hibahatár:

$$\Delta U = \pm(0{,}0623 + 0{,}02)\,\mathrm{V} = \pm 0{,}0823\,\mathrm{V} \approx \pm 0{,}08\,\mathrm{V}$$

Eredmény: a feszültség $U = 12{,}46 \pm 0{,}08\,\mathrm{V}$. A valós érték tehát körülbelül 12,38 V és 12,54 V között van. Ez szemlélteti, hogy a 12,46 V sem „pontos”, hanem mérési bizonytalansággal terhelt.

15.1.7.2. 2. példa – előtét- és söntellenállás

Adott: alapműszer $I_\mathrm{m} = 50\,\mu\mathrm{A}$, $R_\mathrm{m} = 2\,\mathrm{k\Omega}$.

Keresett: mekkora előtét kell 10 V-os feszültségméréshatárhoz, és mekkora sönt kell 10 A-es árammérőshatárhoz?

Számítás az előtétre:
A belső feszültségesés:

$$U_\mathrm{m} = 50 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{A} \cdot 2000\,\Omega = 0{,}1\,\mathrm{V}$$

A feszültség-áttétel:

$$\frac{U}{U_\mathrm{m}} = \frac{10}{0{,}1} = 100$$

Az előtétellenállás:

$$R_\mathrm{e} = 2000\,\Omega \cdot (100 - 1) = 198\,000\,\Omega = 198\,\mathrm{k\Omega}$$

Ellenőrzés: a teljes ellenállás 200 kΩ, 10 V feszültség mellett az áram $50\,\mu\mathrm{A}$. ∎

Számítás a söntre:
Az áram-áttétel:

$$\frac{I}{I_\mathrm{m}} = \frac{10}{50 \cdot 10^{-6}} = 200\,000$$

A söntellenállás:

$$R_\mathrm{s} = \frac{2000\,\Omega}{200\,000 - 1} \approx 0{,}0100005\,\Omega$$

Gyakorlatilag 10 mΩ. A sönt feszültségesése 10 A esetén:

$$U_\mathrm{s} = 10\,\mathrm{A} \cdot 0{,}0100005\,\Omega \approx 0{,}1\,\mathrm{V}$$

A sönt teljesítményvesztesége:

$$P_\mathrm{s} = I^2 R_\mathrm{s} = (10\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}01\,\Omega \approx 1\,\mathrm{W}$$

Ezért árammérésnél teljesítménysöntöt vagy a műszer gyári söntjét kell használni. ∎

15.1.7.3. 3. példa – a feszültségmérő terhelő hatása

Adott: két $R_1 = R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$ ellenállásból álló feszültségosztó, $U = 12\,\mathrm{V}$. A feszültséget egy $R_\mathrm{b} = 1\,\mathrm{M\Omega}$ bemeneti ellenállású voltmérővel mérjük.

Keresett: a mért feszültség és a terhelő okozta hiba.

Számítás: ideális esetben a felezőpont feszültsége:

$$U_\mathrm{ideális} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{100}{100 + 100} = 6\,\mathrm{V}$$

A műszer párhuzamosan kapcsolódik R_2-vel, ezért az eredő:

$$R_\mathrm{p} = \frac{100\,\mathrm{k\Omega} \cdot 1\,\mathrm{M\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{M\Omega}} = 90{,}909\,\mathrm{k\Omega}$$

A mért feszültség:

$$U_\mathrm{mért} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{90{,}909}{100 + 90{,}909} = 5{,}714\,\mathrm{V}$$

Az abszolút hiba:

$$\Delta U = 5{,}714 - 6 = -0{,}286\,\mathrm{V}$$

A relatív hiba:

$$\delta = \frac{-0{,}286}{6} \cdot 100 \approx -4{,}8\,\%$$

Tanulság: minél kisebb a műszer belső ellenállása a mérendő áramkör ellenállásához képest, annál nagyobb a terhelő hiba. A digitális multiméter 10 MΩ bemeneti ellenállásánál ez a hiba itt már elhanyagolható lenne.

15.1.8. Minőségellenőrzés

Minden mérés előtt ellenőrizd a műszert és a mérési összeállítást. Az alábbi lista segít elkerülni a felesleges hibás méréseket.

1. **Gyártói kézikönyv:** ellenőrizd a műszer mérési kategóriáját, pontosságát, a méréshatárokat és a bemenetekhez tartozó maximális értékeket.
2. **Elemtöltöttség:** a gyenge elem a digitális műszernél hibás kijelzést okozhat; a műszeren lévő elemcserére figyelmeztető jelzés fontos.
3. **Zsinórok és csatlakozók:** nincs-e repedés, kopás, törött szigetelés; a banándugó szorosan csatlakozik-e.
4. **Bekötés:** feszültségmérésnél párhuzamosan, árammérésnél sorosan kösd be a műszert; ellenőrizd a bemeneti csatlakozókat.
5. **Műszer-ellenőrzés:** mérj egy ismert feszültséget, például egy 9 V-os elemet vagy egy akkumulátort; a mért értéknek a hibahatáron belül kell lennie.
6. **Nulla beállítás:** lakatfogónál üres pofákkal, a mérési tartománynak megfelelően végezz nulla-kompenzációt.

7. **Terhelő hatás tudatosítása:** nagy ellenállású áramkör ne mérj nagy bemeneti ellenállású műszer nélkül.

15.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy ügyfél azzal hozza a személyautóját, hogy az indítómotor lassan forgat, bár az akkumulátor üres feszültsége 12,3 V, ami külsőre nem tűnik vészesnek. A szerelő a digitális multimétert feszültségmérésre állítja, és indítás közben méri az akkumulátor kapcsain a feszültséget. Azt látja, hogy a kapocsfeszültség 12,3 V-ról 10,6 V-ra esik, a DC-lakatfogóval mért indítóáram viszont csak 110 A, jóval kisebb a szokásosnál (ellenőrizendő: az adott indítómotor gyártói áramfelvétele). A kis áram és a viszonylag magas kapocsfeszültség együtt nagy soros ellenállásra utal a körben: nem az akkumulátor a hibás, hanem valahol a nagyáramú útban van nagy átmeneti ellenállás. A szerelő ezután feszültségesést mér a pozitív és a test oldalon. A test oldalon 1,2 V-ot talál a megengedett 0,3 V helyett (ellenőrizendő: gyártói határérték). A testcsatlakozás javítása után az indítóáram 200 A fölé nő, az indítómotor gyorsan forgat, és a test oldali feszültségesés 0,2 V alá csökken.

Tanulság: a mérés nemcsak egy szám leolvasása, hanem az összetartozó áram- és feszültségadatok együttes értelmezése.

15.1.10. Gyakorlati útmutató – Járműakkumulátor nyugalmi áramának mérése DC-lakatfogóval

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Nagyfeszültségű (HV) járműrendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat.

15.1.10.1. Cél

A lezárt jármű nyugalmi áramfelvételének megállapítása, hogy kiderüljön, van-e rendellenes fogyasztás.

15.1.10.2. Jármű- és adatazonosítás

- Gyártó, típus, motorszám, alvázszám, évjárat.
- A gyártó által előírt nyugalmi áram-határérték és a mérés körülményei (ellenőrizendő: gyártói adat).

15.1.10.3. Szükséges eszközök

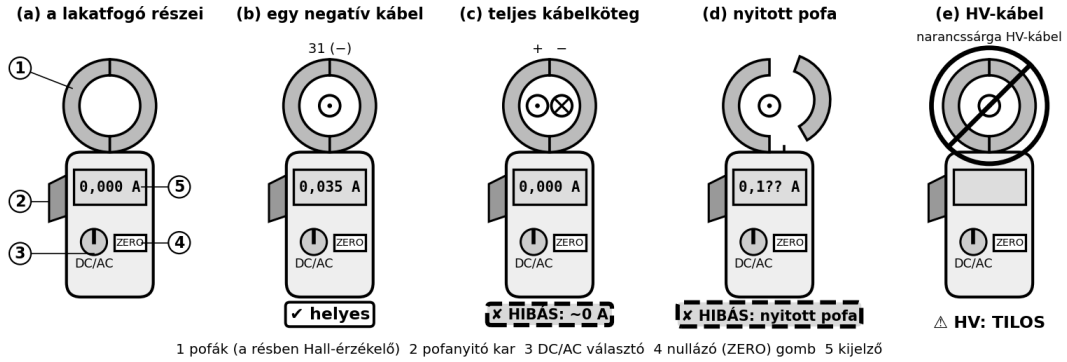
- DC-lakatfogó (mA-tól A-ig terjedő méréshatárral)
- Egyéni védőeszköz (védőkesztyű, védőszemüveg)

15.1.10.4. Munkabiztonsági lépések

1. Győződj meg arról, hogy a lakatfogó CAT-besorolása megfelelő a jármű rendszeréhez (12 V-os járműnél legalább CAT III 600 V; ellenőrizendő: gyártói adat).
2. Ellenőrizd a pofákat, a házat, a kijelzőt.
3. A mérés előtt ne bonts meg feszültség alatti csatlakozót (a lakatfogós mérés bontás nélküli).

15.1.10.5. Számozott munkalépések

1. Zárd le a járművet, húzd ki a gyújtáskulcsot, várd meg a gyártói alvó állapotot (ellenőrizendő: gyártói idő).
2. Kapcsold be a lakatfogót, állítsd a megfelelő DC-áramtartományba, és üres pofákkal végezz nulla beállítást.
3. Nyisd ki a lakatfogó pofáit, és fogd át **csak** az akkumulátor negatív kábelét, vagy a gyártó által meghatározott mérőpontot.
4. Olvasd le a stabil áramot. Ha a kijelző hibás, ellenőrizd a pofák záródását és a nulla beállítást.
5. Rögzítsd az értéket a munkalapon, és hasonlítsd a gyári határértékhez (például 20–50 mA alatt; ellenőrizendő: gyártói adat).
6. Vedd le a lakatfogót, kapcsold ki, és állítsd vissza a jármű állapotát.



15.4. ábra. DC-lakatfogó: részei, helyes átfogás (egy negatív kábel) és hibás esetek

A rajz a 2–3. lépést mutatja: a (b) képen a zárt pofák közepén egyetlen negatív kábel halad át; a (c) képen a teljes kábelköteg oda- és visszavezetőjének árama kioltja egymást (a kijelző ~0 A-t mutat), a (d) képen a nyitott pofa hamis értéket ad, az (e) kép a narancssárga HV-kábel tilalmát jelzi.

15.1.10.6. Figyelmeztetések

- Tilos a lakatfogóval a HV-akkumulátor szigetelt, narancssárga vezetékét megbontani vagy a HV-áramkörbe benyúlni.
- A mérés alatt ne nyitogasd az ajtókat, mert az ébredő vezérlőegységek megnövelik az áramfelvételt.

15.1.11. Tipikus hibák

1. **A feszültségmérő soros bekötése.** Ilyenkor a voltmérő nagy belső ellenállása miatt a körben alig folyik áram, a fogyasztó nem üzemel, és a műszer a forrás üres feszültségéhez közeli értéket mutat. **Helyesen:** a voltmérőt párhuzamosan kösd a mérendő szakasszal.
2. **Az árammérő párhuzamos bekötése.** Ez rövidzárlatot okoz, a műszer biztosítéka kiolvadhat, és a vizsgált áramkör megsérülhet. **Helyesen:** az árammérőt sorosan kösd be, és mérés előtt ellenőrizd a bemeneteket.
3. **A lakatfogóval a teljes kábelköteget fogják át.** A pozitív és negatív vagy a különböző fogyasztók áramai kiolthatják egymást, így a műszer hibásan alacsony vagy nulla áramot mutat. **Helyesen:** mindig csak egy vezetéket fogj át.
4. **A mérési hiba figyelmen kívül hagyása.** „12,46 V” helyett azt gondolni, hogy ez pontos érték. **Helyesen:** a műszer hibahatárával együtt add meg az eredményt, és a határértéket is ezzel a bizonytalansággal hasonlítsd össze.
5. **Rossz méréshatár választása.** Analóg műszernél a skála alsó harmadában a leolvasási hiba nagy. **Helyesen:** válassz olyan méréshatárt, ahol a kitérés a skála felső kétharmadában van; digitálisnál az auto-range használata javasolt.

15.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A feszültségmérőt sorosan kell kötni a fogyasztóval. Indokold.
2. Egy 0,5 pontossági osztályú, 20 V végértékű analóg feszültségmérővel 5 V-ot mérünk. Mekkora az abszolút hibahatár? Mekkora a relatív hibahatár az 5 V-os mérésnél?
3. Mit jelent a `CAT III 1000 V` felirat a multiméteren?
4. Miért tilos ellenállást mérni feszültség alatt lévő áramkörben?
5. DC-lakatfogóval egy kábelköteget fogsz át, amelyben a pozitív és a negatív ág is fut, és a két áram nagysága megegyezik. Mit mutat a lakatfogó? Miért?
6. Sorolj fel két mérés előtti műszerellenőrzési lépést.

15.1.13. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld az abszolút és a relatív mérési hibát. Számítsd ki mindkettőt, ha a valós feszültség 12,00 V, a mért feszültség pedig 11,82 V.

2. feladat (A)
Egy analóg feszültségmérő pontossági osztálya 1,5, a méréshatár 30 V. Mekkora a lehetséges legnagyobb abszolút hiba? Mekkora a relatív hiba, ha 10 V-ot mérünk?

3. feladat (B)
Egy alapműszer végkitérési árama 100 µA, belső ellenállása 1 kΩ. Számítsd ki a szükséges előtétellenállást 20 V-os feszültségméréshatárhoz. Számítsd ki a szükséges söntellenállást 10 A-es árammméréshatárhoz. Ellenőrizd a sönt feszültségesését.

4. feladat (B)
Egy 12 V-os feszültségosztó két soros ellenállásból áll: $R_1 = 100\,\text{k}\Omega$ és $R_2 = 100\,\text{k}\Omega$. A felezőpont feszültségét egy 1 MΩ bemeneti ellenállású feszültségmérővel mérjük. Mekkora a mért feszültség? Mennyi a terhelő hiba százalékban az ideális 6 V-hoz képest?

5. feladat (C)
Magyarázd el, miért előnyösebb egy 10 MΩ bemeneti ellenállású digitális multiméter a motorvezérlő érzékelőinek feszültségmérésénél, mint egy régi, 20 kΩ/V érzékenységű analóg feszültségmérő. A magyarázatban használj egy konkrét, számolható példát.

6. feladat (D)
A szerelő az indítómotor áramát DC-lakatfogóval akarja mérni, de a műszer 0 A-t mutat, miközben az indítómotor hallhatóan forgat. Sorolj fel legalább három lehetséges okot, és mindegyikhez add meg a teendőt.

15.1.14. Megoldások

15.1.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A feszültségmérőt párhuzamosan kötjük, mert két pont közötti potenciálkülönbséget mér, és nagy belső ellenállása miatt alig terheli a kört.
2. Az abszolút hibahatár:

$$\Delta U = \frac{0{,}5}{100} \cdot 20 = 0{,}1\,\mathrm{V}$$

A relatív hibahatár:

$$\delta = \frac{0{,}1}{5} \cdot 100 = 2\,\%$$

3. A műszer és a mérőzsinór az IEC 61010 szerinti III. túlfeszültség-kategóriába tartozik, és névleges egyenfeszültségre legfeljebb 1000 V-ig használható a megadott környezetben. A járműjavításban a nagyfeszültségű rendszeren a gyártó által megadott kategóriájú műszert kell használni.
4. Mert az ellenállásméréshez a műszer belső áramot bocsát ki. Ha az áramkör feszültség alatt van, a külső feszültség károsíthatja a műszert, illetve a mért érték hamis, mert a külső áram a mérőáramra szuperponálódik.
5. Nullát mutat, mert a két ellentétes irányú áram mágneses tere kioltja egymást. Ezért mindig csak egy vezetéket fogj át.
6. Például: a mérőzsinór folytonosságának és szigetelésének ellenőrzése, a műszer elemének ellenőrzése, ismert feszültség mérése, a méréshatár és a CAT-besorolás ellenőrzése.

15.1.14.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A)
Az abszolút hiba: $\Delta x = x_{\mathrm{m}} - x_{\mathrm{valós}} = 11{,}82 - 12{,}00 = -0{,}18\,\mathrm{V}$.
A relatív hiba: $\delta = \frac{-0{,}18}{12{,}00} \cdot 100 = -1{,}5\,\%$.
A negatív előjel arra utal, hogy a műszer alulmért.

2. feladat (A)
Az abszolút hibahatár:

$$\Delta U = \frac{1{,}5}{100} \cdot 30 = 0{,}45\,\mathrm{V}$$

A relatív hibahatár 10 V mérésnél:

$$\delta = \frac{0{,}45}{10} \cdot 100 = 4{,}5\,\%$$

3. feladat (B)
Belső feszültségesés:

$$U_{\mathrm{m}} = 100\,\mu\mathrm{A} \cdot 1000\,\Omega = 0{,}1\,\mathrm{V}$$

Feszültség-előtét:

$$R_{\mathrm{e}} = 1000\,\Omega \cdot \left(\frac{20}{0{,}1} - 1\right) = 1000 \cdot 199 = 199\,\mathrm{k}\Omega$$

Sönt:

$$R_{\mathrm{s}} = \frac{1000\,\Omega}{\frac{10}{100 \cdot 10^{-6}} - 1} = \frac{1000}{100000 - 1} \approx 0{,}0100001\,\Omega$$

A sönt feszültségesése 10 A-nél:

$$U_{\mathrm{s}} = 10 \cdot 0{,}0100001 \approx 0{,}1\,\mathrm{V}$$

4. feladat (B)
A párhuzamos eredő:

$$R_{\mathrm{p}} = \frac{100 \cdot 1000}{100 + 1000} = 90{,}909\,\mathrm{k}\Omega$$

A mért feszültség:

$$U_{\mathrm{mért}} = 12 \cdot \frac{90{,}909}{100 + 90{,}909} = 5{,}714\,\mathrm{V}$$

A hiba:

$$\Delta U = 5{,}714 - 6 = -0{,}286\,\mathrm{V}$$

Relatívan:

$$\delta = \frac{-0{,}286}{6} \cdot 100 = -4{,}8\,\%$$

5. feladat (C)
A feszültségmérő terhelő hatása annál kisebb, minél nagyobb a bemeneti ellenállás. Például egy 100 kΩ belső ellenállású jelforrás feszültségét mérjük. Az analóg műszerrel 10 V-os méréshatáron az érzékenység 20 kΩ/V, tehát a bemeneti ellenállás $20\,\mathrm{k}\Omega/\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{V} = 200\,\mathrm{k}\Omega$. Az eredő hiba számottevő. A DMM 10 MΩ bemeneti ellenállása ehhez képest elhanyagolható terhelést jelent. Megfordítva: a DMM a jelforrást alig terheli, így a mért feszültség a valós értékhez közel marad.

Számszerűen: ha a forrás üres feszültsége 5 V, belső ellenállása 100 kΩ, akkor az analóg műszerrel:

$$U_{\text{mért}} = 5 \cdot \frac{200}{100 + 200} = 3{,}33\,\text{V}$$

ami 33 %-os hiba. A DMM esetén:

$$U_{\text{mért}} = 5 \cdot \frac{10\,000}{100 + 10\,000} \approx 4{,}95\,\text{V}$$

ami csak kb. 1 % hiba. Ezért járműelektronikai méréseknél nagy bemeneti ellenállású műszert választunk.

6. feladat (D)
Lehetséges okok:

1. **A lakatfogó a teljes kábelköteget fogja át.** A pozitív és negatív áram mágneses tere kioltja egymást. **Teendő:** csak az akkumulátor negatív vagy a gyártó által kijelölt egyetlen kábelt fogd át.
2. **A lakatfogó AC üzemmódban van.** A műszer a váltakozó áramot méri, az indítómotor egyenárama alig ad kitérést. **Teendő:** kapcsold DC-árammérésbe.
3. **Nem végezték el a nulla beállítást.** A pofák üres állapotban sem nullát mutatnak, de ezt rossz alapvonalként értelmezik. **Teendő:** üres pofákkal nullázz, majd mérj.
4. **A méréshatár túl nagy vagy a műszer elemmerülése miatt hibás. Teendő:** állíts megfelelő méréshatárt, ellenőrizd az elemet, és próbálj ismert árammal hitelesítést.
5. **A lakatfogó pofái nem záródnak teljesen. Teendő:** tisztítsd meg a pofákat, és ellenőrizd a zárószerkezetet.

15.1.15. Továbbvitt eredmény

Továbbvitt eredmény. A mért érték csak hibahatárral együtt értelmes. A műszer kiválasztásakor a méréshatárt, a pontossági osztályt, a belső ellenállást és a CAT-besorolást is figyelembe kell venni. Ezt a gondolatot használjuk tovább az Egyenáramú alapmérések alfejezetben a konkrét áram- és feszültségméréseknél, a nagyfeszültségű rendszer feszültségmentesítésének ellenőrzésénél a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezetben, valamint az akkumulátor- és indítóáram diagnosztikájánál a(z) Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája alfejezetben.

15.1.16. Rövid összefoglaló

A méréstechnika alapja a mennyiség összehasonlítása ismert mértékegységgel. A mérési hiba lehet rendszeres, véletlen vagy durva. Az abszolút hiba a mért és a valós érték különbsége, a relatív hiba ezt a valós értékhez viszonyítja. Az analóg műszereknél a pontossági osztály a méréshatár végértékének százalékában adja meg a hibahatárt; digitális műszereknél a gyártó `±(a% rdg + n digit)` alakú adatot közöl. Feszültséget párhuzamosan, áramot sorosan mérünk. A feszültségmérő nagy, az árammérő kis bemeneti ellenállása csökkenti a terhelő hatást. Az alapműszer méréshatárát feszültségmérésnél előtétellenállással, árammérésnél sönttel bővítjük. A digitális multiméter sokoldalú, de a mérési bemeneteket és a CAT-besorolást mindig ellenőrizni

kell. A DC-lakatfogó az áram mágneses terét méri, ezért áramköri bontás nélkül mérhetünk egy vezeték átfogásával. Minden mérés előtt ellenőrizni kell a műszert, a zsinórokat, a méréshatárt, és az eredményt hibahatárral együtt kell értelmezni.

15.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: IEC 61010 / MSZ EN 61010 mérőműszer-biztonsági szabvány; IEC 60051 analóg mutatós műszerek pontossági osztályai; gyártói multiméter- és lakatfogó-kézikönyvek; elektrotechnikai méréstechnikai tankönyvek.

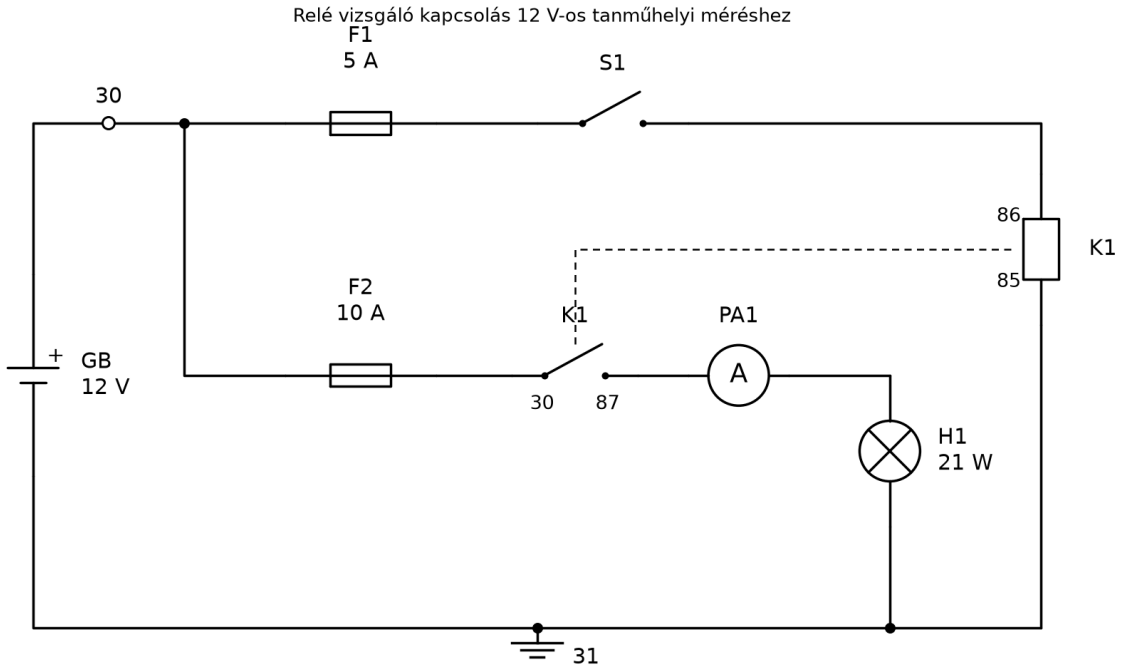
Ellenőrizendő állítások:
- a digitális multiméter tipikus 10 MΩ bemeneti ellenállása;
- a gyári sönt tipikus 100–200 mV feszültségesése;
- a járműjavítási gyakorlatban szükséges CAT-besorolás (12 V-os rendszerre általában CAT III 600 V, HV-rendszerre CAT III 1000 V);
- a nyugalmi áram határértéke és az alvó állapot beállásának ideje;
- az indítómotor áramfelvételi jellemzői.

15.2. Egyenáramú alapmérések

Az autószerelő műhelyben gyakran éppen az a diagnosztikai feladat, hogy egy villamos tünetből – például „az ablaktörlő nem indul”, „a fűtőventilátor csak a legmagasabb fokozaton megy”, „a műszerfalon égve maradt a töltésjelző lámpa” – visszafejtsük, melyik alkatrész hibásodott meg. Ehhez szinte mindig egyenáramú alapméréseket végzünk: ellenállást, feszültséget, áramot mérünk, vagy egy alkatrész működését vizsgáljuk. Ez az alfejezet azokat a mérési módszereket és szabályokat foglalja össze, amelyeket a tanműhelyben és a járművön is naponta használni fog.

15.2.1. Szemléletes kép: egy relés áramkör mérés közben

Képzeljünk el egy egyszerű tanműhelyi mérőáramkört, amelyben egy 12 V-os akkumulátorról táplált relé vezérli egy izzó áramkörét. A gyújtáskapcsolóval (S1) bekapcsoljuk a relé tekercsét; a tekercs meghúzza a munkaérintkezőt, amely a 30-as kapocsról a 87-es kapocsra kapcsolja át a fogyasztói áramot. Az izzó ágában lévő ampermérő a tényleges terhelőáramot, a tekercskörben pedig a vezérlő áramot vizsgálhatjuk. A kapcsolási rajz a mérési pontok azonosítását is segíti:



15.5. ábra. Relé vizsgáló kapcsolás 12 V-os tanműhelyi méréshez - Alapállapot: S1 nyitott, a K1 munkaérintkezője (30–87) nyitott. Felső ág: vezérlőkör (F1, S1, K1 tekercs 86–85); alsó ág: munkakör (F2, K1 30–87, PA1, H1); közös test (31). A kapocsjelölések a DIN 72552 szerinti gyakorlatot követik (ellenőrizendő a gyártói rajz szerint); az értékek tanulási példák.

A rajzon az akkumulátor felső vezetéksínje a pozitív 30-as ág, az alsó a közös test (31). A felső, vezérlő kör az F1 biztosítón, a gyújtáskapcsolón (S1) és a relé K1 tekercsén (86–85) keresztül záródik a test felé. Az alsó munkaáramkör az F2 biztosítón és a K1 30–87 munkaérintkezőn át táplálja a H1 izzót, sorosan a PA1 ampermérővel. A szaggatott vonal a relé tekercse és munkaérintkezője közötti mechanikai kapcsolatot jelzi.

15.2.2. Definíciók és összefüggések

Definíció. (Ideális mérőműszer) Az ideális feszültségmérő belső ellenállása végtelen nagy, ezért a mért áramkörből gyakorlatilag nem vesz fel áramot. Az ideális árammérő belső ellenállása nulla, ezért a körben nem ejt számottevő feszültséget. A valóságos multiméterek közelítik ezt; a mérési hibát a belső ellenállás figyelembevételével becsüljük.

Összefüggés. (Ohm-törvény mérési alakban) Ha egy ismeretlen R_x ellenálláson U feszültséget ejtünk, és a rajta átfolyó áram I, akkor

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Ez a feszültség–áram módszer alapja. Az I mértékegysége amper (A), az U mértékegysége volt (V), így az ellenállás egysége ohm (Ω).

Szabály. Feszültség alatt ellenállást mérni tilos. A multiméter ellenállásmérés üzemmódban saját belső mérőárammal dolgozik; ha a mért áramkörben külső feszültség is van, a műszer károsodhat, és a mérési eredmény hamis lesz. Először a vizsgált áramkört feszültségmentesíteni kell, szükség esetén az akkumulátort le kell kötni.

15.2.3. Felépítés és működés

15.2.3.1. Áramkör-összeállítás szabályai

A mérési áramkör összeállításakor tartsuk be ezeket az alapelveket:

- A feszültségmérőt mindig **párhuzamosan** kötjük a vizsgált két pont közé.
- Az árammérőt mindig **sorosan** kötjük abba az ágba, amelynek áramát mérni akarjuk.
- Az árammérő méréshatára legyen nagyobb a várható áramnál; ha nem ismerjük a nagyságot, a legnagyobb méréshatárról indítsunk.
- A csatlakozókat, mérőzsinórokat és a próbamérő hegyeket ellenőrizni kell: meglazult vagy oxidált csatlakozás hamis feszültségesést okoz.
- A mérési pontokat a kapcsolási rajz alapján azonosítsuk, ne a vezeték színéből kiindulva.

15.2.3.2. Kis és nagy ellenállás mérése feszültség–áram módszerrel

A feszültség–áram módszer két műszert igényel: egy voltmérőt és egy ampermérőt. A mérés során a mért U és I hányadosa adja az ellenállást. Két bekötési változat létezik:

- **Feszültségmérő közvetlenül R_x-en (áramhibás kapcsolás):** a voltmérő közvetlenül az R_x kivezetésein mér, így az ampermérő az R_x és a voltmérő áramának összegét méri. A voltmérő áramfelvétele okozza a hibát, amely **kis ellenállásoknál** elhanyagolható, ezért ez a kapcsolás **kis ellenállások** mérésére alkalmas.
- **Árammérő közvetlenül R_x-szel sorban (feszültséghibás kapcsolás):** az ampermérő csak az R_x-en átfolyó áramot méri, de a voltmérő az ampermérő és az R_x együttesén mér, így a mért feszültségbe az ampermérő feszültségesése is beleszámít. Ez **nagy ellenállásoknál** elhanyagolható, ezért ez a kapcsolás **nagy ellenállások** mérésére alkalmas.

Kis ellenállásokat (pl. indítókábel, érintkező, fűtőszál) négyvezetékes (Kelvin-) módszerrel, milliohm-mérővel mérünk: két vezeték a mérőáramot viszi, két másik a feszültséget méri közvetlenül az alkatrész kivezetésein, így a mérővezeték és az érintkezők ellenállása kiesik a mérésből. Kézi multiméter ezt jellemzően nem tudja; a járművön a kis átmeneti ellenállást gyakran terhelés alatti feszültségesés-méréssel vizsgáljuk.

15.2.3.3. Wheatstone-híd

A Wheatstone-híd precíz ellenállásmérésre használható kapcsolás. Négy ellenállás alkot hídkapcsolást: R_1, R_2, R_3 és az ismeretlen R_x. A híd kiegyenlített, ha a híd középső méreműszerén $U_{\text{híd}} = 0\,\text{V}$. Ekkor

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

A járműtechnikában ma már ritkábban építenek külön hídkapcsolást, de az elv fontos marad: sok jeladó (pl. nyúlásmérő bélyeges nyomásérzékelő) Wheatstone-hídként működik, ahol a kiegyenlítetlenségből számolják a mért fizikai mennyiséget.

15.2.3.4. Hőmérséklet-, feszültség- és fényfüggő ellenállások

A járművekben sok olyan ellenállást találunk, amelynek értéke a hőmérséklettel, megvilágítással vagy más fizikai mennyiséggel változik. Az ilyen alkatrészeket nem elég egyszer megnézni, hanem a változást kell mérni.

- **Hőmérsékletfüggő ellenállás (NTC/PTC):** az NTC hőmérséklet növekedésével csökkenő ellenállású, a PTC növekvő. Járművön a hűtővíz- és beszívott levegő hőmérséklet-érzékelők rendszerint NTC elemek. Méréskor az ellenállást szobahőmérsékleten, majd melegített állapotban (pl. hajszárítóval vagy forró vízben, a gyártói adattól függően) is megnézzük, és a mért karakterisztikát a gyártói tűréshez hasonlítjuk (**ellenőrizendő:** a gyártói hőmérséklet–ellenállás táblázat).
- **Feszültségfüggő ellenállás (varisztor):** az ellenállása a kapocsfeszültség függvényében változik. Járművön túlfeszültségvédelemre (pl. a relétekercs kikapcsolási feszültségcsúcsának korlátozása) használatos. Mérése tipikusan nagy feszültségű mérőműszerrel vagy speciális karakterisztika-felvevővel történik.
- **Fényfüggő ellenállás (fotorezisztor):** az ellenállása megvilágítás hatására csökken. Régebbi automatikus világítás-kapcsolásban, fényérzékelőben fordul elő. Méréskor sötétben és megvilágítva is mérünk, és a változást ellenőrizzük.

15.2.3.5. Soros, párhuzamos, vegyes kapcsolás és feszültségosztó

Összefüggés. (Soros és párhuzamos eredő ellenállás) Sorba kapcsolt ellenállások eredője:

$$R_{\mathrm{s}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n.$$

Párhuzamosan kapcsolt két ellenállás eredője:

$$R_{\mathrm{p}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

vagy reciprok alakban $1/R_{\mathrm{p}} = 1/R_1 + 1/R_2$. Vegyes kapcsolásban a soros és párhuzamos részeket fokozatosan vonjuk össze.

Definíció. (Feszültségosztó) Két sorba kapcsolt ellenállás R_1 és R_2 esetén a R_2 ellenálláson eső feszültség:

$$U_{\mathrm{ki}} = U_{\mathrm{be}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Ez az összefüggés a járművillamosságban mindenütt megtalálható: például a szintjeladó, a fojtószelep-helyzet érzékelő, vagy a hőmérséklet-érzékelő előtét-ellenállásos kapcsolása.

15.2.3.6. Potenciométer vizsgálata

A potenciométer egy háromkivezetésű, csúsztatható ellenállás. A két szélső kivezetés között a teljes ellenállás, a csúszka és egyik szélső kivezetés között pedig a csúszka helyzetének megfelelő rész ellenállás mérhető. A járművekben a **fojtószelep-helyzet érzékelő (TPS)**, a **tankszintjeladó**, a régebbi légtömegmérők és a pedálállás-jeladók is potenciométeres elven működhetnek. A mérési lépések:

1. Feszültségmentesítsük az áramkört.
2. A potenciométer teljes ellenállását a két szélső kivezetés között mérjük.

3. A csúszkát óvatosan, lassan mozgatva figyeljük a csúszka és az egyik szélső kivezetés közötti ellenállást. Az értéknek folyamatosan, ugrásmentesen kell változnia.
4. Ha a jeladó feszültségkimenetét vizsgáljuk, kapcsoljuk a csúszkát a vezérlőegység 5 V-os referenciafeszültségéhez (a járművön a gyártói mérési eljárás szerint), és mérjük a kimenő feszültséget.
5. A mért feszültség–elmozdulás vagy ellenállás–elmozdulás karakterisztikát hasonlítsuk a gyártói tűréshez (**ellenőrizendő:** a gyártói diagram).

15.2.3.7. Relék és relés áramkörök

A relé egy elektromechanikus kapcsoló, amelynek tekercse a vezérlőáramot, érintkezője pedig a munkaáramot kapcsolja. A járművillamosságban a relék tipikusan a nagyobb fogyasztókat (fűtőventilátor, ablaktörlő, izzók, indítómotor mágnesszelepe) kapcsolják kis vezérlőárammal. A jellemző mérési pontok:

- **Tekercsellenállás:** a 85–86 kapcsokon mérve a tekercs ellenállása tipikusan néhány tíz ohm és néhány száz ohm közötti érték szokott lenni (például 50–150 Ω), de a pontos értéket a gyártói adat adja meg (**ellenőrizendő**).
- **Munkaérintkező ellenállása:** a 30–87 kapcsokon bekapcsolt relé állapotban a kapcsoló ellenállása közel nulla, legfeljebb néhány milliohm–néhány tized ohm. Kopott, égett érintkezőnél ez megnő, és a terhelésen feszültségesés keletkezik.
- **Húzó- és elengedő feszültség:** a tekercs feszültségét lassan növelve megmérjük, mekkora feszültségnél húz meg a relé (tipikusan a névleges feszültség kb. 60–80%-ánál), majd a feszültséget csökkentve mekkoránál enged el. A gyártói adattól való eltérés hibás relére utal (ellenőrizendő).

15.2.3.8. Kondenzátor töltés–kisütés

A kondenzátor töltését és kisütését az R ellenálláson keresztüli időállandó jellemzi:

$$\tau = R \cdot C.$$

Egy soros RC-körben a kondenzátor feszültsége az idő függvényében

$$u_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

töltés közben, és

$$u_C(t) = U_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

kisütés közben. A τ időállandó azt az időt jelenti, amely alatt a feszültség a töltésnél a végérték kb. 63%-át éri el, kisütésnél a kezdeti érték kb. 37%-ára csökken. Méréskor a kondenzátor töltését–kisütését oszcilloszkóppal vagy multiméter+feszültség-idő manuális követéssel figyelhetjük meg; a jegyzőkönyvbe mindig fel kell jegyezni az R és C értékét.

15.2.3.9. Teljesítmény- és hőhatás mérése

Az egyenáramú teljesítményt háromféleképpen is számolhatjuk:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}.$$

A járművillamosságban a relatív nagy teljesítményű fogyasztók (fűtőszál, izzó, motor) mérésekor az áram- és feszültségmérésből határozzuk meg a felvett teljesítményt. A hőhatás ellenőrzésekor a számolt P értéket a gyártói névleges teljesítménnyel vetjük össze; ha jelentősen eltér, hibás a fogyasztó vagy a tápláló áramkör.

15.2.3.10. Szigetelési ellenállás

A szigetelési ellenállás azt mutatja meg, mekkora ellenállást mutat a vizsgált szigetelő anyag a két vezető rész között. Jó szigetelés esetén az érték nagyon nagy, jellemzően több megaohm (MΩ) vagy gigaohm. A mérést **szigetelési ellenállás-mérővel** (megger, megaohm-mérő) végezzük, amely néhány száz voltnyi egyenfeszültséget kapcsol a vizsgált pontokra. A járművön például a nagyfeszültségű (HV) akkumulátor és a karosszéria közötti szigetelési ellenállást mérik így.

HV-biztonság. A HV-rendszer szigetelésmérését csak jogosult személy végezheti a gyártói eljárás szerint, a feszültségmentesítés (szervizcsatlakozó eltávolítása és biztosítása, gyártói várakozási idő, a feszültségmentesség ellenőrzése) után, a gyártó által előírt mérőfeszültséggel, megfelelő mérési kategóriájú szigetelésmérővel és szigetelő kesztyűvel (ellenőrizendő: gyártói eljárás és a hazai jogosultsági követelmények; lásd Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése). A szigetelésmérő mérőfeszültsége (pl. 500 V) maga is áramütést okozhat: mérés közben a vizsgált részt ne érintsd, mérés után a kapacitásokat süsd ki (a műszer automatikus kisütésével). **Előírás.** A szigetelési ellenállás mérésére alkalmas műszernek meg kell felelnie a vonatkozó mérésbiztonsági szabványnak (pl. MSZ EN 61010 sorozat) és a mérési eljárásra vonatkozó szabványnak (pl. MSZ EN 61557 – ellenőrizendő: aktuális jelzet és mérési kategória).

15.2.4. Kidolgozott példák

1. példa (A) – Feszültség–áram módszerrel mérünk. Egy izzó foglalatán átfolyó áramot ampermérővel 0,240 A-nek, a foglalat kapcsain a feszültséget voltmérővel 12,0 V-nak mérjük. Mekkora az áramkörben lévő fogyasztó ellenállása?

Adott: $U = 12{,}0\,\mathrm{V}$, $I = 0{,}240\,\mathrm{A}$. Keresett: R_x.

Képlet: $R_x = \frac{U}{I}$. Behelyettesítés: $R_x = \frac{12{,}0\,\mathrm{V}}{0{,}240\,\mathrm{A}} = 50{,}0\,\Omega$. Ellenőrzés: $12{,}0 = 0{,}240 \cdot 50{,}0$, tehát az eredmény nagyságrendje egy 12 V-os, kb. 0,24 A-es fogyasztónál reális. ∎

2. példa (B) – Feszültségosztó számítása. Egy potenciométeres jeladó $R_1 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ és $R_2 = 3{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ sorba kapcsolt ellenállásokból áll, a bemenő feszültség $U_{\mathrm{be}} = 5{,}00\,\mathrm{V}$. Mekkora a R_2 ellenálláson mért kimenő feszültség?

Adott: $U_{\mathrm{be}} = 5{,}00\,\mathrm{V}$, $R_1 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 3{,}0\,\mathrm{k\Omega}$. Keresett: U_{ki}.

Képlet: $U_{\mathrm{ki}} = U_{\mathrm{be}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$. Behelyettesítés:

$$U_{\mathrm{ki}} = 5{,}00 \cdot \frac{3{,}0}{1{,}0 + 3{,}0} = 5{,}00 \cdot \frac{3{,}0}{4{,}0} = 3{,}75\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a feszültség a nagyobb ellenálláson esik, ami 3/4 arány, 5 V-ból 3,75 V reális. ∎

3. példa (B) – Teljesítménymérés. Egy motor fűtőszálán $I = 3{,}0\,\mathrm{A}$ áram folyik, ellenállása $R = 4{,}0\,\Omega$. Mekkora a felvett teljesítmény?

Adott: $I = 3{,}0\,\mathrm{A}$, $R = 4{,}0\,\Omega$. Keresett: P.

Képlet: $P = I^2 \cdot R$. Behelyettesítés: $P = (3{,}0)^2 \cdot 4{,}0 = 9{,}0 \cdot 4{,}0 = 36\,\mathrm{W}$. Ellenőrzés: $U = I \cdot R = 12\,\mathrm{V}$, így $P = U \cdot I = 12 \cdot 3 = 36\,\mathrm{W}$, ami összhangban van. ∎

15.2.5. Előírás

Előírás. A mérési munkákhoz használt kézi műszereknek (multiméterek, lakatfogók, szigetelési ellenállás-mérők) meg kell felelniük a kisfeszültségű mérőműszerekre vonatkozó mérésbiztonsági szabványnak (például MSZ EN 61010 sorozat, **ellenőrizendő:** aktuális jelzet). A szigetelési ellenállás méréséhez olyan műszer szükséges, amely az MSZ EN 61557 szerinti módszerrel mér (**ellenőrizendő:** aktuális szabvány jelzet és mérési kategória). A járművillamossági mérések során mindig a gyártói javítási utasításban megadott mérési pontokat, értékeket és mérési körülményeket kell alapul venni; az itt megadott számértékek tanulási példák.

15.2.6. Minőségellenőrzés

A mérési munka minőségét a mérési jegyzőkönyv és az ismételhetőség biztosítja. Az alábbi ellenőrzőlistát használjuk:

- A műszer **kalibrált** legyen, a kalibrációs címke érvényes (ha ilyen elő van írva).
- A mérési pontok megfeleljenek a kapcsolási rajznak.
- A mért értékeket **háromszor** vagy legalább kétszer mérjük, és eltérés esetén a hibát felderítjük.
- Az eredményeket a **mértékegységgel** együtt rögzítjük: `12,0 V`, nem csak „12”.
- A mérési bizonytalanságot a műszer pontossági osztályából becsüljük.
- A mérési jegyzőkönyv tartalmazza a jármű azonosítóját, a mérési pontot, a műszer típusát, a beállításokat és a mért értékeket.

A jegyzőkönyv a későbbi váltakozó áramú mérések és a diagnosztikai esetek alapdokumentuma.

15.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: a jármű ablaktörlője időnként nem indul el, máskor teljesen jól működik. A műszerfalon nincs hibajelzés, a biztosítók épek. Az első hipotézis a vezérlő relé hibája, de lehet a kapcsoló, a motor vagy a csatlakozó is. A hibakeresési láncot követve:

1. **Tünet rögzítése:** az ablaktörlő motor nem indul, ha a kapcsolót a 2. fokozatba teszik, de a 3. fokozatban működik.
2. **Rajz és azonosítás:** a kapcsolási rajz alapján a 2. fokozatot külön relé vezérli.
3. **Mérés:** a relé foglalatán a tekercs kapcsain a kapcsoló állításakor 12,2 V feszültség jelenik meg, tehát a vezérlőáram megérkezik. A relé tekercsellenállása 8,3 Ω, ami a gyártói adat szerint túl alacsony (**ellenőrizendő:** a gyártói tekercsellenállás jellemzően 50–100 Ω).
4. **Ok:** a relé tekercse zárlatos, ezért a vezérlőáram túl nagy, és a relé nem mindig húz meg.
5. **Javítás:** a relé cseréje, a reléfoglalat és a csatlakozó érintkezőinek ellenőrzése, majd próba.
6. **Ellenőrzés:** minden fokozatban többször működtetjük az ablaktörlőt, a mért áram és feszültség a gyártói tartományban van, a hiba nem jelentkezik.

Tanulság. Az ilyen szakaszos hiba gyakran a relé, ezért a mérés során nem elég egyszer kimérni, hanem a tekercs ellenállását és a vezérlőfeszültséget is össze kell vetni a gyártói adattal.

15.2.8. Gyakorlati útmutató

Cél: relé bevizsgálása és potenciométeres jeladó ellenőrzése a tanműhelyben.

Jármű/alkatrész azonosítás: a mérési feladat megkezdése előtt jegyezzük fel a jármű alvázszámát (VIN), a relé típusjelét és kapcsolási rajzát, valamint a potenciométer (pl. fojtószelep-helyzet érzékelő) gyári cikkszámát.

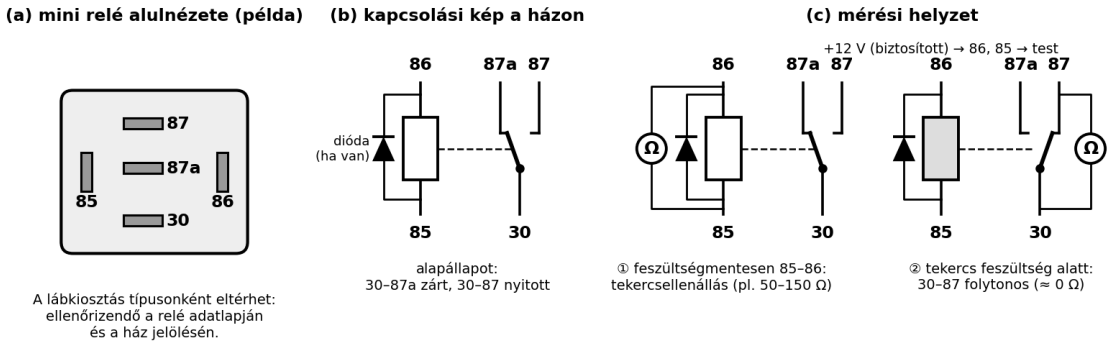
Szükséges szerszámok és műszerek: digitális multiméter, lakatfogó (opcionális), tápegység vagy 12 V-os akkumulátor, kisáramú jelű lámpa, mérőzsinórok, szigetelőszalag, frekvencia-/oszcilloszkóp (ha a potenciométer jelét vizsgáljuk), mérési jegyzőkönyv nyomtatvány.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A mérőáramkörön feszültség alatt dolgozni csak az arra kijelölt munkapadon, a munkavédelmi szabályok szerint szabad. Feszültség alatt ellenállást mérni tilos.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: a munkaterület legyen tiszta és száraz; a mérőzsinórok szigetelése ép; a vizsgált járműnél a gyújtást kapcsoljuk ki, szükség szerint kössük le a 12 V-os akkumulátort. A hibás alkatrészt ne dobjuk a vegyes hulladékba; a relét vagy potenciométert a veszélyes hulladékokra vonatkozó műhelyi utasítás szerint gyűjtsük (**ellenőrizendő:** a hulladékkezelési szabályzat).

Számozott munkalépések:

1. **Feszültségmentesítés:** kapcsoljuk ki a gyújtást, távolítsuk el a kulcsot, szükség esetén kössük le az akkumulátor negatív pólusát.
2. **Rajz alapján azonosítsuk a mérési pontokat:** írjuk fel a relé kapcsait (85, 86, 30, 87, 87a) és a potenciométer kivezetéseit.
3. **Relé tekercsellenállás mérése:** a multimétert ellenállásmérésbe kapcsolva mérjük a 85–86 közötti ellenállást. Jegyezzük fel az értéket. Hasonlítsuk a gyártói adathoz (**ellenőrizendő**).
4. **Relé meghúzási próba:** kapcsoljunk a tekercsre névleges feszültséget (12 V). Hallgatni kell a kattanást; közben a 30–87 munkaérintkező folytonosságát ellenállásmérővel ellenőrizzük. Az érintkező ellenállása bekapcsolt relénél legyen közel nulla.
5. **Potenciométer teljes ellenállásának mérése:** a két szélső kivezetés között mérjük a teljes ellenállást, hasonlítsuk a gyártói értékhez.
6. **Potenciométer csúszka ellenőrzése:** a multiméter ellenállásmérésben, az egyik szélső kivezetés és a csúszka közötti ellenállást mérjük, miközben a csúszkát lassan mozgatjuk. Az értéknek folyamatosan, ugrás nélkül kell változnia. Ugrás vagy szakadás esetén a potenciométer hibás.
7. **Feszültségmérés (aktív jeladó esetén):** ha a járművön van a potenciométer, kapcsoljuk a vezérlőegység tápfeszültségét (pl. 5 V referencia). A csúszka kimenetén mérjük a feszültséget a gyártói eljárás szerint, és vessük össze a gyártói tűréssel (**ellenőrizendő**).
8. **Dokumentálás:** töltsük ki a mérési jegyzőkönyvet a műszer típusával, a mért értékekkel, a döntéssel (jó/hibás) és az esetleges megjegyzésekkel.



15.6. ábra. Járműrelé kapcsai: mini relé alulnézete, kapcsolási kép a házon és a 2–4. lépés mérési helyzete

A rajz a 2–4. lépéshez azonosítja a kapcsokat: a tekercs a 85–86, a váltóérintkező közös kapcsa a 30, a záró a 87, a bontó a 87a (DIN 72552 szerinti gyakorlat; a lábkiosztás típusonként eltérhet, a relé adatlapja szerint ellenőrizendő). Az ① mérés a feszültségmentes tekercsellenállás, a ② a behúzott relé 30–87 folytonossága. A HTML-kiadásban a tekercsre kapcsolt feszültséggel az érintkező átvált, és a kapcsokra mutatva megjelenik a funkciójuk.

Recept. (Relé gyors ellenőrzési sorrend)
1. Kapcsoljuk ki a feszültséget.
2. Mérjük a 85–86 tekercsellenállást: a gyártói tartományban legyen.
3. Adjunk 12 V-ot a tekercsre; a relé kattanjon.
4. Mérjük a 30–87 érintkező ellenállását: bekapcsolt állapotban $< 1\,\Omega$ legyen (tanulási példa; ellenőrizendő a gyártói adat).
5. Ha az érintkező nem zár megbízhatóan, cseréljük a relét.

Tipikus hibák a munkavégzés során: a mérési pont tévesztése; a relé érintkezőjének ellenállását feszültség alatt mérni; a potenciométert terhelt állapotban mérni, pedig a specifikáció terhelés nélkül vonatkozik rá; a jegyzőkönyvben nem rögzíteni a műszer beállítását.

Dokumentálás: a mérési jegyzőkönyv legyen aláírt, dátummal, és kerüljön a munkalaphoz vagy a szervizfüzethez. A hibás alkatrészt a hulladékkezelési utasítás szerint kezeljük.

15.2.9. Tipikus hibák

1. hiba – Feszültség alatt ellenállást mérni. A tanuló ellenállásmérésbe állított multiméterrel a működő áramkörön mér, mert „gyorsan akar mérni”. A műszer meghibásodhat, és az eredmény hamis. **Helyes gyakorlat:** először feszültségmentesítsünk, majd mérjünk.

2. hiba – Az ampermérőt párhuzamosan kötni. A tanuló az ampermérőt a fogyasztóval párhuzamosan kapcsolja, mert a feszültségmérőt is így szokta. Az ampermérő belső ellenállása nagyon kicsi, így gyakorlatilag rövidre zárja az áramkört, ami nagy áramot és kiolvadt biztosítót okozhat. **Helyes gyakorlat:** az ampermérőt mindig sorosan kötjük.

3. hiba – A jegyzőkönyvből hiányzik a mértékegység vagy a mérési pont. Később nem lehet tudni, hogy a „12” volt vagy ohm, és melyik áramkörben mértük. **Helyes gyakorlat:** a jegyzőkönyv minden értéket mértékegységgel, a mérési ponttal és a műszer állásával rögzít.

4. hiba – A potenciométer ugrását figyelmen kívül hagyni. A csúszkát gyorsan mozgatva a holtpont vagy a szakadás nem tűnik fel. **Helyes gyakorlat:** a potenciométert lassan, teljes tartományban mozgatni, és a kimenetet folyamatosan figyelni.

5. hiba – Szigetelési ellenállást hagyományos multiméterrel mérni. A multiméter nem ad elég magas mérőfeszültséget, és a mért érték nem a szigetelés állapotát mutatja. **Helyes gyakorlat:** erre a célra szigetelési ellenállás-mérőt használjunk.

15.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az ideális feszültségmérő belső ellenállása nulla.
2. Igaz vagy hamis? Az árammérőt a fogyasztóval párhuzamosan kell bekötni.
3. Számítás: egy áramkörben $U = 6{,}0\,\mathrm{V}$ feszültséget és $I = 0{,}50\,\mathrm{A}$ áramot mérek. Mekkora az ellenállás?
4. Mérési leírás hiba: „A relé tekercsét ellenállásmérővel, feszültség alatt mérem, hogy lássam a valós értéket.” Mi a hiba?
5. Egy feszültségosztó $R_1 = 2{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 2{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $U_{\mathrm{be}} = 12\,\mathrm{V}$. Mekkora U_{ki}?
6. Miért nem elég egy potenciométer teljes ellenállását egyszer megmérni?

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

15.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Egy fogyasztón áramot és feszültséget mérve $I = 2{,}5\,\mathrm{A}$, $U = 12{,}0\,\mathrm{V}$. Számítsa ki az ellenállást és a felvett teljesítményt.

2. feladat (A). Egy feszültségosztó $R_1 = 4{,}7\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, a bemenő feszültség $U_{\mathrm{be}} = 12\,\mathrm{V}$. Számítsa ki a kimenő feszültséget.

3. feladat (B). Három ellenállás: $R_1 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 2{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $R_3 = 3{,}0\,\mathrm{k\Omega}$. R_1 és R_2 párhuzamosan van kapcsolva, ezzel a párhuzamos rész sorba van kapcsolva R_3-mal. Számítsa ki az eredő ellenállást.

4. feladat (B). Egy potenciométer teljes ellenállása $10\,\mathrm{k\Omega}$. A csúszka a teljes úthossz 25%-ánál áll. Mekkora az ellenállás a csúszka és a kezdő szélső kivezetés között, ha a potenciométer lineáris?

5. feladat (C). Egy Wheatstone-híd adatai: $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 100\,\Omega$, $R_3 = 470\,\Omega$, és a híd kiegyenlített. Mekkora az ismeretlen R_x? Milyen következtetést von le, ha az R_3 ellenállás $500\,\Omega$-ra nőne?

6. feladat (D). Gyakorlati hibakeresés: egy járművű fűtőventilátora nem működik. A 12 V-os tápfeszültség a ventilátor csatlakozóján jelen van, de a ventilátor nem forog. Az ellenállásmérővel a ventilátor motor kivezetései között $0{,}4\,\Omega$ ellenállást mér. A gyártói adat szerint a ventilátor motor ellenállása 0,3–0,5 Ω. Mi a lehetséges ok? Hogyan ellenőrizné tovább?

15.2.12. Megoldások

15.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az ideális feszültségmérő belső ellenállása végtelen nagy, hogy ne terhelje az áramkört.
2. **Hamis.** Az árammérőt sorosan kell bekötni.

3. $R_x = U/I = 6{,}0/0{,}50 = 12\,\Omega$.
4. A hiba az, hogy feszültség alatt ellenállást mérni tilos; először feszültségmentesíteni kell.
5. $U_{\text{ki}} = 12 \cdot \frac{2000}{2000+2000} = 12 \cdot 0{,}5 = 6{,}0\,\text{V}$.
6. Mert a potenciométeren lehet szakadás vagy ugrás a csúszka mentén; a teljes ellenállás csak a szélső kivezetések közötti szakaszt írja le, a csúszka hibáját nem feltétlenül mutatja.

15.2.12.2. 1. feladat (A)

Adott: $I = 2{,}5\,\text{A}$, $U = 12{,}0\,\text{V}$. Keresett: R, P.

Képlet: $R = U/I$, $P = U \cdot I$.

Behelyettesítés: $R = 12{,}0/2{,}5 = 4{,}8\,\Omega$; $P = 12{,}0 \cdot 2{,}5 = 30\,\text{W}$. Ellenőrzés: $I^2 \cdot R = 2{,}5^2 \cdot 4{,}8 = 6{,}25 \cdot 4{,}8 = 30\,\text{W}$. ∎

15.2.12.3. 2. feladat (A)

Adott: $R_1 = 4{,}7\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 10\,\text{k}\Omega$, $U_{\text{be}} = 12\,\text{V}$. Keresett: U_{ki}.

Képlet: $U_{\text{ki}} = U_{\text{be}} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$.

Behelyettesítés:

$$U_{\text{ki}} = 12 \cdot \frac{10}{4{,}7 + 10} = 12 \cdot \frac{10}{14{,}7} \approx 8{,}16\,\text{V}.$$

Ellenőrzés: a nagyobb ellenálláson a bemenet kétharmadánál kissé több feszültség esik, reális. ∎

15.2.12.4. 3. feladat (B)

R_1 és R_2 párhuzamosan:

$$R_{12} = \frac{1{,}0 \cdot 2{,}0}{1{,}0 + 2{,}0} = \frac{2{,}0}{3{,}0} = 0{,}667\,\text{k}\Omega.$$

Sorosan R_3-mal:

$$R_{\text{e}} = R_{12} + R_3 = 0{,}667 + 3{,}0 = 3{,}667\,\text{k}\Omega \approx 3{,}67\,\text{k}\Omega.$$

Ellenőrzés: a párhuzamos rész kisebb a legkisebb tagnál, a soros rész nagyobb a legnagyobb tagnál, reális. ∎

15.2.12.5. 4. feladat (B)

Lineáris potenciométeren az ellenállás arányos az elmozdulással. A teljes $10\,\text{k}\Omega$ 25%-a:

$$R_x = 10\,\text{k}\Omega \cdot 0{,}25 = 2{,}5\,\text{k}\Omega.$$

Ellenőrzés: a csúszka 25%-os állása 2,5 kΩ-ot ad, 75%-nál 7,5 kΩ-ot, ami összhangban van. ∎

15.2.12.6. 5. feladat (C)

Wheatstone-híd kiegyenlített állapotban:

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2} = 470 \cdot \frac{100}{100} = 470\,\Omega.$$

Ha R_3 500 Ω-ra nő, a híd kiegyenlítetlenné válik; a méreműszer ekkor nullától eltérő feszültséget mutat. Következtetés: az ismeretlen ellenállás 470 Ω a kiegyenlítés alapján; az R_3 változtatásával a híd pontossága vagy a kiegyenlítés elvesztése vizsgálható. ∎

15.2.12.7. 6. feladat (D)

A terheletlen 12 V még nem bizonyítja, hogy a kör áramot is tud szállítani: egy nagy átmeneti ellenállás (korrodált csatlakozó, szakadó testvezeték) terhelés nélkül teljes feszültséget mutat, terheléskor viszont a feszültség összeomlik. Következő lépés ezért a feszültség mérése közvetlenül a motor kivezetésein, csatlakoztatott, bekapcsolt ventilátornál, valamint a feszültségesés mérése a táp- és a testoldalon (pl. 0,5 V fölött hibás; ellenőrizendő: gyártói határérték). Ha a motoron terhelés alatt is kb. 12 V van, és mégsem forog, a hiba a motorban van. A ventilátor motor ellenállása a gyártói tartományban van (0,4 Ω a 0,3–0,5 Ω tartományban), tehát a motor tekercselése nem szakadt és nem zárlatos. A lehetséges ok a motor **mechanikus szorulása** (pl. csapágy kopott, szénkefe beragadt, vagy a ventilátorlapát akadályba ütközik). Tovább ellenőriznénk: a ventilátorlapát szabadon forgatható-e, a motor tengelye nem szorul-e; áramfelvételt mérnénk terhelés alatt (ha az áram nagyon magas, mechanikus blokk vagy zárlatos tekercs van); ha a motor szabadon forog, de áramot nem vesz fel, a szénkefék vagy a kommutátor hibája lehet. A végső döntést a gyártói javítási utasítás szerint hozzuk meg. ∎

15.2.13. Rövid összefoglaló

Az egyenáramú alapmérések az autószerelő diagnosztikai munkájának alapjai. A feszültséget mindig párhuzamosan, az áramot mindig sorosan mérjük; ellenállást csak feszültségmentes állapotban mérünk. A feszültség–áram módszerrel $R_x = U/I$, a feszültségosztóval $U_{\text{ki}} = U_{\text{be}} \cdot R_2/(R_1+R_2)$, a teljesítmény pedig $P = U \cdot I$ szerint számolható. A Wheatstone-híd kiegyenlítéskor $R_x = R_3 \cdot R_1/R_2$. A járművekben gyakori potenciométeres jeladókat lassú mozgatással, teljes tartományban ellenőrizzük; a relénél a tekercsellenállást és a munkaérintkező záró ellenállását mérjük. A szigetelési ellenállást csak megfelelő műszerrel, feszültségmentesítés után szabad mérni. Minden mérési eredményt mértékegységgel, mérési ponttal és műszerbeállítással együtt rögzítünk a mérési jegyzőkönyvben. **Továbbvitt eredmény.** Az itt kialakított jegyzőkönyv-vezetési és mérési fegyelem alapja az Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata fejezetnek, ahol a jelalakokat és a változó mennyiségeket is értékelni kell.

15.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: tankönyvek az elektrotechnika és a villamos mérések alapjairól, multiméter- és szigetelési ellenállás-mérő gyártói leírások, MSZ EN 61010 és MSZ EN 61557 szabványcsalád (**ellenőrizendő:** aktuális jelzetek és mérési kategóriák), gyártói javítási utasítások a relék, potenciométerek és ventilátormotorok adataihoz.

Ellenőrizendő állítások: a relé tekercsellenállás-tartományok, a munkaérintkező maximális ellenállása, a húzó- és elengedő feszültség jellemző értékei, a potenciométer gyártói karakterisztikája, a szigetelési ellenállás mérési feszültsége és határértéke, valamint a hulladékkezelési

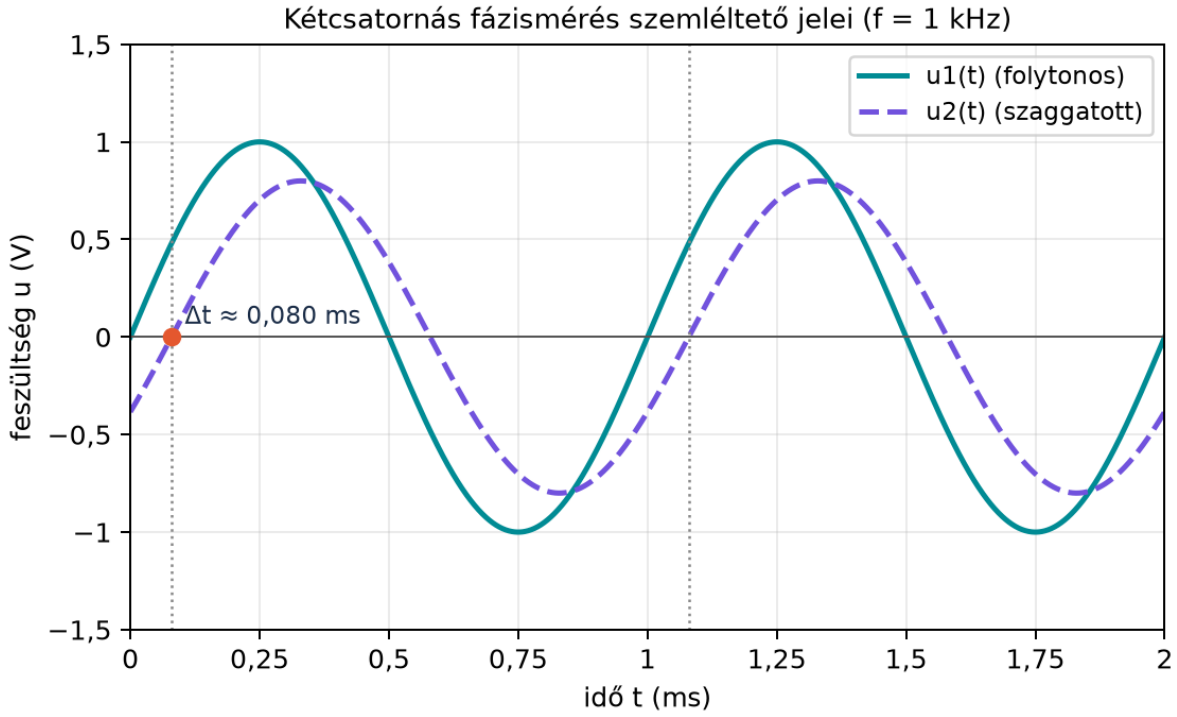
szabályzat pontos hivatkozása. A példában szereplő 0,3–0,5 Ω ventilátormotor-ellenállás tanulási példa, nem gyártói adat.

15.3. Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata

A multiméterrel mért „12 V” gyakran csak egy időbeli átlag. A jármű fedélzeti elektronikájában azonban gyors jelváltozások, fáziseltolások és egyedi jelalakok hordozzák a diagnosztikai információt: a főtengely-jeladó fogankénti impulzusai, a gyújtótekercs primer feszültségcsúcsa, a lambdaszonda változó jelszintje. Ebben az alfejezetben az oszcilloszkópot és a hozzá kapcsolódó váltakozó áramú méréseket építjük fel a tanműhelyi méréstől a járműdiagnosztikai alkalmazásig.

15.3.1. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy kétcsatornás oszcilloszkópot. Az 1. csatornára egy szinuszos jelet kötünk, a 2. csatornára ugyanannak a jelnek egy fáziskésleltetett változatát. A képernyőn két, egymáshoz képest időben eltolt görbét látunk. A feszültségosztás (függőleges) például 0,5 V/oszt, az időalap (vízszintes) 0,2 ms/oszt. Az oszcilloszkóp belső triggerje a jel felfutó élénél indítja a rajzolást, így a kép nem „fut”, hanem áll.



15.7. ábra. Kétcsatornás fázismérés szemléltető jelei (f = 1 kHz) - Szemléltető szinuszos jelek: u1 (folytonos) és u2 (szaggatott); f = 1 kHz, T = 1 ms, $\Delta t \approx 0{,}080$ ms $\rightarrow \varphi = 360° \cdot \Delta t/T \approx 28{,}6°$ (u2 késik). A jelalak nem mért érték, hanem a mérési elv bemutatására szolgál.

A vízszintes tengelyen az idő, a függőlegesen a feszültség van. A két görbe közötti vízszintes eltolásból számítható a fázisszög (itt $\Delta t \approx 0{,}080\,\text{ms}$, $T = 1\,\text{ms}$, így $\varphi \approx 28{,}6°$, u2 késik), a csúcsértékből pedig az effektív feszültség.

Definíció. Az **oszcilloszkóp** olyan mérőműszer, amely a feszültség időbeli alakját rajzolja ki. A hagyományos analóg oszcilloszkóp elektronsugárral, a modern digitális tárolós oszcilloszkóp (DSO) pedig a jel mintavételezésével és A/D-átalakítás után digitálisan jeleníti meg a jelalakot.

Összefüggés. A jelalak leolvasásának két alapbeállítása a **függőleges csatorna** (feszültségosztás, V_{div}) és az **időalap** (időosztás, t_{div}). Ha egy jel csúcsa N osztás magas, periódusa M osztás széles, akkor

$$U_{\text{cs}} = N \cdot V_{\text{div}}, \qquad T = M \cdot t_{\text{div}}, \qquad f = \frac{1}{T}.$$

Szinuszos jel esetén az effektív érték:

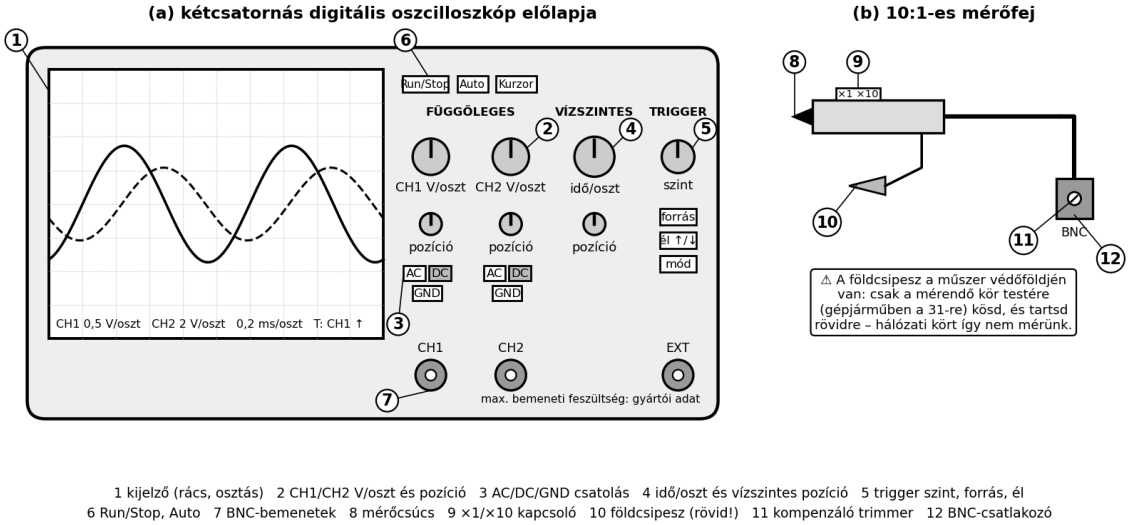
$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{cs}}}{\sqrt{2}}.$$

Szabály. Mérés előtt meg kell győződni a mérőszonda csillapításáról (jellemzően 1:1 vagy 10:1). Ha 10:1 szondát használunk, az oszcilloszkóp feszültségosztás-beállításánál is ezt kell kiválasztani, különben tízszeres hibával olvasunk le.

15.3.2. Felépítés és működés

A **jelgenerátor** (függvénygenerátor) a mérési összeállítás aktív forrása. Kezelőszervei: - jelalak-választó (sinus, négyszög, háromszög), - frekvenciabeállító, amplitúdó- és offset-szabályzó, - kimeneti csatlakozó, gyakran $50\,\Omega$ belső ellenállással, - esetleg százalékos kitöltési tényező (duty cycle) beállítás, ami négyszögjelnél fontos.

A laboratóriumi oszcilloszkóp fő egységei: - **függőleges erősítő** és bemeneti csatolás (AC/DC), feszültségosztó, - **időalap-generátor**, amely a vízszintes eltérítést vezérli, - **trigger**, amely a kép indítását stabilizálja, - kijelző, digitális készüléknél memória és mérési kurzorok.



15.8. ábra. Kétcsatornás oszcilloszkóp előlapja számozott kezelőszervekkel és a 10:1-es mérőfej részei

A rajz a felsorolt egységeket a kezelőszerveken mutatja: 1 kijelző, 2 függőleges erősítő (V/oszt, pozíció), 3 AC/DC/GND csatolás, 4 időalap, 5 trigger (szint, forrás, él), 6 Run/Stop és Auto, 7 BNC-bemenetek; a mérőfejen 8 mérőcsúcs, 9 $\times 1/\times 10$ kapcsoló, 10 földcsipesz, 11 kompenzáló trimmer, 12 BNC-csatlakozó. A földcsipesz a műszer védőföldjén van, ezért csak a mérendő kör testére köthető. A HTML-kiadásban a részekre mutatva megjelenik a nevük és a hatásuk.

Trigger. A trigger akkor indítja a kép felfrissítését, amikor a jel egy beállított feszültségszintet adott irányban (felfutó vagy lefutó él) átlép. Ha a trigger szintje a jel tartományán kívül van, normál üzemmódban nem indul rajzolás, a kép áll vagy vándorol.

Példa. Egy szinuszjel 2 V csúcsú, a trigger szint 0,5 V, felfutó él. A rajzolás akkor indul, amikor a jel felfelé átlépi az 0,5 V-ot. Így a megjelenített időablak mindig azonos fázisban kezdődik.

A digitális oszcilloszkóp **mintavételi frekvenciája** és **sávszélessége** határozza meg, milyen gyors változásokat képes hűen mutatni. A gyakorlati szabály: a műszer sávszélessége legalább a mért jel legnagyobb értelmes harmonikus frekvenciájának többszöröse legyen (ellenőrizendő: a gyártói specifikáció alapján).

15.3.3. Váltakozó áramú mérések

15.3.3.1. Reaktancia és impedancia

Egy alkatrész reaktanciáját vagy impedanciáját a tanműhelyben feszültség- és árammérésből határozhatjuk meg. A Váltakozó áram, reaktanciák, RLC-körök és teljesítmény alfejezetben már megismertük:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L, \qquad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Soros RL vagy RC körben a teljes impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \qquad \varphi = \arctan \frac{X}{R},$$

ahol a fázisszög előjele RL körnél pozitív (feszültség siet), RC körnél negatív (feszültség késik).

Mérési elv. Az impedancia méréséhez kapcsoljunk sorba egy ismert ellenállást és a mérendő elemet. A jelgenerátor szinuszos feszültségét f frekvencián kapcsoljuk a körre. Mérjük meg: - a teljes feszültséget (U), - az áramot (I) multiméterrel vagy az ismert ellenállás feszültségéből ($I = U_R/R$), - a fáziskülönbséget oszcilloszkóppal (Δt-ből).

Ebből:

$$|Z| = \frac{U}{I}, \qquad R = |Z|\cos\varphi, \qquad X = |Z|\sin\varphi.$$

A mért X és az ismert f segítségével a L vagy C visszaszámolható. A gyakorlatban azonban tekercsnél a soros ohmos ellenállás, kondenzátornál a veszteség is befolyásolja az eredményt.

15.3.3.2. Fáziskülönbség mérése kétcsatornás üzemben

Kétcsatornás oszcilloszkóppal a fáziseltolást időeltolásból mérjük. Az 1. csatornát a referenciajelre, a 2. csatornát a vizsgált jelre kötjük. A periódusidő T, a két jel azonos pontja (pl. felfutó nullátmenet) közötti idő Δt. A fázisszög:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\Delta t}{T}.$$

Ha a 2. csatorna jele jobbra tolódik (késik), a fázisszög negatív, ha balra (siet), pozitív.

15.3.3.3. Egyfázisú teljesítmény mérése

A feszültség és az áram effektív értékének, valamint a fáziskülönbségnek az ismeretében a teljesítmények:

$$S = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}, \qquad P = S\cos\varphi, \qquad Q = S\sin\varphi.$$

Tanműhelyi mérésnél a U_{eff}-et és I_{eff}-et multiméterrel, a φ-t oszcilloszkóppal mérjük. Laborkörnyezetben gyakran wattmérőt is használunk, amely közvetlenül a hatásos teljesítményt mutatja.

Figyelem. Hálózati feszültségen csak megfelelő mérési kategóriájú (CAT II vagy CAT III, ellenőrizendő) műszerrel, leválasztó transzformátorról vagy biztonsági mérővezetékkel dolgozzunk. A csupasz mérési pont érintése életveszélyes.

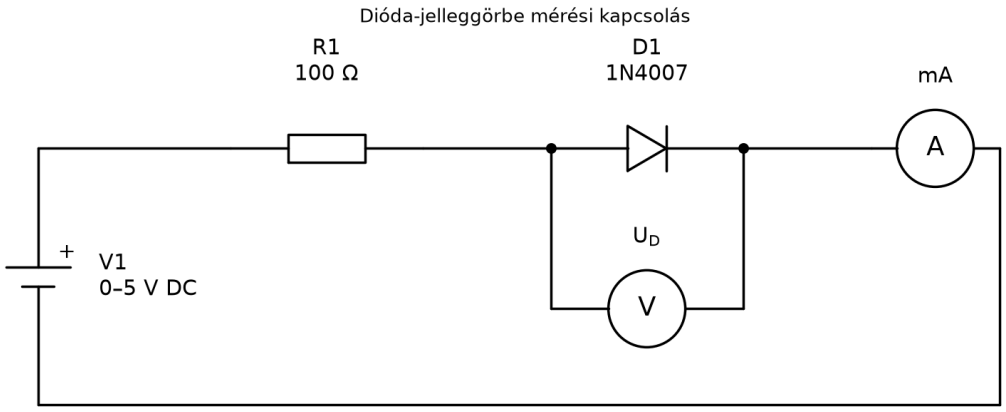
Tilos. A hálózati táplálású oszcilloszkóp szondáinak földelő csipesze a védőföldhöz kapcsolódik; nem köthető fázisvezetőre vagy nem földpotenciálú pontra, mert zárlat, a szonda és a műszer tönkremenetele, áramütés és ívsérülés lehet a következmény. Hálózati körben csak leválasztó transzformátorról táplált mérőpanelen, vagy differenciális (leválasztott) szondával, illetve leválasztott csatornás, megfelelő mérési kategóriájú műszerrel mérünk, oktató felügyeletével. A két csatorna földelő csipesze mindig ugyanarra a pontra kerüljön.

15.3.4. Félvezetők vizsgálata és jelleggörbe felvétele

A dióda a gépjármű-villamosságban gyakori elem: generátor egyenirányító hídjában, relék védődiódájaként, LED-es világításban. A helyes méréshez ismernünk kell a félvezető nyitó- és záróirányú viselkedését.

Dióda mérése multiméterrel. A multiméter dióda-teszt állásában a műszer kis mérőáramot bocsát az alkatrészen át. Nyitóirányban egy szilíciumdiódánál körülbelül 0,5–0,7 V feszültségesés mérhető, záróirányban pedig lényegében nincs áram, a műszer túlcsordulást vagy nagy ellenállást mutat (ellenőrizendő: konkrét típusadat). Schottky-diódánál a nyitófeszültség alacsonyabb, jellemzően 0,2–0,4 V.

Az egyszerű áramköri vizsgálathoz a következő kapcsolást használjuk:



15.9. ábra. Dióda-jelleggörbe mérési kapcsolás - Szemléltető kapcsolás; a feszültséget változtatjuk, a dióda áramát az ampermérőn (vagy az R1 feszültségéből, I_D = U_R/R), a dióda feszültségét (U_D) a vele párhuzamos voltmérővel mérjük. X-Y üzemmódban: X = U_D (a dióda két kivezetése), Y = U_R1 (az R1 két kivezetése), DC csatolással. Az alkatrészértékek tanulási példák.

Jelleggörbe felvétele pontonként. A forrásfeszültséget lépésben növeljük, és minden lépésnél leolvassuk a dióda feszültségét (U_D) és áramát (I_D). Az összetartozó értékpárokból ábrázoljuk az $I_D(U_D)$ görbét. A nyitóirányú áram a küszöbfeszültség alatt alig változik, majd gyorsan nő.

X-Y üzemmód. Az oszcilloszkópon a vízszintes eltérítést a dióda feszültségével, a függőlegest az árammal arányos feszültséggel hajtjuk. Így a készülék közvetlenül a jelleggörbét rajzolja ki. Az áram méréséhez az ismert soros ellenállás feszültségét használjuk, mert $I_D = U_R/R$. A vízszintes és függőleges csatolást DC állásba kell tenni, hogy az egyenkomponens is megjelenjen.

Egyszerű elektronikus áramkör mérése. A híddiódás egyenirányító és a pufferkondenzátor klasszikus mérési feladat. Az oszcilloszkóp 1. csatornáját a váltakozó bemenetre, 2. csatornáját a kondenzátor kimenetére kötjük. A bemeneten szinuszjelet, a kimeneten egyenirányított, enyhén hullámos feszültséget látunk. A hullámosság csúcsértéke (búgófeszültség) a terheléstől és a kondenzátor értékétől függ. Ezt a mérést felhasználhatjuk a generátor egyenirányító hibájának megértéséhez is: ha az egyik dióda szakadt, a hullámosság megnő, és a feszültség alacsonyabb lesz.

15.3.5. Átvezetés a járműdiagnosztikai oszcilloszkópra

A járműiparban az oszcilloszkóp a dinamikus jelalakok elsődleges vizsgálóeszköze. A márkaszervizek **járműdiagnosztikai oszcilloszkóppal** (gyakran rendszerteszterbe épített vagy különálló műszerrel) veszik fel a jeladók jeleit, és a mért jelalakot a gyártói referenciajelhez hasonlítják. Például az induktív főtengely-jeladó feszültsége közel szinuszos, a Hall-jeladó négyszöges, a gyújtótekercs primer oldalán pedig nagy induktív feszültségcsúcs figyelhető meg.

Továbbvitt eredmény. A feszültségosztás, az időalap és a trigger beállításának, valamint a kétcsatornás fázis- és jelalakmérésnek az itt tanult módszere közvetlenül használható a Érzékelők és jeladók alfejezetben a jeladójelek vizsgálatára, a Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája alfejezetben a buszfeszültség-mintázatok ellenőrzésére, valamint a Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika alfejezetben a gyújtótekercs és a jeladó jeleinek mérésére.

15.3.6. Kidolgozott példák

1. példa (A szint). Az oszcilloszkóp függőleges osztása 0,5 V/oszt, a szinuszjel csúcsa 5,2 osztás magas. Az időalap 0,1 ms/oszt, a periódus 4,0 osztás széles. Számítsuk ki a csúcsfeszültséget, az effektív feszültséget és a frekvenciát.

Adott: $V_{\mathrm{div}} = 0{,}5\,\mathrm{V/oszt}$, $N = 5{,}2$, $t_{\mathrm{div}} = 0{,}1\,\mathrm{ms/oszt} = 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{s/oszt}$, $M = 4{,}0$. Keresett: U_{cs}, U_{eff}, f.

Képlet és behelyettesítés:

$$U_{\mathrm{cs}} = 5{,}2 \cdot 0{,}5\,\mathrm{V} = 2{,}6\,\mathrm{V},$$

$$U_{\mathrm{eff}} = \frac{2{,}6\,\mathrm{V}}{\sqrt{2}} \approx 1{,}84\,\mathrm{V},$$

$$T = 4{,}0 \cdot 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{s} = 4{,}0 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{s},$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}0 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{s}} = 2500\,\mathrm{Hz} = 2{,}5\,\mathrm{kHz}.$$

Az eredmény nagyságrendje tipikus tanműhelyi jel, az egység pedig helyes. ∎

2. példa (B szint). Soros RC körben $R = 100\,\Omega$, $C = 220\,\mathrm{nF}$, a generátor frekvenciája $f = 1\,\mathrm{kHz}$. Számítsuk ki a kapacitív reaktanciát, az impedanciát és a fázisszöget, majd ellenőrizzük mérési eljárással.

Képletek:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000\,\mathrm{Hz} \cdot 220 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F}} \approx 723\,\Omega,$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{100^2 + 723^2}\,\Omega \approx 730\,\Omega,$$

$$\varphi = \arctan\frac{-X_C}{R} = \arctan\frac{-723}{100} \approx -82{,}1^\circ.$$

A mérés során a generátor feszültsége $U = 5\,\mathrm{V_{eff}}$, a mért áram $I \approx 6{,}85\,\mathrm{mA}$, így $|Z| \approx 730\,\Omega$, ami egyezik a számolttal. A fázismérésnél $\Delta t = 0{,}228\,\mathrm{ms}$, $T = 1\,\mathrm{ms}$, ezért $\varphi \approx -82{,}1^\circ$. A negatív előjel azt mutatja, hogy a feszültség késik az áramhoz képest, ami RC körben elvárt. ∎

Hibás példa. A tanuló 10:1 szondát használ, de az oszcilloszkópot 1:1-es szondabeállításon felejti. A képernyőn a jel csúcsa 0,26 osztás, a feszültségosztás 1 V/oszt, ezért 0,26 V-ot olvas le. A valós csúcs ettől tízszer nagyobb, 2,6 V. A hiba tipikus, mert a csillapítás beállítását elfelejtik. A helyes gyakorlat: a szonda felirata és a műszer beállítása mindig egyezzen meg, és a mérés előtt a kalibráló jellel ellenőrizzük.

15.3.7. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista. Mielőtt egy oszcilloszkópos mérési eredményt elfogadunk, végezzük el az alábbi ellenőrzéseket: 1. A szonda csillapítása és a műszer csatornabeállítása azonos (1:1 vagy 10:1). 2. A bemeneti csatolás a mérésnek megfelelő: DC, ha az egyenkomponens is fontos, AC, ha csak a váltakozó rész. 3. A trigger forrása, szintje és éliránya a jelalak stabilizálására alkalmas. 4. A képernyőn legalább egy teljes periódus látható. 5. A leolvasásnál a kurzorokat vagy az osztáshálót használjuk, ne becsüljünk szemre. 6. A dióda mérésénél a nyitó- és záróirányt is ellenőrizzük.

Dióda ellenőrzés. Szilíciumdiódánál a nyitófeszültség körülbelül 0,5–0,7 V, záróirányban a multiméter nem mutat áramot. Ha a nyitóirányú feszültségesés ennél lényegesen nagyobb, vagy záróirányban is folyik áram, a dióda hibás.

15.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Figyelem. A gyújtótekercs primer oldalán a megszakításkor több száz voltos csúcs jelenik meg: csak a csúcsfeszültségre méretezett csillapító szondával (pl. 10:1 vagy 20:1) vagy a gyártói gyújtásadapterrel mérj; a szekunder (nagyfeszültségű) oldalt közvetlenül mérni tilos, arra kapacitív gyújtásfogó való. Járó motornál ügyelj a forgó és forró alkatrészekre, zárt térben csak elszívással járasd a motort.

Ügyfélpanasz: „A motor melegen időnként kihagy, hidegen jól jár, és a hibatárolóban néha gyújtáskihagyás kód van.”

Tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás. A szerelő a gyújtótekercs primer vezérlőjelét és a főtengely-jeladó jelét oszcilloszkóppal méri. Hideg motornál a primer feszültség jelalakja szabályos: rövid zárási felfutás, lapos gerjesztési szakasz, éles megszakítási csúcs. Meleg motornál a 2. henger gyújtótekercsénél a zárási szakasz hirtelen megrövidül, a megszakítási csúcs kisebb, időnként teljesen elmarad. A hőre jelentkező hiba a gyújtómodul vagy a primer kör csatlakozójának melegedésre megnövekvő ellenállására utal. A multiméter nem mutatta a hibát, mert az átlagos feszültséget és ellenállást hideg állapotban mérte. A csatlakozó tisztítása és a gyújtómodul cseréje után a primer jelalak meleg motornál is stabil, a hiba eltűnik.

Tanulság. Az oszcilloszkóp akkor a leghasznosabb, amikor a hiba csak meleg állapotban, terhelés alatt vagy időszakosan jelentkezik.

15.3.9. Gyakorlati útmutató

Munkalap: dióda jelleggörbe felvétele és oszcilloszkópos alapmérés

Cél: a dióda nyitóirányú jelleggörbéjének felvétele, valamint az oszcilloszkóp feszültség- és időalap-beállításának gyakorlása.

Jármű- és adatazonosítás: tanműhelyi mérőpanel; dióda típusa jegyzőkönyvben rögzítve, például 1N4007 (ellenőrizendő: típusadat).

Szükséges műszerek, szerszámok, anyagok: digitális oszcilloszkóp (két csatorna, X-Y üzemmód), függvénygenerátor, két multiméter, változtatható egyenfeszültségű tápegység, mérőpanel, mérővezetékek, dióda, ellenállás 100 Ω, jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: a mérési pontokon csak feszültségmentes állapotban csatlakoztassuk át a vezetékeket; az elektronikai próbapanelt ne hagyjuk feszültség alatt felügyelet nélkül; a hibás vagy feleslegessé vált alkatrészeket elektronikai hulladékként kezeljük.

Számozott munkalépések: 1. Ellenőrizzük, hogy a tápegység kikapcsolt állapotban van, a kimeneti feszültség nullán. 2. Állítsuk össze a diódás kapcsolást az ábra szerint: forrás pozitív kapcsa, soros ellenállás, dióda nyitóirányban, árammérő, visszavezetés a negatív kapocsra. 3. A multimétert párhuzamosan a diódára kötjük feszültségméréshez. 4. Kapcsoljuk be a tápegységet, és növeljük a feszültséget kis lépésekben. 5. Minden lépésnél jegyezzük fel az áramot és a diódafeszültséget. 6. A mérési pontokból ábrázoljuk a jelleggörbét, majd hasonlítsuk össze a tipikus küszöbfeszültséggel. 7. Kapcsoljuk ki a tápegységet, és válasszuk le a mérővezetékeket.

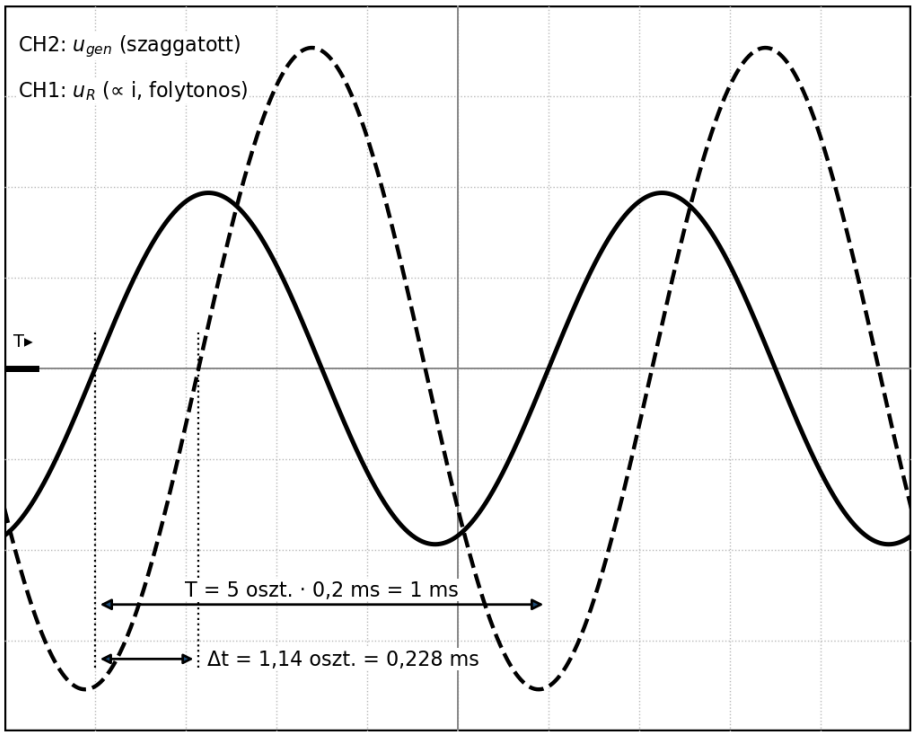
Ellenőrzési pontok: nyitóirányú küszöbfeszültség körül a várt érték 0,5–0,7 V; záróirányú mérésnél a multiméter ne mutasson áramot; a mért pontok sima exponenciális jellegű görbét adjanak.

Tipikus hibák: a dióda fordított bekötése, a tápegység feszültségének túl gyors növelése, a soros ellenállás elhagyása, amitől nagy áram folyhat és a dióda tönkremehet.

Dokumentálás: mérési jegyzőkönyvben a mérési pontok táblázata, a görbe, a használt műszerek típusa és a mért jellemzők.

15.3.10. Eljárás: oszcilloszkóp beállítási lépéssor

Számozott eljárás. Ha bármilyen jelalakot szeretnénk megjeleníteni, kövessük ezt a sorrendet: 1. Kapcsoljuk be az oszcilloszkópot, és várjuk meg az önteszt lefutását. 2. Csatlakoztassuk a mérőszondát a csatornához, és a földelő krokodilt a mérendő áramkör testpontjához (járműn: a test/31; hálózati körön lásd a Tilos-dobozt). 3. Válasszuk ki a szonda csillapítását a műszeren (1:1 vagy 10:1). 4. Állítsunk be durva feszültségosztást, például 1 V/oszt. 5. Állítsunk be időalapot, például 0,5 ms/oszt. 6. Válasszunk bemeneti csatolást: DC vagy AC. 7. Adjunk jelet a generátorból, és forgassuk a trigger szintjét addig, amíg a kép stabil nem lesz. 8. Finomítsuk a feszültség- és időosztást, hogy a jel kényelmesen kitöltse a képernyőt. 9. Olvassuk le a csúcs- és periódusértékeket az osztásháló vagy a kurzorok segítségével.



15.10. ábra. Oszcilloszkóp-képernyő a 2. példa beállításával: CH1 0,5 V/oszt, CH2 2 V/oszt, 0,2 ms/oszt; T = 1 ms, Δt = 0,228 ms

A statikus ábra a 2. példa képernyőjét mutatja: a CH1 az ellenálláson eső, az árammal arányos feszültség (folytonos), a CH2 a generátorfeszültség (szaggatott); a periódus 5 osztás = 1 ms, a CH2 késése 1,14 osztás = 0,228 ms, így $\varphi \approx -82{,}1^\circ$. A HTML-kiadás oszcilloszkóp-szimulátorában a lépéssor gyakorolható: V/oszt, időalap, csatolás, trigger forrás, szint és él, a szonda csillapítása (a műszeren és a valós szondán külön), kurzorok; a trigger szintjét a jelen kívülre állítva a kép „fut”, a „hibás példa” kapcsolóval pedig a 10:1-es szonda 1:1-es beállítása miatti 0,26 V-os téves leolvasás látható.

15.3.11. Tipikus hibák

1. **Elfelejtett** 10:1 **szondacsillapítás.** A tanuló a képernyőn leolvasott értéket nem szorozza be, vagy a műszer beállítását nem egyezteti a szondával. Helyes gyakorlat: mindig ellenőrizni a szonda jelölését és a csatorna beállítást, majd kalibráló jellel tesztelni.
2. **Rossz triggerbeállítás.** Ha a trigger szint a jelen kívül van, vagy a forrás rossz csatornára hivatkozik, a kép vándorol vagy nem indul el. Helyes gyakorlat: a trigger forrása legyen a jelcsatorna, a szint a jel középső tartományába essen, és az él iránya a jelalaknak megfelelő legyen.
3. **Hosszú, tekeredő földelővezeték.** A szonda földelő krokodilja hosszú vezetékkel felcsatolja a zajt, és a gyors jeleknél csengést okozhat. Helyes gyakorlat: a lehető legrövidebb földelési utat használjuk, lehetőleg közvetlenül a mérési pont közelében.
4. **AC csatolással egyenjelet mérni.** AC csatolásnál az oszcilloszkóp leválasztja az egyenkomponenst, így például egy szenzor tápfeszültség-szintjét nem tudjuk leolvasni. Helyes

gyakorlat: az egyen- és váltakozó komponenst egyaránt tartalmazó jelnél DC csatolást használjunk, és ha szükséges, külön mérjük az egyenszintet multiméterrel.

15.3.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A 10:1 oszcilloszkópszonda csökkenti a mérőműszer által a vizsgált áramkörből elvett terhelést, ezért a leolvasott feszültséget nem kell módosítani. (Indokold!)
2. Oszcilloszkópon a feszültségosztás 0,5 V/oszt, a szinusz csúcsa 6,0 osztás; az időalap 0,2 ms/oszt, a periódus 5,0 osztás. Mekkora a csúcsfeszültség, az effektív feszültség és a frekvencia?
3. Kétcsatornás mérésnél a periódusidő $T = 2\,\text{ms}$, a két jel közötti időtolás $\Delta t = 0{,}5\,\text{ms}$. Mekkora a fáziskülönbség fokban?
4. Miért vándorol vagy áll meg a kép, ha az oszcilloszkóp normál trigger üzemmódban van, és a trigger szint nincs a jel tartományán belül?
5. Mit mutat a multiméter dióda-teszt állásban egy egészséges szilíciumdiódánál nyitó- és záróirányban?
6. Miért helytelen AC csatolással mérni egy olyan jel egyenszintjét, amely egyen- és váltakozó komponenst is tartalmaz?

15.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja az oszcilloszkóp időalapját és feszültségosztását, majd adja meg, hogyan számítjuk a periódusidőt és a csúcsfeszültséget egy leolvasásnál.

2. feladat (A). Egy szinuszjel csúcsa az oszcilloszkópon 4,4 osztás, a feszültségosztás 0,2 V/oszt. A jel tizenkét periódusa 6,0 osztás széles, az időalap 0,1 ms/oszt. Számítsa ki a csúcsfeszültséget, az effektív feszültséget és a frekvenciát.

3. feladat (B). Soros RL körben $R = 47\,\Omega$, $L = 10\,\text{mH}$, a mérőfrekvencia $f = 2\,\text{kHz}$. Számítsa ki a reaktanciát, az impedanciát és a fázisszöget. Rajzolja le a mérési kapcsolást, és adja meg, milyen műszereket kötne be.

4. feladat (B). Kétcsatornás oszcilloszkóppal mérünk. A referenciajel periódusideje $T = 4\,\text{ms}$, a vizsgált jel felfutó nullátmenete 1,2 ms-mal később van. Mekkora a fáziskülönbség, és milyen előjelű? Hogyan állítaná be a triggert a méréshez?

5. feladat (C). Soros RLC rezgőkörben $L = 10\,\text{mH}$, $C = 100\,\text{nF}$. Számítsa ki a rezonanciafrekvenciát. Ismertesse, hogyan mérné meg az oszcilloszkóppal a rezonanciapontot: mit jelez a körben mérhető áram vagy az ellenálláson eső feszültség a rezonanciafrekvencia közelében?

6. feladat (D). Ügyfélpanasz: egy Hall-elvű vezérműtengely-jeladó jelét az ECU nem fogadja el, a motor nem indul. Az oszcilloszkóppal a jeladó kimenetén a tápfeszültség 0 V, a jel kimenete lebeg. A multiméter ellenállásmérése a jeladó testpontja és a járműtest között 0,2 Ω. Mi a következő mérési lépés, és mi lehet a hiba oka?

15.3.14. Megoldások

15.3.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A 10:1 szonda valóban kisebb terhelést jelent a mért áramkörre, de a leolvasott feszültséget a 10 csillapítás figyelembevételével kell értékelni. Ha a műszeren is 10:1-es

szondabeállítás van, a kijelzett érték már a tényleges feszültség; ha viszont 1:1-es beállításon mérünk, a leolvasott értéket meg kell szorozni tízzel.

2. $U_{\mathrm{cs}} = 6{,}0 \cdot 0{,}5\,\mathrm{V} = 3{,}0\,\mathrm{V}$; $U_{\mathrm{eff}} \approx 2{,}12\,\mathrm{V}$; $T = 5{,}0 \cdot 0{,}2\,\mathrm{ms} = 1{,}0\,\mathrm{ms}$; $f = 1\,\mathrm{kHz}$.

3. $\varphi = 360^\circ \cdot \frac{0{,}5}{2{,}0} = 90^\circ$.

4. Normál trigger üzemmódban a kép felfrissítése csak akkor indul, ha a kiválasztott triggerforrás jele átlépi a beállított szintet. Ha a szint a jel tartományán kívül van, nincs trigger esemény, ezért a kép nem rajzolódik ki, vagy véletlenszerűen indul, így vándorol.

5. Nyitóirányban egészséges szilíciumdiódánál a multiméter körülbelül 0,5–0,7 V feszültségesést mutat. Záróirányban nem mutat áramot, a kijelzés általában túlcsordulást vagy nagyon nagy ellenállást jelez.

6. Az AC csatolás egy soros kondenzátorral leválasztja az egyenkomponenst, ezért a mért feszültségből eltűnik az egyenszint. Az egyenkomponens leolvasásához DC csatolást kell használni, vagy a jelet külön multiméterrel kell megmérni.

15.3.14.2. Feladatok megoldása

1. feladat. Az időalap az oszcilloszkóp vízszintes tengelyének skálája, megadja, hogy egy osztás hány másodpercnek felel meg (t_{div}). A feszültségosztás a függőleges tengely skálája, megadja, hogy egy osztás hány volttal egyenlő (V_{div}). A periódusidő $T = M \cdot t_{\mathrm{div}}$, a csúcsfeszültség $U_{\mathrm{cs}} = N \cdot V_{\mathrm{div}}$, ahol M az osztások száma a periódusra, N az osztások száma a csúcsra.

2. feladat. Adott: $N = 4{,}4$, $V_{\mathrm{div}} = 0{,}2\,\mathrm{V/oszt}$; 12 periódus $M_{12} = 6{,}0$ osztáson, $t_{\mathrm{div}} = 0{,}1\,\mathrm{ms/oszt}$.
Keresett: U_{cs}, U_{eff}, f.

$U_{\mathrm{cs}} = 4{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}88\,\mathrm{V}$.

$U_{\mathrm{eff}} = \frac{0{,}88}{\sqrt{2}} \approx 0{,}62\,\mathrm{V}$.

Egy periódus osztásszáma: $M = 6{,}0/12 = 0{,}50$ osztás. $T = 0{,}5 \cdot 0{,}1\,\mathrm{ms} = 0{,}05\,\mathrm{ms} = 5 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{s}$.
$f = 1/T = 20\,\mathrm{kHz}$.

Ellenőrzés: a 20 kHz tipikus tanműhelyi jel, a tételek az egységekkel együtt rendben. ∎

3. feladat. Adott: $R = 47\,\Omega$, $L = 10\,\mathrm{mH} = 0{,}01\,\mathrm{H}$, $f = 2000\,\mathrm{Hz}$.
$X_L = 2\pi f L = 2\pi \cdot 2000 \cdot 0{,}01 \approx 125{,}7\,\Omega$.
$Z = \sqrt{47^2 + 125{,}7^2} \approx 134\,\Omega$.
$\varphi = \arctan(125{,}7/47) \approx 69{,}5^\circ$.
A méréshez a jelgenerátort sorba kötjük az ellenállással és a tekerccsel. A teljes feszültséget multiméterrel, az áramot az ellenállás feszültségéből számítva vagy árammérővel mérjük. Az oszcilloszkóp két csatornájával a generátor feszültségét és az ellenállás feszültségét mérjük, az időtolásból a fázisszög meghatározható.

4. feladat. $T = 4\,\mathrm{ms}$, $\Delta t = 1{,}2\,\mathrm{ms}$.
$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{1{,}2}{4{,}0} = 108^\circ$.
A vizsgált jel késik, ezért a fázisszög $\varphi = -108^\circ$ (vagy ekvivalensen $+252^\circ$). A triggert a referenciajel csatornájára állítanám felfutó élre, és a szintet a jel középső tartományába.

5. feladat. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} \approx 5033\,\mathrm{Hz}$. Soros rezgőkörben a rezonanciafrekvencián az impedancia minimális, ezért az áram maximális, és az ellenálláson eső feszültség is maximális. Az oszcilloszkóppal az ellenállás feszültségét figyelve a frekvenciát lassan változtatjuk, és megkeressük a maximumot.

6. feladat. A következő mérés a jeladó tápfeszültség-csatlakozójának feszültségmérése az ECU felőli csatlakozónál, terhelés alatt is. Ha a tápfeszültség ott megvan, akkor a vezeték szakadt vagy a csatlakozó érintkezője hibás. A testedés jó ($0{,}2\,\Omega$), így a testkör vélhetően rendben. A hiba oka lehet: szakadt tápvezeték, korrodált csatlakozópont vagy az ECU tápkimenetének hibája. A mérési lépést feszültségmentes állapotban, majd a csatlakozók visszanyomása után terhelés alatt is el kell végezni.

15.3.15. Rövid összefoglaló

Az oszcilloszkóp a feszültség időbeli alakját jeleníti meg. A mérés előtt a szonda csillapítását és a csatorna feszültségosztását egyeztetni kell, az időalapot pedig a periódushoz kell igazítani. A trigger felfutó vagy lefutó élre, megfelelő szintre állítva stabil képet ad. Szinuszos jelnél a csúcsfeszültségből az effektív érték $U_{\mathrm{eff}} = U_{\mathrm{cs}}/\sqrt{2}$, a periódusidőből a frekvencia $f = 1/T$ számítható. Kétcsatornás üzemben a fázisszög $\varphi = 360^\circ \cdot \Delta t/T$. A váltakozó áramú impedancia mérésénél a feszültség-, áram- és fázismérésből $|Z| = U/I$, $R = |Z|\cos\varphi$, $X = |Z|\sin\varphi$. A félvezető dióda nyitóirányú feszültségesése szilíciumtípusnál jellemzően 0,5–0,7 V, záróirányban nem folyik áram; a jelleggörbe X-Y üzemmódban is felvehető. **Továbbvitt eredmény.** A feszültségosztás, az időalap, a trigger és a kétcsatornás fázismérés a járműdiagnosztikai oszcilloszkópos méréseknél a Érzékelők és jeladók, a Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája és a Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika alfejezetekben használatos.

15.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet az általános elektronikai méréstechnikai alapokra, az MSZ EN 60617 jelképrendszerére és a műszergyártói mérési gyakorlatra épül. A mérőműszerek műszaki jellemzői (sávszélesség, mintavételi frekvencia, CAT-kategória, dióda nyitófeszültség) típus- és gyártófüggők, ezért azokat a konkrét műszer dokumentációja szerint kell ellenőrizni. A hálózati feszültségű mérések munkavédelmi követelményei a hatályos villamos biztonsági előírások és a mérési kategóriák (ellenőrizendő: MSZ EN 61010 sorozat) szerint alakulnak. A járműipari referenciajelalakok és a gyújtásrendszer jellemzői a gyártói javítási adatokból veendők; ezeket az alfejezet csak szemléltetésre mutatja be.

V. RÉSZ – Belső égésű motorok

16 Motorelmélet

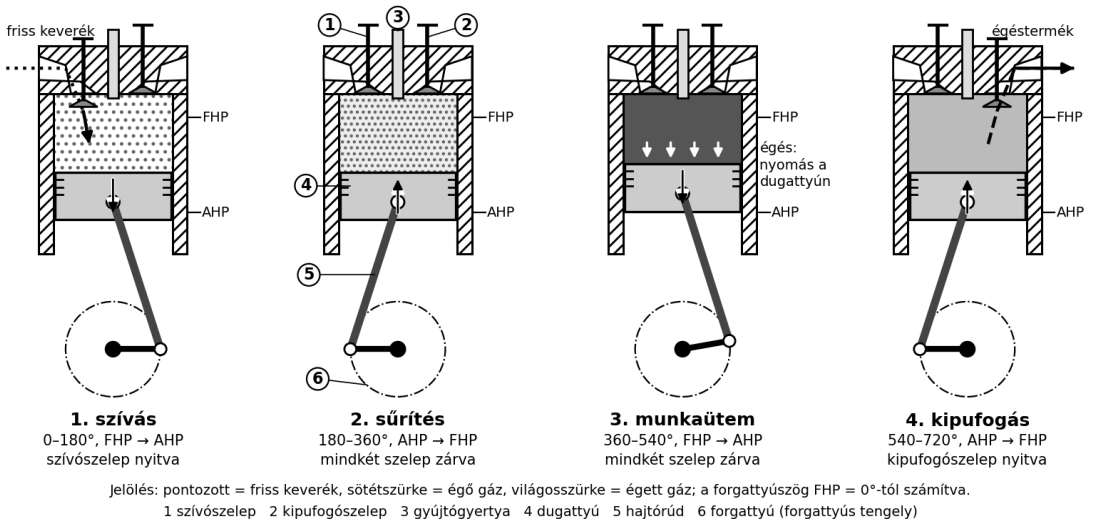
16.1. Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata

16.1.1. Miért kell ezt tudnod a műhelyben?

A műhelyben gyakran hangzik el ügyfélpanaszként, hogy „a motor nem húz”, „hidegen nehezen indul”, „egyenetlenül jár”, „kopog”, vagy „megeszik az olajat”. Ezek mögött sokszor ugyanaz áll: az egyik hengerben a négy ütem során nem keletkezik elég hasznos munka. Ha nem értjük pontosan, mi történik a szívás, sűrítés, munka és kipufogás közben, akkor a kompresszió mérés, a szivárgásvizsgálat, a vezérlés ellenőrzése és a motorvezérlő hibakódjai is csak számsorok maradnak. Ez az alfejezet a motor termodinamikai gondolkodásának alapját adja, és előkészíti a motorjellemzők számítását.

16.1.2. Szemléletes kép: egy henger négy üteme

Képzelj el egy benzinmotor hengerét metszetben. A hengerben a dugattyú a hajtórúdon keresztül a forgattyús tengelyhez kapcsolódik. A hengerfejben két szelep ül: a szívószelep, amely a friss levegő–üzemanyag keveréket engedi be, és a kipufogószelep, amely az égett gázt engedi ki. A hengerfej közepén a gyújtógyertya szikrája indítja el az égést. A dugattyú két szélső helyzete a felső holtpont (TDC) és az alsó holtpont (BDC). A dugattyú útja az egyik holtponttól a másikig egy **löket** (fél főtengely-fordulat); négy löket, azaz a főtengely két fordulata egy teljes négyütemű munkaciklus. Ezt a mozgást a későbbi diagnosztikai méréseknél mindig fejben kell tartanunk: ha például kompressziót mérünk, akkor a sűrítési ütem csúcsnyomását keressük.



16.1. ábra. A négyütemű Otto-motor négy üteme hengermetszetben: szívás, sűrítés, munkaütem, kipufogás

A képsor az elvi munkafolyamatot mutatja: szívás (0–180°, szívószelep nyitva, FHP → AHP), sűrítés (180–360°, mindkét szelep zárva, AHP → FHP), munkaütem (360–540°, égés, a gáznyomás a dugattyút AHP felé nyomja) és kipufogás (540–720°, kipufogószelep nyitva, AHP → FHP). A HTML-változatban a forgattyúszög 0–720° között csúszkával vagy lejátszással állítható, és egy szemléltető p–V diagramon a munkapont együtt mozog a dugattyúval.

16.1.3. Definíciók és a motorok csoportosítása

Definíció. A **belső égésű motor** olyan hőerőgép, amely a tüzelőanyag kémiai energiáját hengerben, égés útján hővé, majd a dugattyú elmozdulásával mechanikai munkává alakítja. A hő közvetlenül a munkaközegben – az égő gázban – szabadul fel, szemben a külső égésű hőerőgépekkel, például a gőzgéppel.

Definíció. A **négyütemű motor** olyan dugattyús belső égésű motor, amelyben egy munkaciklus négy dugattyúlöketből áll: szívás, sűrítés, munka és kipufogás. A főtengely eközben két fordulatot tesz meg.

Definíció. Az **Otto-motor** szikragyújtású belső égésű motor, amelyben a keverék égését gyújtógyertya szikrája indítja el. A dízelmotor ezzel szemben öngyulladású: a levegő magas sűrítési végnyomása és hőmérséklete gyújtja meg a befecskendezett tüzelőanyagot.

Definíció. A **sűrítési arány** a legnagyobb hengertérfogat és a legkisebb hengertérfogat viszonya:

$$\varepsilon = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_{\mathrm{h}} + V_{\mathrm{c}}}{V_{\mathrm{c}}},$$

ahol V_{h} a lökettérfogat, V_{c} a kompressziótérfogat. A szokásos Otto-motoroknál ε jellemzően 9–13 közé esik, dízelmotoroknál 15–22 közé (tanulási példa, ellenőrizendő: adott motortípusra).

A belső égésű motorokat több szempont szerint csoportosítjuk. A gyakorlatban ugyanaz a motor egyszerre több kategóriába is tartozik.

Szempont	Változatok	Jellemző példa
Ütemszám	négyütemű, kétütemű	személyautó, robogó, régi Trabant
Keverékképzés	külső, belső	szívócső-befecskendezés, közvetlen befecskendezés
Gyújtás	szikragyújtás, öngyulladás	Otto-motor, dízelmotor
Hűtés	folyadékhűtés, léghűtés	vízhűtéses autómotor, léghűtéses régi motor
Hengerelrendezés	soros, V, boxer, W, csillag	R4, V6/V8, boxer, W12, repülőgép-csillagmotor
Töltés	szívó, feltöltött	szívómotor, turbófeltöltős motor

A keverékképzést és a dízel eltéréseit később a Dízelmotor működése és keverékképzése, illetve a Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken) alfejezetek tárgyalják.

16.1.4. A négyütemű Otto-motor munkafolyamata

A négy ütem során a két szelep nyitása és zárása határozza meg, hogy a henger töltődik, zárt térben sűrít, égést végez, vagy éppen ürül. A leírásban a holtponti szelepállapotok az elvi munkafolyamatra vonatkoznak; a valós vezérlés ettől kissé eltér, mert a szelepek korábban nyitnak és később zárnak. Ezt a(z) A töltéscsere vezérlése alfejezet részletezi.

16.1.4.1. 1. Szívási ütem

A dugattyú a felső holtpontból az alsó holtpont felé mozog. A szívószelep nyitva, a kipufogószelep zárva van. A dugattyú lefelé mozgása a hengerben enyhe vákuumot kelt, ezért a szívócsőből a friss levegő–üzemanyag keverék beáramlik. A henger nyomása a légköri nyomásnál kissé kisebb, jellemzően 0,8–0,95 bar (tanulási példa, ellenőrizendő: adott motor mérési adata).

16.1.4.2. 2. Sűrítési ütem

A szívószelep és a kipufogószelep egyaránt zár. A dugattyú az alsó holtpontból a felső holtpont felé halad, és a bezárt gázkeveréket a kompressziótérbe sűríti. A nyomás és a hőmérséklet erősen megnő; a sűrítési ütem végén a gyújtógyertya a felső holtpont előtt szikrát ad.

16.1.4.3. 3. Munkaütem

A gyertyaszikra után a keverék égése megindul. A forró égésgáz nyomása hirtelen megnövekszik, és a dugattyút az alsó holtpont felé nyomja. Csak ez az ütem ad hasznos munkát a jármű hajtásához, valamint a többi ütem és a segédberendezések működtetéséhez. Mindkét szelep zárva van. A valóságban az égés nem egyetlen pillanatban, hanem rövid idő alatt játszódik le, így a nyomáscsúcs kissé a felső holtpont után jelentkezik.

16.1.4.4. 4. Kipufogási ütem

A kipufogószelep nyit, a szívószelep zárva marad. A dugattyú az alsó holtpontból a felső holtpont felé mozog, és a hengerből kinyomja az égett gázt a kipufogórendszerbe. A henger nyomása a légköri nyomásnál kissé nagyobb, mert a dugattyúnak a kipufogó ellenállása ellen kell dolgoznia.

Szabály. Négyütemű motornál egy teljes ciklus alatt a főtengely 720°-ot fordul el, tehát **két fordulat** tartozik egy munkaciklushoz. Egy hengerben n főtengely-fordulatszámnál a munkaciklusok száma másodpercenként:

$$f_{\text{ciklus}} = \frac{n}{2 \cdot 60},$$

ha n mértékegysége 1/min.

16.1.5. Az elméleti Otto-körfolyamat

A valós motorban lejátszódó folyamatok bonyolultak, ezért a termodinamika egy egyszerűsített, zárt rendszerű modellt használ. Ez a modell a tüzelőanyag elégetését hőbevitellel, a kipufogást pedig hőelvonással helyettesíti. A modell feltételezi, hogy a munkaközeg ideális gáz, a folyamat zárt, és nincs gázcsere.

Az elméleti Otto-körfolyamat négy állapotváltozásból áll a p–V diagramon:

1. **Izentropikus sűrítés** $1 \to 2$: a hengerben lévő közeg $V_{\max}$–ról $V_{\min} = V_{\mathrm{c}}$-re sűrítődik, miközben nem cserél hőt a környezettel.
2. **Izochor hőbevitel** $2 \to 3$: a gyújtás és égés helyettesítése, a hőbevitel állandó térfogaton történik.
3. **Izentropikus expanzió** $3 \to 4$: a forró gáz kitágul, és munkát végez a dugattyún.
4. **Izochor hőelvonás** $4 \to 1$: a kipufogás és hűtés helyettesítése, a hő leadása állandó térfogaton.

A pontokhoz tartozó térfogatok: $V_1 = V_4 = V_{\max}$, $V_2 = V_3 = V_{\mathrm{c}}$.

Összefüggés. Az elméleti Otto-ciklus hatásfoka csak a sűrítési aránytól és a munkaközeg fajhőviszonyától függ. Levegőre $\kappa = c_p/c_v \approx 1{,}4$. A hatásfok:

$$\eta_{\mathrm{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}.$$

A levezetéshez használjuk fel, hogy az adiabatikus sűrítésre és expanzióra fennáll:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} = \varepsilon^{\kappa-1},$$

és

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\kappa-1} = \varepsilon^{\kappa-1}.$$

Ebből következik, hogy

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2}.$$

A hőbevitel $Q_{\mathrm{be}} = m\,c_v\,(T_3 - T_2)$, a hőelvonás abszolút értéke $Q_{\mathrm{el}} = m\,c_v\,(T_4 - T_1)$. A hatásfok:

$$\eta = \frac{Q_{\mathrm{be}} - Q_{\mathrm{el}}}{Q_{\mathrm{be}}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}.$$

Mivel $T_4/T_3 = T_1/T_2$, a különbségek aránya is ugyanannyi, tehát:

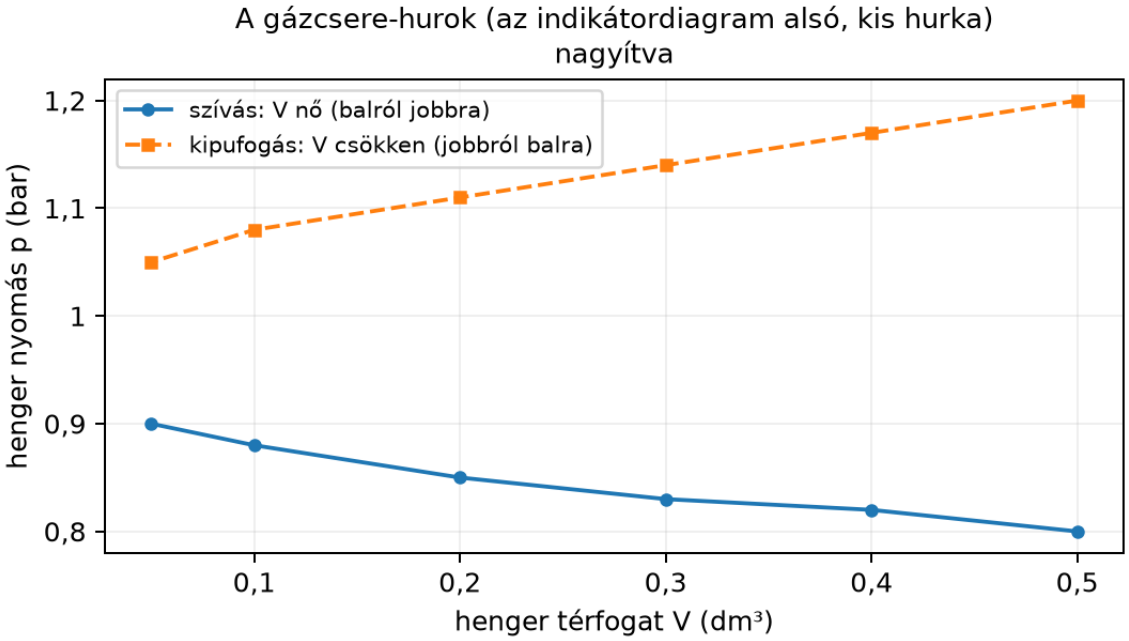
$$\eta_{\mathrm{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}. \qquad \square$$

16.1.6. A valóságos körfolyamat és az indikátordiagram

A valós motor nyitott rendszerű, és a folyamatai nem ideálisak. A legfontosabb eltérések:

- A sűrítés és az expanzió nem adiabatikus, mert a hengerfal, a hengerfej és a dugattyú hőt ad le a hűtőrendszernek.
- Az égés nem állandó térfogaton, hanem véges idő alatt zajlik le; eközben a dugattyú már mozog.
- A gázcsere valódi: a szívási ütemben a nyomás a légköri alatt van, a kipufogási ütemben pedig felette.
- A dugattyúgyűrűk mellett kisebb-nagyobb gázszivárgás, a szelepeknél pedig töltetveszteség léphet fel.
- A motor belső súrlódása a keletkező munkából folyamatosan felemészt.

A valós folyamatot a p–V **indikátordiagram** mutatja meg. Az elnevezés a korábbi mechanikus indikátor műszerre utal, amely a henger nyomását a dugattyúmozgással összekapcsolva rajzolta fel a görbét. Ma ezt a jelet hengernyomás-érzékelővel és gyors mérőrendszerrel veszik fel.



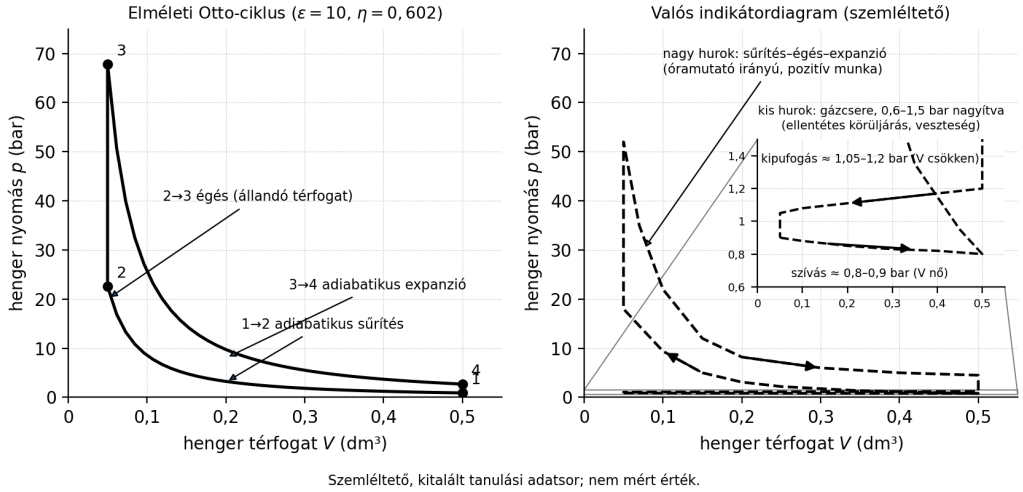
16.2. ábra. A gázcsere-hurok (az indikátordiagram alsó, kis hurka) nagyítva - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor (a következő ábra valós indikátordiagramjának alsó része); nem mért érték. A szívási vonal 0,8–0,9 bar, a kipufogási 1,05–1,2 bar; a hurok az óramutatóval ellentétes irányban jár körbe.

Az indikátordiagram (a következő ábra jobb oldala) felső, nagy területű hurka a sűrítés–égés–expanzió folyamatát mutatja. Az alsó, kis hurok – amelyet a fenti diagram a 0,8–1,2 bar tartományra nagyítva mutat, mert a teljes nyomástartományban egyetlen vonallá olvadna – a gázcsere vesztesége: a szívási vonal a légköri nyomás alatt, a kipufogási vonal felette fut. A két görbe közötti alsó hurok területe ezért nem hasznos munka, hanem a szívási és kipufogási folyamatok közötti **töltéscsere-veszteség**. A nagy felső hurok területéből kivonva a kis alsó hurok területét kapjuk a ciklus indikált munkáját:

$$W_{\mathrm{i}} = \oint p\,dV.$$

A körüljárási irányon látszik, hogy a felső hurok az óramutató járásával megegyező irányban jár körbe, ezért pozitív munkát ad; az alsó hurok ellentétes irányú, ezért veszteséget jelent.

16.1.7. Interaktív indikátordiagram-vizsgáló



16.3. ábra. Indikátordiagram és elméleti Otto-körfolyamat vizsgáló

Az interaktív ábrán az ε sűrítési arányt tolókával vagy beviteli mezővel tudod változtatni. A program kirajzolja az elméleti Otto-ciklus p–V görbéjét, kiszámítja a $\kappa = 1{,}4$ fajhőviszonyhoz tartozó elméleti hatásfokot, és mellé rajzolja a valós indikátordiagram jellegét. Próbáld ki, mi történik, ha ε értékét 8-ról 14-re növeled: az elméleti hatásfok nő, de a valós diagramon a nagyobb sűrítési nyomás és hőmérséklet kopogásveszélyt is jelenthet a benzinnél.

A statikus tartalék ábra ugyanezt mutatja: bal oldalon az elméleti Otto-ciklus éles sarkokkal megrajzolt p–V görbéje, jobb oldalon a valós indikátordiagram lekerekített égési csúcsával, a körüljárási irányt jelző nyilakkal és a 0,6–1,5 bar-ra nagyított gázcsere-hurokkal. A HTML-változatban a nyomástengely a nagyított alsó tartományra is átkapcsolható.

16.1.8. Kidolgozott példák

Példa. Egy négyütemű Otto-motor főtengely-fordulatszáma $n = 3000\,1/\mathrm{min}$. Hány munkaciklus játszódik le másodpercenként egy hengerben?

Megoldás. Egy ciklus két főtengely-fordulat, ezért:

$$f_{\mathrm{ciklus}} = \frac{n}{2 \cdot 60} = \frac{3000}{120} = 25\,1/\mathrm{s}.$$

Egy hengerben tehát másodpercenként 25 teljes négyütemű ciklus fut le, és ebből 25 munkaütem van.

Számítás. Egy Otto-motor sűrítési aránya $\varepsilon = 10$. A szívási ütem végén, a sűrítés kezdetén a hengernyomás $p_1 = 0{,}9\,\mathrm{bar}$. Kérdés: mekkora lenne az elméleti adiabatikus kompresszió

végnyomása, ha a folyamat veszteségmentes lenne, és $\kappa = 1{,}4$? Mekkora az elméleti Otto-hatásfok?

Megoldás. Adiabatikus sűrítésre:

$$p_2 = p_1\,\varepsilon^{\kappa}.$$

Behelyettesítve:

$$p_2 = 0{,}9 \cdot 10^{1{,}4} = 0{,}9 \cdot 25{,}12 \approx 22{,}6\,\text{bar}.$$

Az elméleti hatásfok:

$$\eta_{\text{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{10^{0{,}4}}.$$

Mivel $10^{0{,}4} \approx 2{,}512$:

$$\eta_{\text{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{2{,}512} \approx 0{,}602 = 60{,}2\,\%.$$

A valós motor ennél kisebb sűrítési végnyomást és kisebb effektív hatásfokot ad, mert a fal hőveszтesége, a szivárgás, a gázcsere-veszteség és a mechanikai súrlódás mind csökkenti a hasznos munkát.

16.1.9. Minőségellenőrzés

A négyütemű munkafolyamat ismerete a műhelyi mérések értelmezésének alapja. A leggyakoribb ellenőrző lépések:

- **Kompressziómérés:** üzemmeleg motornál, feltöltött akkumulátorral mérünk: a gyújtást és a befecskendezést a gyártói módon hatástalanítjuk (gyújtótekercs- és injektorcsatlakozó vagy biztosíték/relé; ellenőrizendő: gyártói eljárás), minden gyertyát kiszerelünk, a fojtószelepet teljesen nyitjuk, és hengerenként azonos számú (pl. 4–6) indítózási fordulattal mérjük a csúcsnyomást. A befecskendezés tiltása nélkül a gyertyafuratokon üzemanyagköd léphet ki (tűzveszély), és nyers üzemanyag jut a katalizátorba. A hengerek közötti nagy eltérés nélkül a mért érték az adott motortípusra előírt tartományba kell essen (tanulási példa: 11–15 bar; ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Szivárgásvizsgálat:** a sűrítési ütem zártságát nyomásesés alapján ellenőrizzük.
- **Vezérlés-időzítés:** a szelepek nyitása, zárása és a gyújtás időzítése a gyártói jelölések szerint.
- **Szívócső-vákuum:** az alapjárati vákuum ingadozása a töltéscsere és a szelepzárás hibáira utalhat.

A mérési értékeket mindig a gyártói javítási utasítással hasonlítsuk össze; önmagában egyetlen kompressziós szám nem biztos diagnózis.

16.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Ügyfél panasza: 1,6 literes szívó benzinmotor hidegen nehezen indul, alapjáraton ráz, gyorsításkor pedig visszaesik a teljesítmény. A hibakódolvasás nem mutat égéskihagyást. A szerelő kompressziómérést végez. A mért példaértékek: 1. henger 12,4 bar, 2. henger 9,0 bar, 3. henger 12,2 bar, 4. henger 12,1 bar (szemléltető adatok, ellenőrizendő: gyártói határ). A második henger értéke jelentősen alacsonyabb. A szivárgásvizsgálat a szívószelepnél enyhe gázszökést mutat. A hiba oka a nem tökéletesen záró szívószelep: a sűrítési ütemben keverék szökik vissza, ezért a sűrítési végnyomás kisebb, az égés rosszabb, a ciklusmunka pedig hengerenként eltérő. A javítás: a hengerfej leszerelése, a szívószelep és az ülék megmunkálása (csiszolása), a szétszereléskor szokásos cserealkatrészek (szelepszár-szimeringek, hengerfejtömítés, új hengerfejcsavarok – a gyártó szerint), majd a szelephézag beállítása. A próbaút után az alapjárat és a hidegindítás helyreállt.

Tanulság. A motor hengerei közötti ciklusmunka-különbség műszer nélkül is gyanítható, de a pontos rész a mérés. A kompressziómérés a sűrítési ütem csúcsnyomását mutatja, a szivárgásvizsgálat pedig megmutatja, hová szökik a nyomás.

16.1.11. Tipikus hibák

Hiba. Sok tanuló azt hiszi, hogy a négyütemű motor főtengely-fordulatonként ad egy munkaütemet. A valóság: két főtengely-fordulatonként egy munkaciklus, mert a négy ütem négy löket, vagyis két oda-vissza dugattyúmozgás.

Hiba. A kompressziós végnyomás becslésekor a tanuló lineárisan számol: $p_2 \approx \varepsilon \cdot p_1$. Ez téves, mert az adiabatikus sűrítésben a nyomás ε^{κ}-nal nő, ahol $\kappa > 1$.

Hiba. A p–V diagramon az alsó gázcsere-hurok területét hasznos munkának nézik. Az alsó hurok negatív munkát, azaz töltőcsere-veszteséget jelent; a hasznos ciklusmunka a nagy felső hurok és az alsó hurok területének különbsége.

Hiba. A gyakorlatban a vezérlési időket ellenőrzés nélkül a gyújtásidőzítést állítják. Ha a szelepek nem a gyártói vezérlési szögek szerint zárnak, a sűrítési ütem nem megfelelő, és a gyújtásállítás önmagában nem oldja meg a hibát.

16.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Négyütemű motorban minden főtengely-fordulat után munkaütem következik. Indokold!
2. Számold ki az elméleti Otto-hatásfokot $\varepsilon = 8$ és $\kappa = 1{,}4$ esetén.
3. Mi a hiba ebben a leírásban? „A szívási ütemben a dugattyú felfelé mozog, a szívószelep zárva van.” Javítsd ki!
4. Mit mutat a p–V indikátordiagram alsó kis hurokja?
5. Miért kisebb a valós motor hatásfoka az elméleti Otto-ciklusénál?
6. A sűrítési arány $\varepsilon = 10$, a sűrítés kezdeti nyomása $p_1 = 1{,}0\,\text{bar}$. Hibás-e a $p_2 \approx 10\,\text{bar}$ elméleti becslés? Miért?

16.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a négyütemű Otto-motor négy ütemét, és mindegyiknél add meg, hogy a szívó- és kipufogószelep milyen állapotban van az elvi munkafolyamat szerint.

2. feladat (A). Egy négyütemű motor főtengely-fordulatszáma $n = 2400\,1/\text{min}$. Számítsd ki, hogy egy hengerben másodpercenként hány teljes ciklus és hány munkaütem játszódik le.

3. feladat (B). Számítsd ki az elméleti Otto-hatásfokot $\varepsilon = 12$ és $\kappa = 1{,}4$ esetén.

4. feladat (B). A p–V indikátordiagramon azonosítsd a következő szakaszokat: szívás, sűrítés, égés, expanzió, kipufogás. Melyik szakasz közelít leginkább izochor hőbevitelt?

5. feladat (C). Magyarázd meg, miért növelné az Otto-motor elméleti hatásfokát a nagyobb sűrítési arány, de a benzinmotornál miért korlátozott mégis az ε növelése.

6. feladat (D). Egy ügyfélautó hidegen nehezen indul, alapjáraton egyenetlen, és gyorsításkor teljesítménycsökkenés érezhető. A kompressziómérés sorrendben ezt adta: 12,1, 8,4, 12,0, 12,2 bar. Milyen további vizsgálatot javasolsz először, és mire következtethetsz a hengerek közötti eltérésből?

16.1.14. Megoldások

16.1.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Egy teljes négyütemű ciklus két főtengely-fordulatot jelent, tehát munkaütem csak minden második fordulat után következik.
2. $\varepsilon^{\kappa-1} = 8^{0,4} \approx 2{,}297$; $\eta = 1 - 1/2{,}297 \approx 0{,}565$, vagyis kb. $56{,}5\,\%$.
3. A szívási ütemben a dugattyú lefelé mozog, a szívószelep nyitva, a kipufogószelep zárva van.
4. A kis alsó hurok a gázcsere-veszteséget mutatja: a szívás a légköri alatt, a kipufogás a légköri felett fut.
5. A valós motorban hőveszteség a falhoz, szivárgás, töltéscsere-veszteség, nem állandó térfogatú égés és súrlódás van.
6. Igen, hibás. A kompressziós végnyomás közelítőleg $p_2 = p_1 \varepsilon^{\kappa}$, nem pedig $p_1 \varepsilon$. A $\kappa = 1{,}4$ kitevővel a helyes elméleti érték $1{,}0 \cdot 10^{1,4} \approx 25{,}1\,\text{bar}$.

16.1.14.2. Feladatok – megoldások

1. A négy ütem: szívás (szívószelep nyitva, kipufogószelep zárva), sűrítés (mindkettő zárva), munka (mindkettő zárva), kipufogás (szívószelep zárva, kipufogószelep nyitva).

2. Egy teljes ciklus két főtengely-fordulat, ezért másodpercenként:

$$f_{\text{ciklus}} = \frac{2400}{2 \cdot 60} = 20\,1/\text{s}.$$

Egy hengerben tehát másodpercenként 20 munkaütem van.

3.

$$\eta_{\text{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{12^{0,4}}.$$

Táblázatból vagy logaritmussal $12^{0,4} \approx 2{,}70$, így:

$$\eta_{\text{th,Otto}} \approx 1 - \frac{1}{2{,}70} = 0{,}630 = 63{,}0\,\%.$$

4. A p–V diagramon a szívás a bal alsó vízszinteshez közeli, enyhén légköri alatti szakasz; a sűrítés a térfogat csökkenésével növekvő nyomású görbe; az égés a felső, közel függőleges nyomáscsúcs; az expanzió a térfogat növekedésével csökkenő nyomású felső görbe; a kipufogás a jobb alsó, légköri feletti szakasz. Az égési szakasz közelíti legjobban az izochor hőbevitelt, mert a térfogat alig változik, miközben a nyomás jelentősen megnő.

5. Az elméleti hatásfok képlete szerint $\eta = 1 - 1/\varepsilon^{\kappa-1}$, ezért ε növelésével a kivonandó tag csökken, a hatásfok nő. A benzinmotornál azonban a nagyobb sűrítési végnyomás és hőmérséklet kopogást, azaz rendellenes öngyulladást okozhat, ami károsítja a dugattyút és a csapágyakat. Ezért az Otto-motorok sűrítési arányát a kopogási hajlam korlátozza.

6. A mérés szerint a 2. henger kompressziója jelentősen alacsonyabb. Először szivárgásvizsgálatot célszerű végezni, hogy megállapítsuk, a nyomás a szívószelepen, a kipufogószelepen, a dugattyúgyűrűk mellett vagy a hengerfejtömítésnél szökik-e. Az alacsonyabb kompresszió a sűrítési ütem kisebb csúcsnyomásával és kisebb ciklusmunkájával jár, ez okozhat hidegindítási nehézséget, egyenetlen alapjáratot és gyenge gyorsítást.

16.1.15. Rövid összefoglaló

A belső égésű motorokban az égés a hengerben zajlik. A négyütemű Otto-motor munkafolyamata: szívás, sűrítés, munka, kipufogás. Egy teljes ciklus két főtengely-fordulat, azaz 720°. Szívásnál a szívószelep nyitva, kipufogónál a kipufogószelep nyitva; sűrítésnél és munkánál mindkét szelep zárva. Az elméleti Otto-ciklus izentropikus sűrítésből, izochor hőbevitelből, izentropikus expanzióból és izochor hőelvonásból áll. Elméleti hatásfoka $\eta_{\text{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$. A valós indikátordiagram ettől eltér: az alsó kis hurok a gázcsere-veszteség, a felső nagy hurok területe a ciklusmunka. A hasznos ciklusmunka $\oint p\,dV$ a felső és alsó hurok előjeles területének összege. **Továbbvitt eredmény.** A négyütemű munkafolyamat, a p–V indikátordiagram hurokjainak értelmezése és a ciklusmunka fogalma közvetlenül szükséges a Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás alfejezetben, ahol az indikált középnyomást és a teljesítményt ebből vezetjük le.

16.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: általános gépjármű-motor tankönyvek, termodinamikai alapművek, gyártói javítási utasítások és mérési adatok, műhelyi diagnosztikai gyakorlat. A termodinamikai összefüggések és a négyütemű munkafolyamat fizikai alapelve stabil tudás. A sűrítési arány, a kompressziós végnyomás, a szívási és kipufogási nyomás, a hengerszámra jellemző tartományok, a gyújtási időpont és a vezérlési szögek **ellenőrizendő** gyártói vagy mérési adatok; az alfejezetben tanulási példaként szerepelnek. A p–V diagram adatai szemléltető jellegűek, nem konkrét motor mért értékei.

16.2. Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás

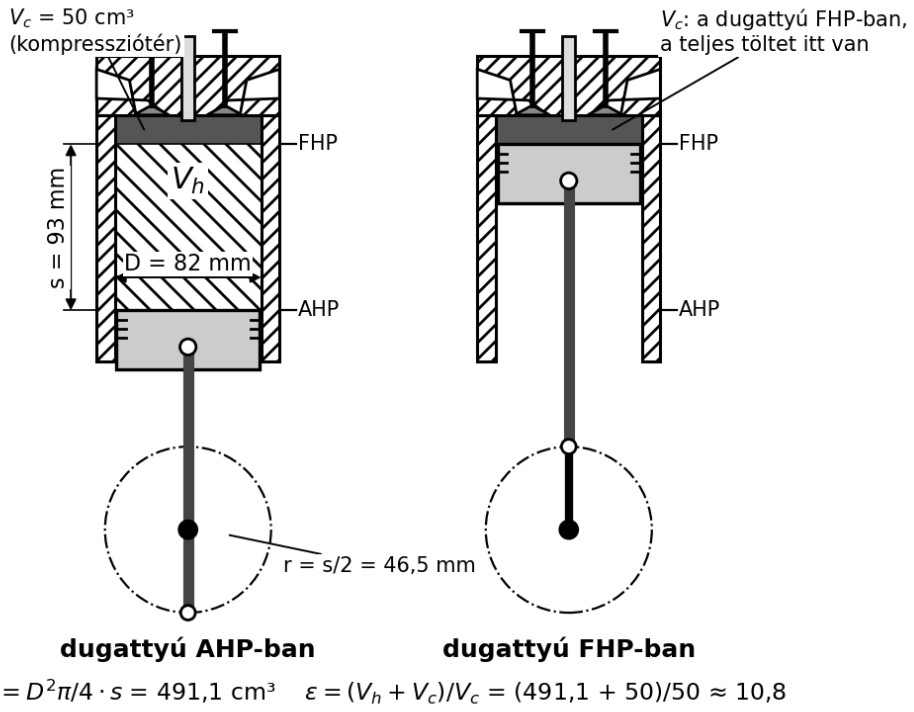
16.2.1. Miért kell ezt tudnom a műhelyben?

Egy autót azért hoznak be, mert „gyenge”, „többet fogyaszt”, vagy éppen motorhiba gyanúja miatt. Ilyenkor a szerelőnek tudnia kell, hogy a mért hengernyomás, a fékpadi teljesítmény vagy az üzemanyag-fogyasztás összefügg-e a motor geometriai adataival: a furattal, a lökettel, a hengerszámmal és a sűrítési aránnyal. Ha egy motornak ismerjük a lökettérfogatát és az effektív középnyomását, meg tudjuk becsülni a várt teljesítményt; ha a mért érték jelentősen elmarad, az a kopás, a tömítetlenség vagy a vezérlés hibájának jele lehet.

16.2.2. Szemléletes kép: a henger mint levegőpumpa

Képzeljünk el egy négyütemű motor hengerét metszetben. A dugattyú két szélső helyzete között mozog: az alsó holtpont (AHP) és a felső holtpont (FHP) közötti út a löket. A henger átmérője a furat. Amikor a dugattyú FHP-ból AHP-ba mozdul, a hengerben lévő térfogat a legkisebb értékről a legnagyobbra nő: ezt a kiszorított térfogatot nevezzük lökettérfogatnak. Egy 82 mm furatú és 93 mm löketű hengerben ez nagyjából fél liter. Ha a motornak négy ilyen hengere van, akkor a teljes hengerűrtartalom körülbelül 2,0 liter.

A sűrítési arány pedig azt mutatja meg, hogy a dugattyú felső holtpontján a tömített égéstér hányadrészére préseli össze a beszívott levegőt vagy keveréket. Ha a kompressziótérfogat 50 cm³, a lökettérfogat 491 cm³, akkor a sűrítési arány körülbelül 10,8: ez már elegendő ahhoz, hogy a benzin-levegő keverék gyújtás után gyorsan égjen, de ne gyulladjon be magától (kopogás) a motor üzemanyagához tervezett határon belül.



16.4. ábra. Henger AHP- és FHP-helyzetben: furat, löket, lökettérfogat és kompressziótérfogat

A bal oldali hengerben a dugattyú AHP-ban áll: a sraffozott rész a lökettérfogat (V_h, $D = 82$ mm, $s = 93$ mm, 491,1 cm³), fölötte sötétszürkén a kompressziótérfogat ($V_c = 50$ cm³). A jobb oldalon a dugattyú FHP-ban van, a töltet a V_c-be szorul, így $\varepsilon = (491{,}1 + 50)/50 \approx 10{,}8$. A forgattyúsugár a löket fele ($r = s/2$).

16.2.3. Definiált motorjellemzők

Definíció. A motor furata D, lökete s, hengerszáma i. Egy henger lökettérfogata az a geometriai térfogat, amelyet a dugattyú FHP és AHP között kiszorít:

$$V_{\mathrm{h}} = \frac{D^2\pi}{4}\, s.$$

Többhengeres motor teljes hengerűrtartalma (lökettérfogata):

$$V_{\mathrm{H}} = i\, V_{\mathrm{h}}.$$

A kompressziótérfogat V_{c} a dugattyú FHP-ja fölött bezárt térfogat (égéstér, a tömítések és a dugattyútető kialakítása miatt nem egyszerű henger).

Definíció. A sűrítési arány (kompresszióviszony) a dugattyú AHP-jánál mért legnagyobb hengertérfogat és az FHP-nál megmaradó kompressziótérfogat viszonya:

$$\varepsilon = \frac{V_{\mathrm{h}} + V_{\mathrm{c}}}{V_{\mathrm{c}}}.$$

A sűrítési arány mértékegység nélküli viszonyszám, gyakran $\varepsilon = 10{,}5{:}1$ alakban írják.

Definíció. A középnyomás olyan képzeletbeli állandó nyomás, amely a lökettérfogatot egy teljes munkavégző ütem alatt átölelő dugattyún ugyanannyi munkát végez, mint a valóságos, változó nyomású körfolyamat. Az indikált középnyomást p_{i}, az effektív (hasznos tengelyvégi) középnyomást p_{e} vagy p_{me} jelöli. Négyütemű motorban a gyújtás és a hasznos munkavégzés minden második fordulatban történik, ezért az effektív teljesítmény:

$$P_{\mathrm{e}} = \frac{p_{\mathrm{e}}\, V_{\mathrm{H}}\, n}{2 \cdot 60},$$

ahol p_{e} Pa, V_{H} m³, n fordulatszám 1/min, P_{e} W. A gyakorlatban bar, liter és kW egységekkel dolgozunk; az átváltásból adódik:

$$P_{\mathrm{e}}\ (\mathrm{kW}) = \frac{p_{\mathrm{e}}\ (\mathrm{bar}) \cdot V_{\mathrm{H}}\ (\mathrm{l}) \cdot n\ (1/\mathrm{min})}{1200}.$$

Definíció. A nyomaték a motor forgattyús tengelyén leadott forgatónyomaték:

$$M = \frac{P_{\mathrm{e}}}{\omega}, \qquad \omega = 2\pi\frac{n}{60}.$$

A gyakorlati számításhoz, ha P_{e} kW-ban és n 1/min-ben adott:

$$M\ (\mathrm{Nm}) = 9549 \cdot \frac{P_{\mathrm{e}}\ (\mathrm{kW})}{n\ (1/\mathrm{min})}.$$

Definíció. A hatásfokok a motorban bevitt tüzelőanyag-energia és a hasznosított munka viszonyát jellemzik. Az indikált hatásfok η_i a hengerben lévő gáz munkáját viszonyítja a bevitt hőhöz; a mechanikai hatásfok η_m az effektív és indikált teljesítmény aránya; az effektív hatásfok η_e a tengelyen leadott hasznos munka és a tüzelőanyag hőenergiájának aránya:

$$\eta_\mathrm{e} = \eta_\mathrm{i} \cdot \eta_\mathrm{m} = \frac{P_\mathrm{e}}{\dot{m}_\mathrm{B}\, H_\mathrm{u}}, \qquad \eta_\mathrm{i} = \frac{P_\mathrm{i}}{\dot{m}_\mathrm{B}\, H_\mathrm{u}}, \qquad \eta_\mathrm{m} = \frac{P_\mathrm{e}}{P_\mathrm{i}} = \frac{p_\mathrm{e}}{p_\mathrm{i}}.$$

Definíció. A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás az effektív teljesítményre vonatkoztatott tüzelőanyag-tömegáram:

$$b_\mathrm{e} = \frac{\dot{m}_\mathrm{B}}{P_\mathrm{e}},$$

mértékegysége a gyakorlatban g/kWh. Az effektív hatásfok és a fajlagos fogyasztás közötti kapcsolat, ha b_e g/kWh-ban és a tüzelőanyag fűtőértéke H_u MJ/kg-ban adott:

$$\eta_\mathrm{e} = \frac{3600}{b_\mathrm{e} \cdot H_\mathrm{u}}.$$

Definíció. A légviszony a ténylegesen beszívott levegőtömeg és az elégetéshez szükséges elméleti (sztöchiometrikus) levegőtömeg aránya:

$$\lambda = \frac{m_\mathrm{L}}{m_\mathrm{B} \cdot L_\mathrm{st}},$$

ahol m_L a levegő tömegárama, m_B a tüzelőanyag tömegárama, L_st pedig a sztöchiometrikus levegőigény (benzinre tanulási érték: kb. 14,7 kg levegő / kg benzin, dízeltüzelőanyagra kb. 14,5 kg/kg; ellenőrizendő: az adott tüzelőanyag pontos adata). A $\lambda = 1$ jelenti a sztöchiometrikus (elméleti) keveréket, $\lambda < 1$ a dús, $\lambda > 1$ a szegény keveréket.

16.2.4. A motorjellemzők felépítése és működési háttere

A lökettérfogat és a sűrítési arány geometriai adat, amelyet a gyártó a motor tervezésekor rögzít. A középnyomás viszont üzemi és égési jellemző: függ a feltöltés mértékétől, a töltéscsere minőségétől, a gyújtás vagy a befecskendezés időzítésétől, az égési hatásfoktól és a hőveszteségektől. Szívó benzinmotorok jellemző effektív középnyomása teljes terhelésen a nyomatékcsúcs környékén kb. 10–13 bar, turbófeltöltésű motoroké 15–25 bar is lehet (tanulási példa, ellenőrizendő: az adott motor mérési adata).

Többhengeres motorok, hengerszámozás, gyújtási sorrend. A motor hengerszámozása a gyártó konvenciója, és nem feltétlenül azonos a fizikai sorrenddel. Gyakori, hogy a számozás a szíj/lánc hajtás felőli oldaltól, vagy a lendkerék felőli oldaltól indul; ezt mindig a gyártói javítási adatból kell kiolvasni. A gyújtási sorrend az a sorrend, amelyben az egyes hengerekben a munkavégző ütem a főtengely két fordulata alatt bekövetkezik. Például egy soros négyhengeres motor tipikus gyújtási sorrendje 1–3–4–2, egy soros hathengeresé gyakran 1–5–3–6–2–4, de ezek gyártónként és motortípusonként eltérhetnek (ellenőrizendő: gyártói adat). A sorrendet a forgattyús tengely hajtókarcsapjainak szöghelyzete és a vezérműtengely bütyökrendje határozza meg, nem a hengerszámozás önmagában.

A hengerszámozás és a gyújtási sorrend ismerete azért fontos, mert a későbbi diagnosztikai fejezetekben A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd során a

szerelő csak így tudja azonosítani, melyik hengerben dolgozik, és az Égés, kopogás és jelleggörbék alfejezetben a gyújtási sorrendhez igazodva értelmezi a henger-egyenetlenséget.

16.2.5. Kidolgozott számítási példák

16.2.5.1. 1. példa: lökettérfogat egy hengerben és a teljes motorban

Adott: $D = 82\,\text{mm}$, $s = 93\,\text{mm}$, $i = 4$ henger.

Keresett: V_h és V_H.

Először a furatot és a löketet váltsuk át cm-re: $D = 8{,}2\,\text{cm}$, $s = 9{,}3\,\text{cm}$.

$$V_\text{h} = \frac{D^2\pi}{4}s = \frac{(8{,}2)^2 \cdot \pi}{4} \cdot 9{,}3.$$

$$(8{,}2)^2 = 67{,}24; \qquad \frac{67{,}24 \cdot \pi}{4} = 52{,}81\,\text{cm}^2; \qquad V_\text{h} = 52{,}81 \cdot 9{,}3 = 491{,}1\,\text{cm}^3.$$

A teljes lökettérfogat:

$$V_\text{H} = 4 \cdot 491{,}1 = 1964{,}4\,\text{cm}^3 \approx 1{,}96\,\text{l}.$$

Ellenőrzés: egy 2,0 literes motorhoz illik a kapott érték.

16.2.5.2. 2. példa: sűrítési arány

Adott: $D = 86\,\text{mm}$, $s = 86\,\text{mm}$, egy henger kompressziótérfogata $V_\text{c} = 52\,\text{cm}^3$.

Keresett: ε.

A lökettérfogat:

$$V_\text{h} = \frac{8{,}6^2 \cdot \pi}{4} \cdot 8{,}6 = \frac{73{,}96 \cdot \pi}{4} \cdot 8{,}6 = 58{,}09 \cdot 8{,}6 \approx 499{,}6\,\text{cm}^3.$$

A sűrítési arány:

$$\varepsilon = \frac{V_\text{h} + V_\text{c}}{V_\text{c}} = \frac{499{,}6 + 52}{52} = \frac{551{,}6}{52} \approx 10{,}6.$$

Ellenőrzés: Ez szívó benzinmotorra jellemző. Ha a hengerfejet síkolják, a kompressziótérfogat csökken, így a sűrítési arány nő; ezt a motornál újra kell számolni és ellenőrizni kell, hogy az adott tüzelőanyaghoz még megengedett-e.

16.2.5.3. 3. példa: effektív teljesítmény és nyomaték

Adott: $p_{\mathrm{e}} = 12\,\mathrm{bar}$, $V_{\mathrm{H}} = 2{,}0\,\mathrm{l}$, $n = 4000\,1/\mathrm{min}$.

Keresett: P_{e} és M.

A gyakorlati képletbe behelyettesítünk:

$$P_{\mathrm{e}} = \frac{12 \cdot 2{,}0 \cdot 4000}{1200} = 80\,\mathrm{kW}.$$

A nyomaték:

$$M = 9549 \cdot \frac{80}{4000} = 9549 \cdot 0{,}02 = 190{,}98\,\mathrm{Nm} \approx 191\,\mathrm{Nm}.$$

Ellenőrzés: 2,0 literes szívó benzinmotorra 80 kW körülbelül 4000 1/min-nél reális; a nyomaték is tipikus.

16.2.5.4. 4. példa: hatásfok és fajlagos fogyasztás

Adott: egy dízelmotor effektív teljesítménye $P_{\mathrm{e}} = 120\,\mathrm{kW}$, fajlagos fogyasztása $b_{\mathrm{e}} = 210\,\mathrm{g/kWh}$, a gázolaj fűtőértéke $H_{\mathrm{u}} = 42\,\mathrm{MJ/kg}$.

Keresett: az effektív hatásfok η_{e}.

$$\eta_{\mathrm{e}} = \frac{3600}{b_{\mathrm{e}} \cdot H_{\mathrm{u}}} = \frac{3600}{210 \cdot 42}.$$

A nevező: $210 \cdot 42 = 8820$. Ezért:

$$\eta_{\mathrm{e}} = \frac{3600}{8820} \approx 0{,}408 = 40{,}8\,\%.$$

Ellenőrzés: Modern dízelmotorok effektív hatásfoka tipikusan 40–45% körüli; az eredmény összhangban van ezzel.

16.2.5.5. 5. példa: légviszony

Adott: benzinmotorban a beszívott levegő tömegárama $m_{\mathrm{L}} = 0{,}15\,\mathrm{kg/s}$, a befecskendezett benzin tömegárama $m_{\mathrm{B}} = 0{,}010\,\mathrm{kg/s}$, a sztöchiometrikus levegőigény $L_{\mathrm{st}} = 14{,}7$.

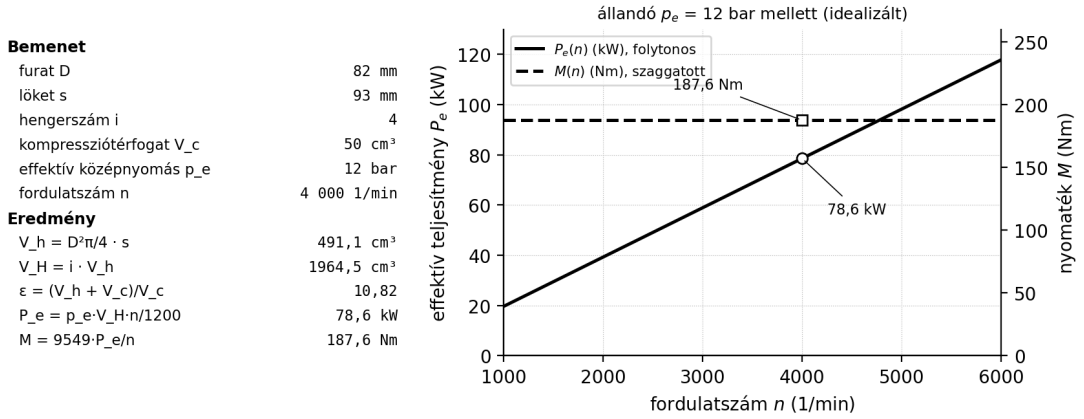
Keresett: λ.

$$\lambda = \frac{0{,}15}{0{,}010 \cdot 14{,}7} = \frac{0{,}15}{0{,}147} \approx 1{,}02.$$

Ellenőrzés: A motor közel sztöchiometrikus keverékkel jár, ami a háromutas katalizátoros benzinmotoroknál kívánatos.

16.2.6. Interaktív kalkulátor

A HTML-kiadásban ehhez az alfejezethez interaktív motorjellemző-kalkulátor tartozik. Beállítható a furat D, a löket s, a hengerszám i, a kompressziótérfogat V_{c}, az effektív középnyomás p_{e} és a fordulatszám n. A kalkulátor kiszámolja a lökettérfogatot, a teljes hengerűrtartalmat, a sűrítési arányt, az effektív teljesítményt és a nyomatékot.



16.5. ábra. Motorjellemző-kalkulátor: eredménytábla az alapértékekkel és a P_e(n), M(n) görbe állandó középnyomásnál

A statikus ábra az alapértékekkel ($D = 82$ mm, $s = 93$ mm, $i = 4$, $V_c = 50$ cm³, $p_e = 12$ bar, $n = 4000$ 1/min) kitöltött eredménytáblát mutatja ($V_h = 491{,}1$ cm³, $V_H \approx 1964$ cm³, $\varepsilon \approx 10{,}8$, $P_e \approx 78{,}6$ kW, $M \approx 188$ Nm), mellette a $P_e(n)$ (folytonos) és az $M(n)$ (szaggatott) vonalat 1000–6000 1/min között: állandó p_e mellett a teljesítmény a fordulatszámmal arányosan nő, a nyomaték állandó. A HTML-változat hengervázlata a furat, a löket és a kompressziótérfogat változását is mutatja.

16.2.7. Minőségellenőrzés

A motor geometriai adatait a gyártói adatból vagy a jármű azonosító adataiból ellenőrizzük. A lökettérfogat és a sűrítési arány a motor kopásával nem változik a teljes élettartam alatt, kivéve, ha a hengerfejet síkolják vagy más beavatkozás történt. A tényleges hengernyomást kompressziómérővel mérjük, de a mért kompresszióvégnyomás nem közvetlenül a sűrítési arány, mert a sűrítés során a gáz hőmérséklete is emelkedik, és a szelepzáródási idő, valamint a tömítetlenségek is befolyásolják.

A fékpadi mérésből a mért $P_{\mathrm{e}}(n)$ és $M(n)$ görbéket a gyártói adattal összevetve megállapítható, hogy a motor megfelelő-e. A fajlagos fogyasztást a motor fékpadi mérése során tömegárammérővel és a teljesítmény egyidejű mérésével számítják; a műhelyben a jármű útfogyasztását nem szabad összetéveszteni a b_{e} értékkel.

Ellenőrzőlista:

1. Jármű- és motorazonosító a gyártói adatból.
2. Furat, löket, hengerszám, lökettérfogat a gyártói specifikáció szerint.
3. Kompressziómérés: minden henger értéke a gyártói tartományban; a hengerek közötti eltérés ne haladja meg a gyártói határt (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. Fékpadi teljesítmény és nyomaték a gyártói görbével összevetve.
5. Fajlagos fogyasztás a mért munkapontokban a gyártói jelleggörbéhez képest.

6. Légviszony a gázelemzővel, szükség szerint a motor szabályozásához.

16.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy autótulajdonos panasza: az autó lassan gyorsul, és szerinte többet fogyaszt. A szerelő először kiolvassa a hibakódokat, de nincs tárolt hiba. Ezután elvégzi a kompressziómérést: a négy hengerben 13,5–14,0 bar értéket mér, ami a gyártói tűrésen belül van (példaérték, ellenőrizendő: gyártói adat). A motort kiguruló fékpadon is lemérik, és a mért teljesítmény 4000 1/min-nél 78 kW a gyári 85 kW helyett. A szerelő kiszámolja az effektív középnyomást:

$$p_{\mathrm{e}} = \frac{1200 \cdot P_{\mathrm{e}}}{V_{\mathrm{H}} \cdot n} = \frac{1200 \cdot 78}{2{,}0 \cdot 4000} = 11{,}7\,\mathrm{bar}.$$

A gyári középnyomás ugyanezen a fordulatszámon 12,8 bar. A különbség utalhat arra, hogy a motor nem tölt jól, a szelepvezérlés elkopott, vagy a szívórendszerben szivárgás van. A további vizsgálat során kiderül, hogy a vezérműszíj egy fogat ugrott: a szívószelepek késnek. A javítás után a motor visszanyeri a gyári teljesítményt. Ez az eset jól mutatja, hogy a középnyomás és a sűrítési arány ismerete nélkül a hiba nehezen lenne értelmezhető.

16.2.9. Tipikus hibák

1. **A kompresszióvégnyomásból közvetlenül a sűrítési arányra következtetni.** A mért hengernyomás nem egyenlő a kezdeti nyomás ε-szorosával, mert a sűrítés során a gáz hőmérséklete is emelkedik. A helyes megközelítés: a sűrítési arány geometriai adat, a kompressziómérés pedig a tömítettség és a szelepzáródás ellenőrzésére való.
2. **Az egy hengerre vonatkozó lökettérfogat és a motor teljes hengerűrtartalmának összekeverése.** Ha valaki a képletben V_{h} helyett V_{H}-t használ, a teljesítmény számításánál téves eredményt kap. A teljesítmény képletébe mindig a teljes V_{H}-t kell írni.
3. **Rossz mértékegységek behelyettesítése.** Ha a teljesítményképletbe a p_{e} értéket barban, a V_{H}-t literben írjuk be, akkor csak a /1200-as gyakorlati képlet érvényes. Ha bar helyett Pa és liter helyett m³ a képlet, akkor a $/2 \cdot 60$-as alak használandó. A kettőt nem szabad keverni.
4. **A gyújtási sorrendet a hengerszámozás szerint feltételezni.** A hengerek számozása és a gyújtási sorrend nem feltétlenül ugyanaz; a gyártói adat mindig irányadó. A helyes sorrendet a forgattyús tengely és a vezérműtengely kialakítása határozza meg, és rossz sorrend esetén a motor remeg vagy meg sem indul.

16.2.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Ha a motor hengerének sűrítési aránya 11, akkor a kompresszióvégnyomás 11 bar körül van. Indokolj.
2. Számítsd ki egy henger lökettérfogatát, ha $D = 80\,\mathrm{mm}$ és $s = 90\,\mathrm{mm}$.
3. Egy négyhengeres motor $V_{\mathrm{H}} = 2{,}0\,\mathrm{l}$, $p_{\mathrm{e}} = 10\,\mathrm{bar}$, $n = 3000\,1/\mathrm{min}$. Mekkora a teljesítmény és a nyomaték?
4. Egy motor $b_{\mathrm{e}} = 250\,\mathrm{g/kWh}$, $H_{\mathrm{u}} = 44\,\mathrm{MJ/kg}$. Mekkora az effektív hatásfok?
5. Mi a hiba a következő leírásban? „A motor gyújtási sorrendje mindig 1–2–3–4, mert a hengereket így számozzák.”

16.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Egy motor furata $D = 84\,\text{mm}$, lökete $s = 90\,\text{mm}$, hengerszáma $i = 4$. Számítsd ki egy henger lökettérfogatát és a motor teljes hengerűrtartalmát.

2. feladat (A). Egy henger lökettérfogata $V_\text{h} = 575\,\text{cm}^3$, kompressziótérfogata $V_\text{c} = 62\,\text{cm}^3$. Mekkora a sűrítési arány?

3. feladat (B). Egy motor effektív teljesítménye $P_\text{e} = 65\,\text{kW}$ fordulatszámon $n = 2500\,1/\text{min}$. Mekkora a nyomaték? Mekkora az effektív középnyomás, ha a motor teljes lökettérfogata $V_\text{H} = 2{,}2\,\text{l}$?

4. feladat (B). Egy turbódízel motor fajlagos fogyasztása $b_\text{e} = 205\,\text{g/kWh}$, a gázolaj fűtőértéke $H_\text{u} = 42\,\text{MJ/kg}$. Mekkora az effektív hatásfok? Ha a motor effektív teljesítménye 130 kW, mennyi tüzelőanyagot fogyaszt el egy 4 órás út alatt, feltéve, hogy a motor végig a megadott fogyasztáson és teljesítményen üzemel (kg-ban és literben, ha a gázolaj sűrűsége 0,84 kg/l)?

5. feladat (C). Két benzinmotor azonos lökettérfogatú: $V_\text{H} = 1{,}6\,\text{l}$. Az első motor szívó, $p_\text{e} = 11\,\text{bar}$; a második turbófeltöltésű, $p_\text{e} = 18\,\text{bar}$. Mekkora a két motor teljesítménye $n = 4000\,1/\text{min}$ fordulatszámon? Melyik motornak nagyobb a nyomatéka? Magyarázd el, miért nem elegendő csak a lökettérfogat a motorteljesítmény összehasonlításához.

6. feladat (D). Egy autó panasza: gyenge, rángat, és a motor „kopog”. A szerelő megméri a kompressziót: minden hengerben 15 bar (gyári irányérték: 13–14 bar, ellenőrizendő). A hengertömítések és szelepek rendben. A motor sűrítési aránya a gyártói adat szerint 10,5. Milyen hibára gyanakszik a szerelő, ha a gyújtásbeállítás és a levegő–üzemanyag keverék is megfelelő? Milyen további mérést vagy számítást végezz?

16.2.12. Megoldások

16.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kompresszióvégnyomást a sűrítési arány mellett a beszívott levegő hőmérséklete és a sűrítés hőmérséklet-emelkedése is befolyásolja, ezért a gyakorlatban a mért kompresszió magasabb, mint a kezdeti nyomás ε-szerese. A kompressziómérés a tömítettség ellenőrzésére való, nem a sűrítési arány kiszámítására.
2. $V_\text{h} = \frac{(8{,}0)^2\pi}{4} \cdot 9{,}0 = 50{,}27 \cdot 9 = 452{,}4\,\text{cm}^3$.
3. $P_\text{e} = \frac{10 \cdot 2{,}0 \cdot 3000}{1200} = 50\,\text{kW}$; $M = 9549 \cdot \frac{50}{3000} = 159{,}15\,\text{Nm} \approx 159\,\text{Nm}$.
4. $\eta_\text{e} = \frac{3600}{250 \cdot 44} = \frac{3600}{11000} = 0{,}327 = 32{,}7\,\%$.
5. A hiba az, hogy a gyújtási sorrend nem a hengerszámozásból következik. A gyártói adatban szereplő sorrendet kell használni, például soros négyhengeresnél gyakran 1–3–4–2, de ez motortípusonként eltérhet.

16.2.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat. $D = 8{,}4\,\text{cm}$, $s = 9{,}0\,\text{cm}$.

$$V_\text{h} = \frac{8{,}4^2 \cdot \pi}{4} \cdot 9{,}0 = \frac{70{,}56 \cdot \pi}{4} \cdot 9 = 55{,}42 \cdot 9 \approx 498{,}8\,\text{cm}^3.$$

$$V_\text{H} = 4 \cdot 498{,}8 = 1995{,}2\,\text{cm}^3 \approx 2{,}0\,\text{l}.$$

2. feladat.

$$\varepsilon = \frac{575 + 62}{62} = \frac{637}{62} \approx 10{,}3.$$

3. feladat. A nyomaték:

$$M = 9549 \cdot \frac{65}{2500} = 9549 \cdot 0{,}026 = 248{,}27\,\mathrm{Nm} \approx 248\,\mathrm{Nm}.$$

A középnyomás:

$$p_\mathrm{e} = \frac{1200 \cdot P_\mathrm{e}}{V_\mathrm{H} \cdot n} = \frac{1200 \cdot 65}{2{,}2 \cdot 2500} = \frac{78000}{5500} = 14{,}18\,\mathrm{bar} \approx 14{,}2\,\mathrm{bar}.$$

4. feladat. $\eta_\mathrm{e} = \frac{3600}{b_\mathrm{e} \cdot H_\mathrm{u}} = \frac{3600}{0{,}205 \cdot 42\,000} = \frac{3600}{8610} = 0{,}418 = 41{,}8\,\%$ (b_e kg/kWh-ban, H_u kJ/kg-ban, a 3600 kJ egy kWh).

A 4 órás úthoz először a tüzelőanyag-tömegáram kell:

$$\dot{m}_\mathrm{B} = \frac{b_\mathrm{e} \cdot P_\mathrm{e}}{1000} = \frac{205 \cdot 130}{1000} = 26{,}65\,\mathrm{kg/h}.$$

Négy óra alatt:

$$m_\mathrm{B} = 26{,}65 \cdot 4 = 106{,}6\,\mathrm{kg}.$$

Térfogatban:

$$V_\mathrm{B} = \frac{106{,}6}{0{,}84} = 126{,}9\,\mathrm{liter}.$$

5. feladat. Első motor:

$$P_{\mathrm{e}1} = \frac{11 \cdot 1{,}6 \cdot 4000}{1200} = 58{,}67\,\mathrm{kW} \approx 59\,\mathrm{kW}.$$

Második motor:

$$P_{\mathrm{e}2} = \frac{18 \cdot 1{,}6 \cdot 4000}{1200} = 96\,\mathrm{kW}.$$

A nyomatékok:

$M_1 = 9549 \cdot \frac{58{,}67}{4000} = 140\,\mathrm{Nm}$; $M_2 = 9549 \cdot \frac{96}{4000} = 229\,\mathrm{Nm}$.

A feltöltött motor nagyobb teljesítményű és nagyobb nyomatékú. A lökettérfogat önmagában nem elég, mert a középnyomás a feltöltéstől, a töltéscserétől és az égéstől függ. Ez a feladat előkészíti az Égés, kopogás és jelleggörbék alfejezetben tárgyalt teljesítmény-nyomaték görbék összehasonlítását.

6. feladat. A kompresszióértékek magasabbak a gyári irányértéknél, a sűrítési arány pedig 10,5. Emelkedett kompresszióvégnyomás és kopogás együttesen arra utalhat, hogy a hengerfejet korábban síkolták, így a tényleges sűrítési arány nőtt, vagy a dugattyú/égéstér geometriája

megváltozott (pl. szénlerakódás csökkenti a kompressziótérfogatot). A szerelő megvizsgálja a hengerfej-tömítés vastagságát és a hengerfej-síkolás nyomait, kiszámolja a tényleges sűrítési arányt, és ellenőrzi az üzemanyag minőségét és a gyújtás időzítését. Ha a sűrítési arány valóban megnőtt, a motort vissza kell állítani a gyártói értékre, vagy magasabb oktánszámú üzemanyagot kell használni.

16.2.13. Rövid összefoglaló

A lökettérfogat a dugattyú által FHP és AHP között kiszorított térfogat: $V_\mathrm{h} = (D^2\pi/4)s$, teljes hengerűrtartalom $V_\mathrm{H} = iV_\mathrm{h}$. A sűrítési arány $\varepsilon = (V_\mathrm{h} + V_\mathrm{c})/V_\mathrm{c}$, geometriai adat, nem keverendő a kompresszióvégnyomással. Négyütemű motor effektív teljesítménye $P_\mathrm{e} = p_\mathrm{e}V_\mathrm{H}n/(2 \cdot 60)$ SI-egységekkel, illetve P_e (kW) $= p_\mathrm{e}$ (bar)V_H (l)n (1/min)/1200; nyomaték $M = 9549P_\mathrm{e}/n$. A mechanikai hatásfok az effektív és indikált teljesítmény hányadosa, az effektív hatásfok $\eta_\mathrm{e} = 3600/(b_\mathrm{e}H_\mathrm{u})$ (g/kWh, MJ/kg) összefüggéssel számolható. A légviszony a tényleges és sztöchiometrikus levegőtömeg aránya; $\lambda = 1$ az elméleti keverék. A gyújtási sorrend a gyártói adatból olvasandó, nem a hengerszámozásból következik. **Továbbvitt eredmény:** a motorjellemzők számítása és az összefüggések az Égés, kopogás és jelleggörbék, a dízelmotor működése és keverékképzése és a forgattyús hajtómű alfejezetekben ismét előkerülnek.

16.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fizikai alapösszefüggések (térfogat, nyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok) az SI-rendszeren és a termodinamika alapjain nyugszanak; ezek nem igényelnek külön jogszabályi hivatkozást. **Ellenőrizendő:** a sztöchiometrikus levegőigény pontos értéke az adott tüzelőanyagra; a hengerszámozás és a gyújtási sorrend mindig a gyártói javítási adatból; a megadott középnyomás- és fogyasztásértékek tanulási példák, nem mért adatok. A hatósági emissziós vagy teljesítményvizsgálati határértékek a későbbi diagnosztikai fejezetekben, a hatályos előírások jelölésével szerepelnek.

16.3. Égés, kopogás és jelleggörbék

16.3.1. Motiváció: amikor az égés hangja és a görbe alakja dönt

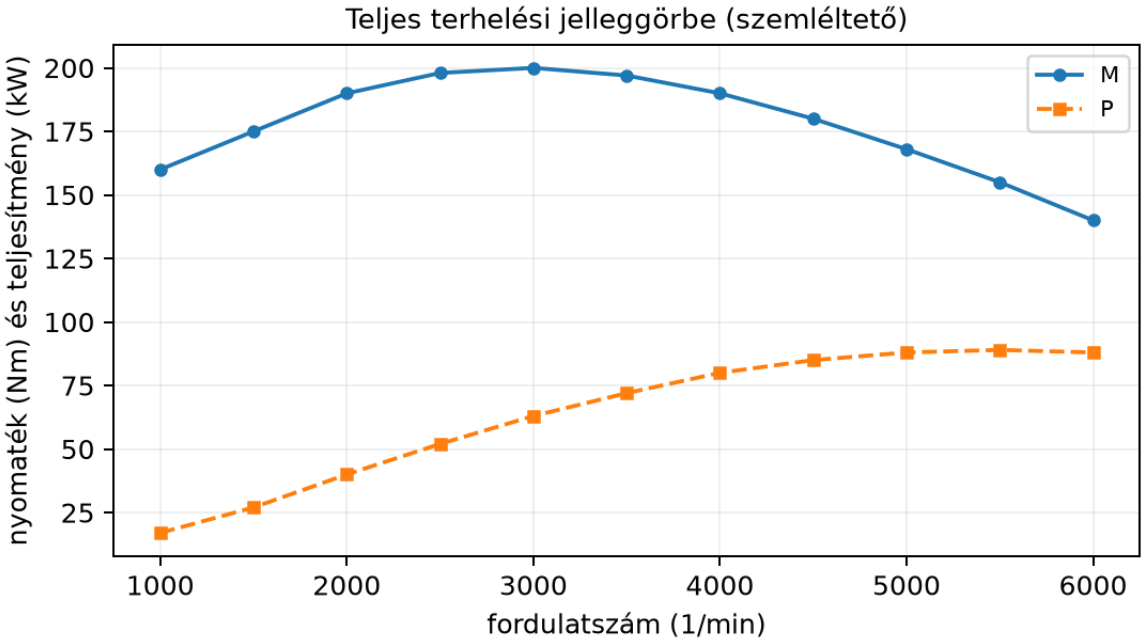
Két gyakori műhelyi panasz vezet ide. Az egyik: „gyorsításkor, kis fordulaton csilingel a motor”. A másik: „gyengébb lett, melegben sem húz, pedig a szerviz mostanában nem talált hibát.” Az első a kopogásos égés irányába mutat, a másodiknál előbb-utóbb a motorjelleggörbék és a hengerenkénti kompresszió mérése kerül elő. A diagnosztikai műszer élő adatai, a gyújtásszög-korrekció és a jelleggörbe leolvasása itt nem papírmunka: ezek döntik el, hogy a motornak csak új gyújtógyertyára, kopogásérzékelőre, vagy komoly mechanikai javításra van szüksége.

Ebben az alfejezetben az égés lefolyását, a kopogás okait és következményeit, a teljes/részterhelési jelleggörbéket, valamint a légviszony hatását tanuljuk meg úgy, hogy közben egy kompresszió-végnyomás mérést is előkészítünk.

16.3.2. Szemléletes kép: lángfront és nyomatékgörbe

Képzeljünk el egy motort nagy terhelésen, például 2500 1/min fordulaton, szinte teljesen nyitott fojtószeleppel. A szívóütemben a hengerbe került keveréket a kompresszió összenyomja; röviddel a felső holtpont előtt a gyújtógyertya szikrája lángot indít. A lángfront a gyertya felől gömbhöz közelítő felületként terjed, mögötte forró, leégett gáz, előtte még hidegebb, el nem égett keverék van. A hengernyomás a kompresszió miatt eddig is emelkedett, most az égés felszabaduló hője meredekebb nyomásemelkedést ad. Jó esetben a nyomáscsúcs éppen a felső holtpont környékére esik, így a gáz a dugattyút a leghatékonyabban tudja lefelé nyomni.

A másik, jól ismert kép a teljes terhelési jelleggörbe: a nyomaték (M) és a teljesítmény (P) fordulatszám szerinti ábrája. Az alábbi ábra egy szívó benzinmotor szemléltető görbépárját mutatja:



16.6. ábra. Teljes terhelési jelleggörbe (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor egy körülbelül 2,0 literes szívó Otto-motorhoz; nem mért érték.

A görbén a nyomaték előbb éri el a csúcsát, mint a teljesítmény, mert a teljesítmény a nyomaték és a fordulatszám szorzata.

16.3.3. Az égés lefolyása

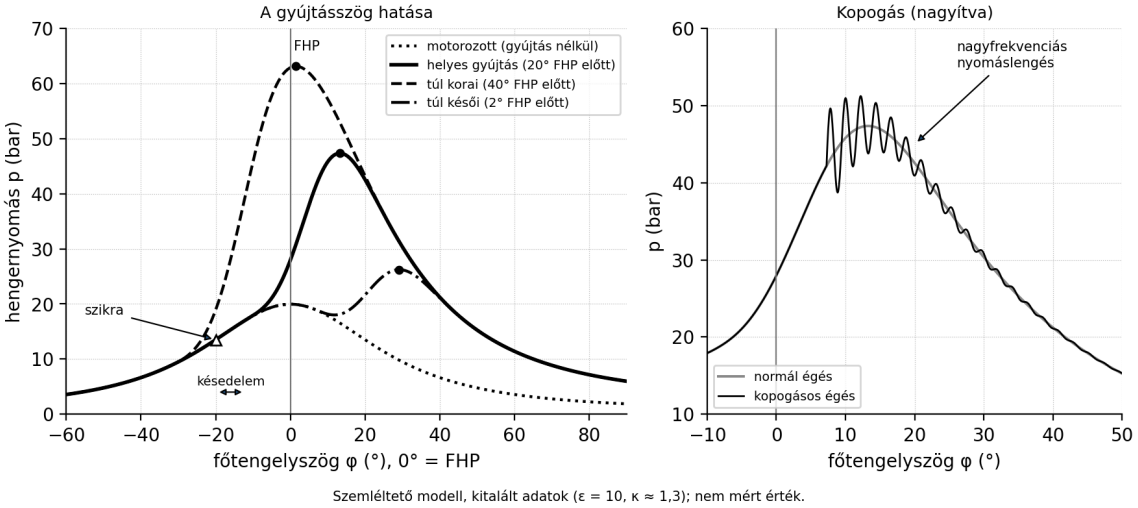
Definíció. A szikragyújtású motor **normál égése** olyan égés, amelyet a gyújtógyertya szikrája indít el, és amelyben a lángfront a keveréken rendezetten, detonációmentesen terjed át.

A folyamatot három fő szakaszra bonthatjuk:

1. **Gyújtási késedelem.** A szikra átütése után nem azonnal indul érzékelhető nyomásemelkedés. A szikra környékén kialakuló lángmagnak először akkorára kell nőnie, hogy hőtermelése ellensúlyozza a hidegebb környezet felé leadott hőt. Ez a szakasz rövid, tipikus nagyságrendje tized ezredmásodperc (az érték a keverék hőmérsékletétől, nyomásától, légviszonyától és a gyújtóenergiától függ).

2. **Lángterjedés.** A lángfront a már meggyulladt zónából az el nem égett keverék felé halad. A terjedési sebességet növeli a turbulencia, a keverék kedvező légviszonya és a nagyobb nyomás/hőmérséklet. A lángfront mögötti nyomás nő, ezért a front előtti keverék is sűrűsödik.
3. **Utóégés, nyomáscsökkenés.** A lángfront eléri az égéstér távolabbi falait, majd az égés befejeződik. A dugattyú lefelé mozdul, a gáz térfogata nő, a hengernyomás csökken.

Összefüggés. A gyújtásszöget úgy állítják be, hogy az égés fő hőfelszabadulása a felső holtpont környékére essen. Túl késői gyújtásnál a csúcsnyomás lecsúszik a munkaütem elejére, így csökken a forgatónyomaték; túl korai gyújtásnál a még felfelé mozgó dugattyú ellen dolgozik az égés, és nő a kopogás veszélye.



16.7. ábra. Hengernyomás a főtengelyszög függvényében: motorozott, helyes, túl korai és túl késői gyújtás, valamint kopogásos égés (szemléltető)

A bal oldali diagramon a pontozott görbe a gyújtás nélküli (motorozott) sűrítés, a csúcsa az FHP-n van. A helyes gyújtásnál (szikra kb. 20° FHP előtt, utána rövid gyújtási késedelem) a nyomáscsúcs kb. 10–15°-kal FHP után alakul ki; túl korai gyújtásnál magasabb, az FHP-hoz közeli csúcs, túl későinél alacsonyabb és később kialakuló csúcs adódik. A jobb oldali nagyítás a kopogásos égés nyomáslengését mutatja a csúcs körül. Az adatok szemléltető modellből származnak. A HTML-változatban a gyújtásszög csúszkával állítható, és a kopogás be- és kikapcsolható.

16.3.4. Kopogásos égés és következményei

Definíció. Kopogásos égésnek (knocking; műhelyi szóval „kopogás”, „csilingelés”) nevezzük, amikor a szikragyújtású motorban a még el nem égett keverék egy része a normál lángfront megérkezése előtt öngyullad, és gyorsan, detonációszerűen ég el.

A kopogás nem tévesztendő össze a dízelmotor öngyulladásos elvével: ott az öngyulladás a tervezett gyújtási mód, itt viszont nemkívánatos, mert a hengerben nyomáshullámok keletkeznek.

A tipikus okok:

- túl alacsony **oktánszámú** benzin a motorhoz képest;
- túl nagy **sűrítési arány**, illetve forró égéstér;
- túl korai gyújtás vagy előgyújtás;

- forró pontok (izzó koromlerakódás, túl meleg gyertyahőérték);
- túl szegény keverék nagy terhelésen, ami magasabb égési hőmérsékletet adhat;
- lerakódás, hibás keverékképzés vagy csökkent hűtés.

Figyelem. A tartós kopogásos üzem hő- és mechanikai túlterhelést okoz: megéghet a dugattyútető, olvadhat a dugattyú pereme, károsodhatnak a csapágyak és a hengerfejtömítés. A kopogás nem egyszerű kényelmetlenség, hanem motorroncsoló folyamat is lehet.

A korszerű motorok **kopogásérzékelőt** használnak. Ez a hengertömbre szerelt rezgésérzékelő a kopogásra jellemző kopogási frekvenciájú rezgést érzékeli. A motorvezérlő a kopogás intenzitása alapján hengerenként késlelteti a gyújtást, és a kopogás megszűnte után óvatosan visszaállítja azt. A szerelőnek ezért ha kopogást tapasztal, nem elég a tankolt üzemanyagra hivatkozni: ellenőrizni kell a kopogásérzékelő jelét, a tényleges gyújtásszöget, a hűtőrendszert és a hengerek mechanikai állapotát.

Előírás. A kopogásszabályozás gyújtásszög-határértékeit és a kopogásérzékelő meghúzási nyomatékát mindig a gyártói javítási adatból vegyük (ellenőrizendő: gyártói adat).

16.3.5. Teljes és részterhelési jelleggörbék

A motorjelleggörbék azt mutatják meg, hogyan alakul a nyomaték, a teljesítmény és a fogyasztás a fordulatszám és a terhelés függvényében.

Definíció. A **teljes terhelési jelleggörbe** a nyomaték, a teljesítmény, adott esetben a fajlagos fogyasztás alakulása a fordulatszám függvényében teljesen nyitott fojtószelep (szívó Otto-motor) vagy maximális befecskendezési mennyiség (dízel) mellett.

A nyomaték és teljesítmény kapcsolata:

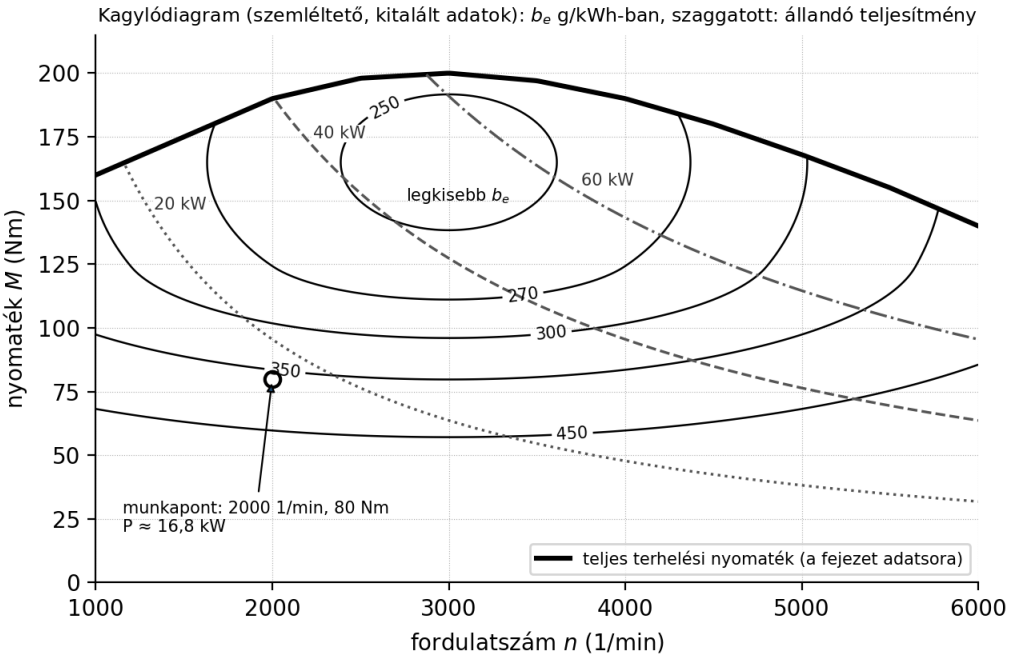
$$P = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2\pi n}{60},$$

ahol P a teljesítmény W-ban, M a nyomaték Nm-ben, n a fordulatszám 1/min-ben. Ebből következik, hogy alacsony fordulaton a nyomatékból számolt teljesítmény kicsi, magas fordulaton ugyanakkora nyomaték nagyobb teljesítményt ad.

Szívó Otto-motor nyomatékgörbéje jellemzően közepes fordulatszám-tartományban éri el a maximumát. Alacsony fordulaton a töltetmozgás és a töltéscsere romlik, magas fordulaton a szívórendszer, a szelepek és a súrlódás növekedése korlátoz. Dízelmotornál a nyomatékgörbe gyakran laposabb, alacsony fordulaton nagyobb, de a maximális fordulatszám kisebb.

Definíció. A **részterhelési jelleggörbék** az állandó fojtószelepálláshoz vagy pedálálláshoz tartozó nyomaték–fordulatszám görbék. Ha a nyomaték–fordulatszám síkon az azonos fajlagos fogyasztású pontokat kötjük össze, kagylószerű zárt görbék seregét kapjuk: ez a **kagylódiagram** (fogyasztási jelleggörbe-mező, BSFC map). Felső határa a teljes terhelési nyomatékgörbe; a legkisebb b_e-jű „kagyló belseje” általában közepes fordulaton, nagy terhelésen van.

A kagylódiagramon belül minden pont egy üzemállapot: a motor a teljes terhelési görbe alatti tartományban dolgozik, és a pont helyéből leolvasható a fajlagos fogyasztás. A gyenge, „nem húzó” motor gyakran azért marad el az elvárttól, mert a teljes terhelési görbe megsüllyed az elvárt értékhez képest.



16.8. ábra. Kagylódiagram: teljes terhelési nyomatékgörbe, állandó fajlagos fogyasztású kagylók és állandó teljesítményű hiperbolák (szemléltető)

Az ábra felső vastag vonala a Szemléletes kép nyomatékgörbéje (160…200…140 Nm). Alatta a kagylók az állandó fajlagos fogyasztás vonalai (250, 270, 300, 350, 450 g/kWh – kitalált, szemléltető értékek): a legkisebb fogyasztás kb. 2500–3500 1/min és 150–180 Nm környékén van, kis terhelésen a b_e meredeken nő. A szaggatott hiperbolák az állandó teljesítmény (20, 40, 60 kW) vonalai, mert $M = P \cdot 60/(2\pi n)$. A jelölt munkapont (2000 1/min, 80 Nm) teljesítménye kb. 16,8 kW. A HTML-változatban a munkapont húzható, és a kijelző mutatja az n, M, P és a becsült b_e értékét.

Továbbvitt eredmény. A jelleggörbék leolvasását, a nyomaték–teljesítmény átszámítást és a kagylódiagram értelmezését használjuk a Kétütemű Otto-motorok, a Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken), a(z) A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés, a Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig és a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetekben.

16.3.6. Jelleggörbék a légviszony függvényében

A λ légviszony a tényleges levegő–tüzelőanyag arány és az elméleti, sztöchiometrikus arány hányadosa:

$$\lambda = \frac{\text{tényleges légmennyiség/tüzelőanyag-tömeg}}{\text{elméleti légmennyiség/tüzelőanyag-tömeg}}.$$

Benzinnél $\lambda = 1$ a sztöchiometrikus keverék. A λ hatása a nyomatékra és fogyasztásra:

- **Enyhén dús keveréknél,** $\lambda \approx 0{,}85 \ldots 0{,}95$ **között** a nyomaték legnagyobb, mert nagy a lángterjedési sebesség és jobb a töltet kihasználása. A nagyobb teljesítmény tehát enyhén dús keveréken érhető el, de a fogyasztás és a CO-emisszió nő.

- **Kissé szegény keveréknél,** $\lambda \approx 1{,}05 \ldots 1{,}15$ **között** a fajlagos fogyasztás gyakran a legkedvezőbb, mert jobb a levegő kihasználása, de a motor kopogáshajlama és az NOx-emisszió nőhet.
- **Túl szegény keveréknél** a lángterjedés lelassul, az égés elhúzódik, a motor rángat, és a gyújtáskihagyás veszélyes.

A gyakorlati motorvezérlés a legtöbb üzemállapotban $\lambda = 1$ környékén szabályoz, mert a háromutas katalizátor ott tisztítja egyidejűleg a CO-t, a HC-t és az NOx-ot. Teljes terhelésen viszont a maximális nyomaték érdekében a vezérlő enyhén dús keverékre állhat, míg enyhe részterhelésen, lassításkor szegényebb keveréket is engedhet.

16.3.7. Kompresszió-végnyomás mérés: elméleti háttér

A hengertömítettség gyors, hagyományos vizsgálata a **kompresszió-végnyomás mérés**. Az összenyomást közelítőleg politropikus folyamatnak tekinthetjük:

$$p_2 \approx p_1 \cdot \varepsilon^n,$$

ahol p_1 a sűrítés kezdeti nyomása, ε a sűrítési arány, n a politropikus kitevő (hideg, lassú indítózásnál gyakran $n = 1{,}2 \ldots 1{,}3$ körüli szemléltető érték). A képlet felső becslést ad: a valós motoron a szelepzáródási idő, a hőveszteség, az átfúvás és a tömítetlenség miatt a mért érték elmarad az elméleti, tökéletesen zárt hengerrel számított értéktől.

Figyelem. A kompresszió-végnyomás mérés során az indítómotor forgatja a motort, ezért a gyújtást és az üzemanyag-befecskendezést ki kell iktatni, a váltót üres állásba kell tenni, és a forgó részek közeléből mindent el kell távolítani.

16.3.8. Kidolgozott példák

1. példa – teljesítmény számítása nyomatékból.
Adott: $M = 205\,\mathrm{Nm}$, $n = 3500\,1/\mathrm{min}$. Keresett: P.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 3500}{60} = 366{,}5\,1/\mathrm{s},$$

$$P = M \cdot \omega = 205 \cdot 366{,}5 = 75\,100\,\mathrm{W} = 75{,}1\,\mathrm{kW}.$$

Nagyságrend-ellenőrzés: egy 2 literes szívó benzinmotor teljes terhelésen 3500 1/min fordulaton 70–80 kW teljesítménye reális szemléltető érték ∎

2. példa – effektív középnyomás visszaszámítása.
Ugyanaz a motor, $V_H = 2{,}0\,\mathrm{l} = 0{,}002\,\mathrm{m}^3$. Az effektív középnyomás négyütemű motornál:

$$p_e = \frac{4\pi M}{V_H}.$$

Behelyettesítve:

$$p_e = \frac{4\pi \cdot 205}{0{,}002} = \frac{2576}{0{,}002} = 1\,288\,000\,\mathrm{Pa} = 12{,}9\,\mathrm{bar}.$$

Ez a szemléltető érték a közepes fordulatszámú nyomatékcsúcs környékén realistának tekinthető, de a pontos gyártói jelleggörbéből kell ellenőrizni.

16.3.9. Minőségellenőrzés

A jelleggörbe leolvasásánál mindig a mért fordulatszámhoz tartozó **gyártói referenciaértékhez** viszonyítsunk. A diagnosztikai műszer élő adataiban a tényleges nyomatékot a motorvezérlő becsli; a valós mechanikai állapotot azonban a kompressziómérés, a hengerszivárgás-mérés és a próbaút erősíti meg.

Kompressziómérés előtti ellenőrzőlista:

1. Motor üzemi hőmérsékleten, akkumulátor feltöltve.
2. Minden henger gyújtógyertyája kiszerelve.
3. A gyújtás és a befecskendezés kiiktatva.
4. A fojtószelep teljesen nyitva, váltó üresben.
5. A kompressziómérő csatlakoztatása szivárgásmentes.
6. Minden hengeren azonos számú forgatási ütem (például 5–8 sűrítési ciklus).
7. Az értékeket hengerenként feljegyezve, a gyártói határértékkel és a hengerek közötti megengedett eltéréssel összevetve.

16.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy szívó benzinmotoros autó tulajdonosa arra panaszkodik, hogy „gyorsításkor csilingel, és melegebb időben romlik az ereje”. A műhelyben először a hibakód-memóriát olvassák ki: kopogásszabályozás miatti gyújtásszög-késleltetés látszik. A műszer élő adataiban a kopogásérzékelő jele nagy, a gyújtásszög hengerenként jelentősen későbbre áll. A kompressziómérés hengerenként 13,0; 12,8; 13,1; 9,2 bar szemléltető értékeket ad. A gyártói adat szerint a megengedett eltérés például ±10–15% – az utolsó henger kiesik. A hiba a hengertömítettség és/vagy szelepzáródás romlása, amit hengerszivárgás-méréssel tovább lehet pontosítani. A javítás hengerfej-felújítás vagy dugattyúgyűrű-állapot rendezése lehet. A tanulság: a kopogás nem mindig üzemanyagprobléma; a mechanikai állapotromlás is emelheti az égési hőmérsékletet és a kopogáshajlamot.

16.3.11. Gyakorlati útmutató: kompresszió-végnyomás mérés

Cél: a hengerek tömítettségének gyors, összehasonlító vizsgálata.

Jármű- és adatazonosítás: típus, motorszám, hengerűrtartalom, sűrítési arány, gyártói referenciaértékek.

Szerszámok, mérőeszközök: kompressziómérő megfelelő csatlakozóval, gyújtógyertya-kulcs, nyomatékkulcs, diagnosztikai műszer, akkumulátor-töltő.

Anyagok: ha szükséges, új gyújtógyertya-tömítés, a gyártó által előírt gyertyahézag-ellenőrzés.

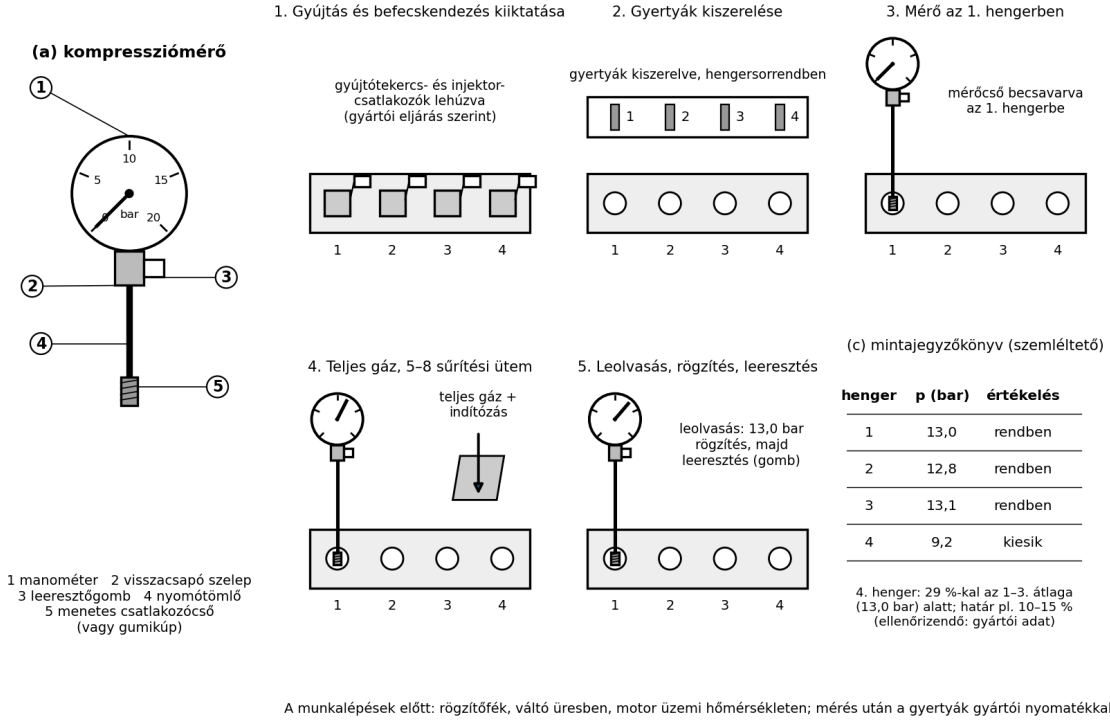
Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: előkészítés alatt (gyertyák kiszerelése, mérő csatlakoztatása) gyújtás ki, kulcs a zsebünkben; indítózás csak akkor, ha a gyújtás és a befecskendezés hatástalanítva van, a mérő csatlakoztatva, és senki sincs a forgó részek (szíjhajtás, ventilátor) közelében, a kulcsot vagy az indítógombot pedig az működteti, aki a mérőt figyeli,

vagy egyértelmű szóbeli jelre; váltó üresben, kéziszerszámok ne lógjanak a forgó részek közelébe. A motortérben üzemanyaggőz lehet, ezért nyílt láng és szikra tilos. Az akkumulátor csatlakozóit csak a gyártói előírás szerint szabad bontani; a negatív pólus legyen az első.

Számozott munkalépések:

1. Melegítsük a motort üzemi hőmérsékletre.
2. Állítsuk le a motort, húzzuk be a rögzítőféket.
3. Kösse le a gyújtást és a befecskendezést: például húzza ki a gyújtótekercs(ek) vagy injektor(ok) csatlakozóját, illetve a biztosítékot/relet a gyártói kapcsolási rajz szerint (ellenőrizendő: gyártói eljárás).
4. Távolítsa el az összes gyújtógyertyát, és rendezze hengersorrendben.
5. Csatlakoztassa a kompressziómérőt az első hengerhez.
6. Nyomja le teljesen a gázpedált, és forgassa a motort az indítómotorral 5–8 sűrítési ütemen át.
7. Olvassa le és jegyezze fel az értéket, majd engedje ki a mérőt.
8. Ismételje meg minden hengeren azonos módon.
9. Hasonlítsa össze az értékeket a gyártói adattal és egymással.



16.9. ábra. Kompresszió-végnyomás mérés: a mérő részei, a munkalépések képsora és mintajegyzőkönyv

A rajz (a) része a kompressziómérő részeit mutatja (manométer, visszacsapó szelep, leeresztőgomb, nyomótömlő, menetes csatlakozócső vagy gumikúp), a (b) képsor a 3–7. munkalépést, a (c) mintajegyzőkönyv a Valós eset szemléltető értékeit (13,0; 12,8; 13,1; 9,2 bar): a 4. henger kb. 29 %-kal marad el a többi átlagától. A HTML-képsor 4. lépésében a mutató ütemenként lépcsőzetesen emelkedik.

Ellenőrzési pont: minden henger mérési értéke a gyártó által megadott tartományban legyen, a hengerek közötti eltérés ne haladja meg az előírt százalékot (például 10–15%, ellenőrizendő). A mérés után a gyertyákat a gyártói nyomatékkal szerelje vissza.

Tipikus hibák: nem teljesen nyitott fojtószelep, lemerült akkumulátor, a befecskendezés elmulasztott kiiktatása, a mérőcső rossz tömítése, az értékek hengersorrend nélküli feljegyzése.

Dokumentálás: munkalapon rögzíteni kell a hengerszámot, a mért értékeket, a motor hőmérsékletét, a forgatási ütemek számát és az esetleges rendellenességeket.

16.3.12. Tipikus hibák

1. **Hiba:** a kopogást mindig az alacsony oktánszámú benzinre fogja a szerelő, és nem ellenőrzi a kopogásérzékelőt vagy a hűtést. **Helyes gyakorlat:** tankolási adat és üzemanyagvizsgálat mellett mérje a gyújtásszög-korrekciót, a hűtőfolyadék hőmérsékletét, a gyertyák hőértékét.
2. **Hiba:** a teljes terhelési görbén a nyomaték és a teljesítmény csúcsát összekeveri. **Helyes gyakorlat:** a maximális nyomaték alacsonyabb fordulatszámon jelentkezik, a maximális teljesítmény magasabban; a kettő nem ugyanaz az üzemállapot.
3. **Hiba:** a kompressziómérésnél hideg motornál, egyesével kiszerelt gyertyákkal mér, és a hengerek közötti eltérést abszolút értéknek tekinti. **Helyes gyakorlat:** mindig azonos körülmények között, minden hengeren azonos forgatással, üzemi hőmérsékleten mérjen, és a gyártói adathoz hasonlítson.
4. **Hiba:** a $\lambda = 1$-et mindig a maximális teljesítmény keverékének tartja. **Helyes gyakorlat:** a maximális nyomaték enyhén dús, a minimális fogyasztás kissé szegény tartományban lehet; a $\lambda = 1$ a katalizátor szempontjából kitüntetett.

16.3.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a túl korai gyújtás a kopogás egyik lehetséges oka?
2. Egy motor nyomatéka 250 Nm 3000 1/min fordulaton. Mekkora a teljesítménye?
3. Igaz-e, hogy a teljes terhelési görbén a maximális teljesítmény fordulatszáma mindig megegyezik a maximális nyomaték fordulatszámával?
4. Miért mérünk nagyjából zárt fojtószelep esetén rossz, nem összehasonlítható kompresszióvégnyomást?
5. Milyen tartományban ad legnagyobb nyomatékot a benzinmotor légviszonya: $\lambda < 1$, $\lambda = 1$, vagy $\lambda > 1$?

16.3.14. Feladatok

1. feladat (A)
Definiálja a kopogásos égést, és nevezzen meg két okát.

2. feladat (A)
Egy motor teljes terhelési görbéjén $M = 180\,\text{Nm}$ 4000 1/min fordulaton. Számítsa ki a teljesítményt kW-ban.

3. feladat (B)
A fenti chart görbéről állapítsa meg, körülbelül hány 1/min-nél adja le a szemléltető motor a legnagyobb nyomatékot, és hány 1/min-nél a legnagyobb teljesítményt. Indokolja a különbséget a képlet alapján.

4. feladat (B)
Egy 1,6 l ($0{,}0016\,\text{m}^3$) motor nyomatéka 3000 1/min-nél 145 Nm. Számítsa ki az effektív középnyomást bar-ban.

5. feladat (C)
Kompresszióméréskor a négy hengeren 12,6; 12,4; 12,7; 10,1 bar értékeket mértek. A gyártói határérték 12–14 bar, a hengerek közötti megengedett eltérés 15%. Melyik henger gyanús, és miért? Milyen következő vizsgálatot javasolna?

6. feladat (D)
Egy szívó benzinmotor gyorsításkor kopog, a diagnosztikai műszer nagy kopogásszabályozási késleltetést mutat, de a hűtőfolyadék hőmérséklete normális. Soroljon fel legalább három további ellenőrzési lehetőséget a gyújtás, a keverékképzés és a mechanikai állapot területén.

16.3.15. Megoldások

16.3.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A túl korai gyújtás miatt az égés a felfelé mozgó dugattyú ellen dolgozik, és a nyomás/hőmérséklet emelkedése növeli az öngyulladás esélyét.
2. $\omega = 2\pi \cdot 3000/60 = 314{,}2\,1/\mathrm{s}$; $P = 250 \cdot 314{,}2 = 78\,550\,\mathrm{W} = 78{,}6\,\mathrm{kW}$.
3. Hamis. A nyomatékcsúcs jellemzően alacsonyabb, a teljesítménycsúcs magasabb fordulatszámon van, mert a teljesítmény a nyomaték és a fordulatszám szorzata.
4. Zárt fojtószelepnél a beszívott levegő mennyisége kicsi, a sűrítés kezdeti nyomása alacsony, ezért a végnyomás is kisebb, és a mérés nem tükrözi a mechanikai tömítettséget.
5. A legnagyobb nyomaték enyhén dús keveréknél, $\lambda < 1$ tartományban (kb. 0,85–0,95), mert ott nagy a lángterjedési sebesség és jobb a töltet kihasználása.

16.3.15.2. Feladatok – megoldások

1. feladat.
Kopogásos égés: a szikragyújtású motorban a lángfront előtt álló keverékrész öngyullad. Két ok: alacsony oktánszámú benzin, túl nagy sűrítési arány/forró égéstér.

2. feladat.
$\omega = 2\pi \cdot 4000/60 = 418{,}9\,1/\mathrm{s}$.
$P = 180 \cdot 418{,}9 = 75\,400\,\mathrm{W} = 75{,}4\,\mathrm{kW}$.

3. feladat.
A nyomaték maximuma kb. 3000 1/min-nél, a teljesítmény maximuma kb. 5500 1/min-nél van. A teljesítmény azért tolódik feljebb, mert $P = M \cdot \omega$; a nyomaték ugyan csökken, de a fordulatszám még jobban nő.

4. feladat.
$p_e = \frac{4\pi M}{V_H} = \frac{4\pi \cdot 145}{0{,}0016} = \frac{1822}{0{,}0016} = 1\,139\,000\,\mathrm{Pa} = 11{,}4\,\mathrm{bar}$.

5. feladat.
A 4. henger gyanús: a 10,1 bar a 12–14 bar-os gyári tartomány alatt van, és a többi három henger átlagától (12,6 bar) kb. 20 %-kal (a legnagyobb értéktől, 12,7 bartól 20,5 %-kal) marad el, ami meghaladja a 15 %-os példaértéket. (A viszonyítás alapját – legnagyobb érték vagy átlag – a gyártó adja meg.) Javaslat: hengerszivárgás-mérés, illetve az alacsony nyomás okának elkülönítése (szelepzáródás, gyűrűtömítés, hengerfejtömítés).

6. feladat.
Ellenőrizendő például: a gyújtásszög-alapjel és a kopogásérzékelő jele; a gyújtógyertyák hőértéke és állapota; a befecskendezés és a légviszony-érzékelő, mert tartósan szegény keverék kopogást

okozhat; a kompresszió-végnyomás és a hengerek tömítettsége; valamint az égéstérben lerakódás vagy forró pont.

16.3.16. Rövid összefoglaló

A szikragyújtású motorban a szikra által indított lángfront a gyújtási késedelem után rendezetten terjed át a keveréken. A kopogásos égés az el nem égett rész öngyulladása; okai között az alacsony oktánszám, a túl nagy sűrítés, a korai gyújtás, a forró pont és a szegény keverék szerepel. A kopogásérzékelő a gyújtásszöget hengerenként visszaveszi. A teljes terhelési görbén a nyomaték maximuma alacsonyabb, a teljesítmény maximuma magasabb fordulatszámon van, mert $P = M \cdot 2\pi n/60$. A részterhelési görbék kagylódiagramot adnak. A légviszony hatása: enyhén dús keveréken nagyobb nyomaték, kissé szegény keveréken kedvezőbb fogyasztás érhető el. A kompresszió-végnyomás mérés a hengertömítettség gyors vizsgálata; az értékeket a gyártói adathoz és egymáshoz kell hasonlítani. A jelleggörbék olvasása és a kompressziómérés a későbbi motor-, gyújtás- és diagnosztikai alfejezetekben visszatérő alap.

16.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási adatok: kompresszió-végnyomás határértékek, megengedett hengerenkénti eltérés, kopogásszabályozási gyújtásszög-határok (ellenőrizendő: minden típusnál)
- A jelleggörbék és a motorjellemzők számítása: fizikai összefüggések, a kidolgozott példák szemléltető tanulási adatok
- A kompressziómérés technológiája: gyártói szervizeljárások (a megadott munkalépések általános tanulási példák)
- A kopogás, az oktánszám és a légviszony hatásai: tankönyvi általános motorismeret; a λ-tartományok hozzávetőleges szemléltető értékek, típusfüggők

16.4. Kétütemű Otto-motorok

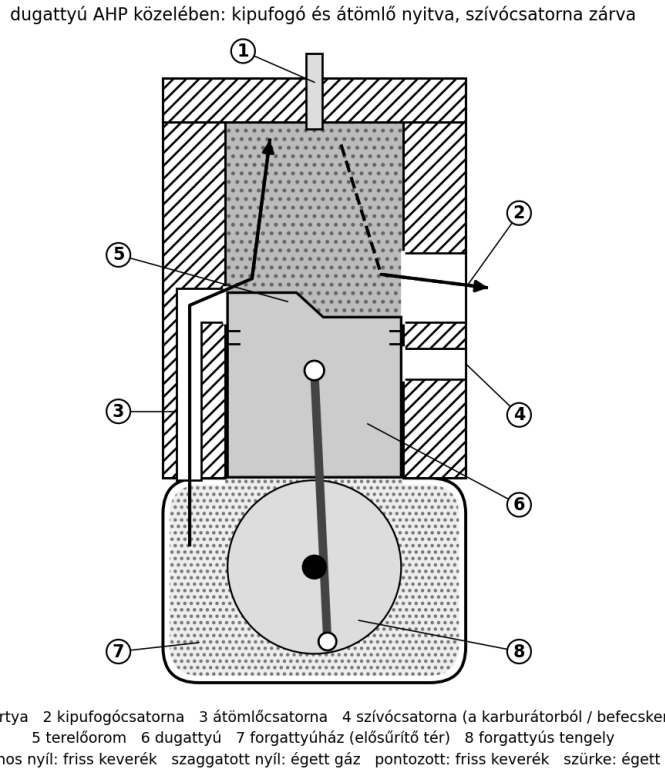
16.4.1. Motiváció

Egy régi motorkerékpár, láncfűrész vagy fűkasza javításakor a műhelyben gyakran hallani: „kétütemű a motorja, keveréket kell tankolni”. A kétütemű Otto-motor a mai autókban már gyakorlatilag nem szerepel, de kisgépekben, robogókban, motorkerékpárokban és régi kelet-európai járművekben ma is találkozhatunk vele. A szerelőnek értenie kell, miért van minden fordulatnál gyújtás, miért kell olajat keverni a benzinhez, és miért füstöl sok kétütemű motor erősen. Az itt megtanult munkafolyamat és öblítési elv nemcsak a régi járművek javításához kell, hanem a motorok ciklusfogalmának mélyebb megértéséhez is, amelyet a Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás alfejezetben már használtunk.

16.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy metszetet: egy henger, benne dugattyú, a dugattyú alatt a forgattyús tengely és a **forgattyúház**, amely nemcsak a hajtóművet zárja le, hanem a friss keverék elősűrítésére szolgáló tömített szivattyúteret is alkot. A hengerfalban három fő csatornát látunk: a **szívócsatornát**, amely a karburátorból vagy befecskendezőből a forgattyúházba vezet, a **kipufogócsatornát**, amely az égéstérből vezeti el az égés utáni gázt, és a **átömlőcsatornát**, amely a forgattyúházból

szállítja a friss keveréket az égéstérbe. A dugattyú palástja és a dugattyú alsó éle maga vezérli a csatornák nyitását-zárását, külön szívószelep vagy vezértengely nélkül. Ez az öngerjesztő, egyszerű csatornavezérlés magyarázza a kétütemű motor alacsony alkatrészszámát.



16.10. ábra. Háromcsatornás kétütemű Otto-motor metszete a dugattyú alsó holtpontja közelében

A metszeten a dugattyú az alsó holtpont közelében áll: a kipufogó- és az átömlőcsatorna nyitva, a szívócsatornát a dugattyú palástja zárja. A forgattyúházban elősűrített friss keverék (folytonos nyíl) az átömlőcsatornán át áramlik be, a dugattyú terelőorma felfelé tereli, és a hengerfej felé kiszorítja az égett gázt a kipufogócsatornán át (szaggatott nyíl). A HTML-változat négy lépésben mutatja a munkafolyamatot (FHP és égés; kipufogó nyit; átömlő nyit, öblítés; felfelé mozgás közben sűrítés felül, szívás alul).

16.4.3. Definíció

Definíció. A **kétütemű Otto-motor** olyan belső égésű motor, amelyben a teljes munkafolyamat — szívás, elősűrítés, égés, expanzió, kipufogás és öblítés — a dugattyú **két üteme**, azaz a forgattyús tengely **egy fordulata** alatt játszódik le. A gyújtás minden fordulatnál, felső holtpont közelében következik be.

16.4.4. Felépítés és működés

A kétütemű motor feladata ugyanaz, mint a négyüteműé: hőenergiából forgató nyomatékot állítani elő. A szerkezet egyszerűbb, mert nincs vezérműtengely, szelep és szelephajtás; a töltéscserét a dugattyú és a csatornák látják el. A háromcsatornás alapkivitelben az **égéstér** a dugattyú felett, a második munkateret a dugattyú alatti **forgattyúház** alkotja. A forgattyúház tömített,

mert a dugattyú felfelé mozgásakor benne vákuum, lefelé mozgásakor túlnyomás keletkezik. Ez a szivattyúhatás a töltés elősűrítésének kulcsa.

16.4.4.1. A munkafolyamat lépései

A munkafolyamatot a felső holtponttól indulva érdemes végigkövetni:

1. **Munkaütem és kipufogás kezdete.** A felső holtpont körül a sűrített keverék ég; a hengerben lévő forró égésgáz a dugattyút lefelé nyomja. Ez a munkaütem. A dugattyú lefelé mozgása közben a forgattyúházban lévő friss keverék nyomása nő. A dugattyú felső éle még a lefelé mozgás utolsó harmadában szabaddá teszi a kipufogócsatornát. Az égésgáz nagy nyomással kiáramlik; a hengernyomás gyorsan csökken.
2. **Öblítés.** Röviddel a kipufogócsatorna kinyitása után a dugattyú felső éle az átömlőcsatornát is megnyitja. A forgattyúházban elősűrített friss keverék az átömlőcsatornán keresztül az égéstérbe áramlik, és kiszorítja a maradék égésgázt. Mivel a friss keverék benzin–levegő–olaj keverék, az öblítés során mindig veszítünk el friss keveréket a kipufogón keresztül; ez a kétütemű motor legfontosabb vesztesége.
3. **Öblítés vége, a csatornák zárása.** Az alsó holtpont körül a friss keverék még áramlik az átömlőcsatornán. A felfelé induló dugattyú először az átömlő-, majd a kipufogócsatornát zárja; ettől kezdve a dugattyú felett a sűrítés indul, alatta a forgattyúház térfogata nő, nyomása a légköri alá csökken – ez készíti elő a szívást. (Az elősűrítés a lefelé mozgás alatt, az 1. lépésben történik.)
4. **Szívás és egyidejű kompresszió.** A dugattyú felfelé mozgása közben a dugattyú alsó éle megnyitja a szívócsatornát, és a forgattyúházba friss keveréket szív. Eközben a dugattyú felett már a következő munkaciklus keveréke sűrűsödik. Ez az egyidejűség jellegzetes kétütemű sajátosság: a dugattyú egyik oldalán szívás, másik oldalán kompresszió zajlik.

Összefüggés. A kétütemű motor elméletileg kétszer annyi munkaciklust ad, mint az azonos fordulatszámon járó négyütemű motor. Ha a fordulatszám n (1/min), a gyújtások másodpercenkénti száma

$$f_{\text{gy}} = \frac{n}{60} \quad \text{kétüteműnél}, \qquad f_{\text{gy}} = \frac{n}{2 \cdot 60} \quad \text{négyüteműnél}.$$

Ez a képletet használjuk a Motorjellemzők alfejezetben bemutatott teljesítmény-képletben is. ∎

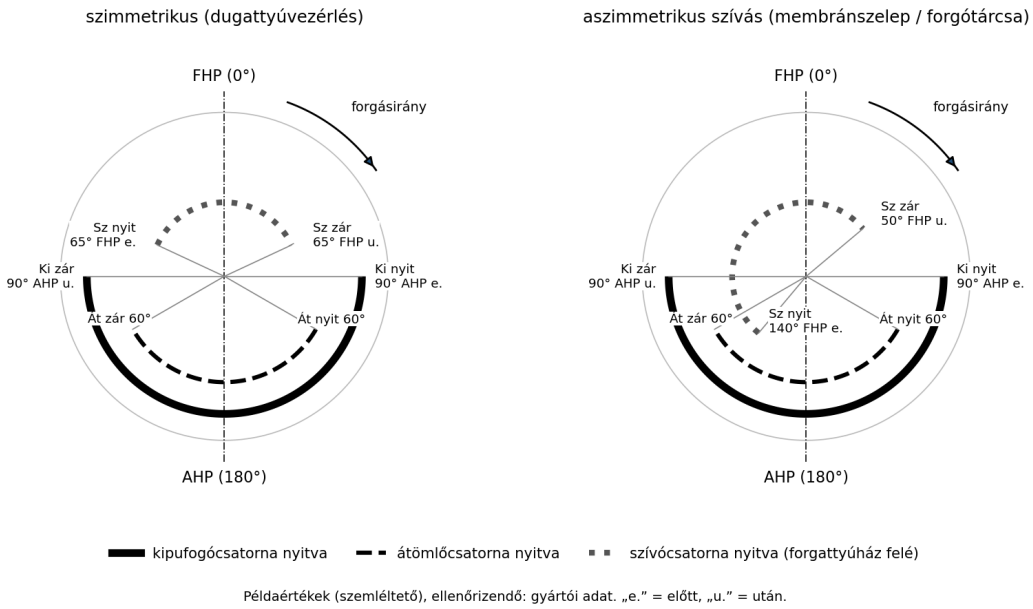
Továbbvitt eredmény. A kétütemű minden fordulat alatti munkaciklusa, a forgattyúház-előkompresszió és az öblítési veszteség elve a vizsgafeladatokban rendszeresen visszatér; a jelen alfejezet példái a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok alfejezetben használhatók fel.

16.4.5. Vezérlési diagram és öblítési rendszerek

A forgattyús tengely szögéhez rendelhető diagram megmutatja, mikor nyitnak és zárnak a csatornák. Az alap háromcsatornás motor **szimmetrikus vezérlési diagramú**: a kipufogó- és átömlőcsatorna nyitva tartása az **alsó holtpontra** szimmetrikus (a csatornavezérlés miatt a nyitás és a zárás ugyanakkora szöggel van AHP előtt, illetve után). A kipufogócsatorna például 90°-kal az alsó holtpont előtt nyit, 90°-kal az alsó holtpont után zár; az átömlőcsatorna 60°-kal az alsó holtpont előtt nyit, 60°-kal utána zár (példaértékek, ellenőrizendő: konkrét motor gyártói adata). Ez a szimmetria egyszerű szerkezetet ad, de hátránya, hogy a friss keverék és az égésgáz töltéscseréje csak rövid ideig tart, és a keverékveszteség nagy.

Az **aszimmetrikus vezérlési diagram** többlet elemmel javítja a feltöltést és a teljesítményt. A gyakorlatban:

- **Membránszelep (reed valve)** a szívócsatornában: a légáramlás nyitja, a nyomásirány zárja. Ez megakadályozza a friss keverék visszaáramlását a karburátor felé a forgattyúház túlnyomásos szakaszában.
- **Forgószelepes vezérlés** a forgattyús tengelyen lévő tárcsával: a tengely szögével nyit/zár, így a szívás késleltethető, a feltöltés pontosabban hangolható.
- **Kipufogóoldali változtatható szelep** (például power valve): a kipufogócsatorna keresztmetszetét szabályozza, hogy alacsony fordulaton jobb nyomatékot, magas fordulaton nagyobb csúcsteljesítményt adjon. A beállítási értékek gyártónként és típusonként eltérnek (ellenőrizendő).



16.11. ábra. Kétütemű motor vezérlési kördiagramja: szimmetrikus dugattyúvezérlés és aszimmetrikus szívás (példaértékek)

A bal oldali kördiagram a szimmetrikus vezérlést mutatja (0° = FHP felül, a forgásirány az óramutató járása szerinti): a kipufogócsatorna 90°-kal AHP előtt nyit és 90°-kal utána zár (180°-os ív), az átömlő 60°/60° (120°), a szívás az FHP körül szimmetrikus (65°/65°, szemléltető). A jobb oldalon membránszelep vagy forgótárcsa teszi aszimmetrikussá a szívást (például 140° FHP előtt nyit, 50° után zár – szemléltető), a dugattyúvezérelt kipufogó- és átömlőcsatorna változatlan. Az értékek példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

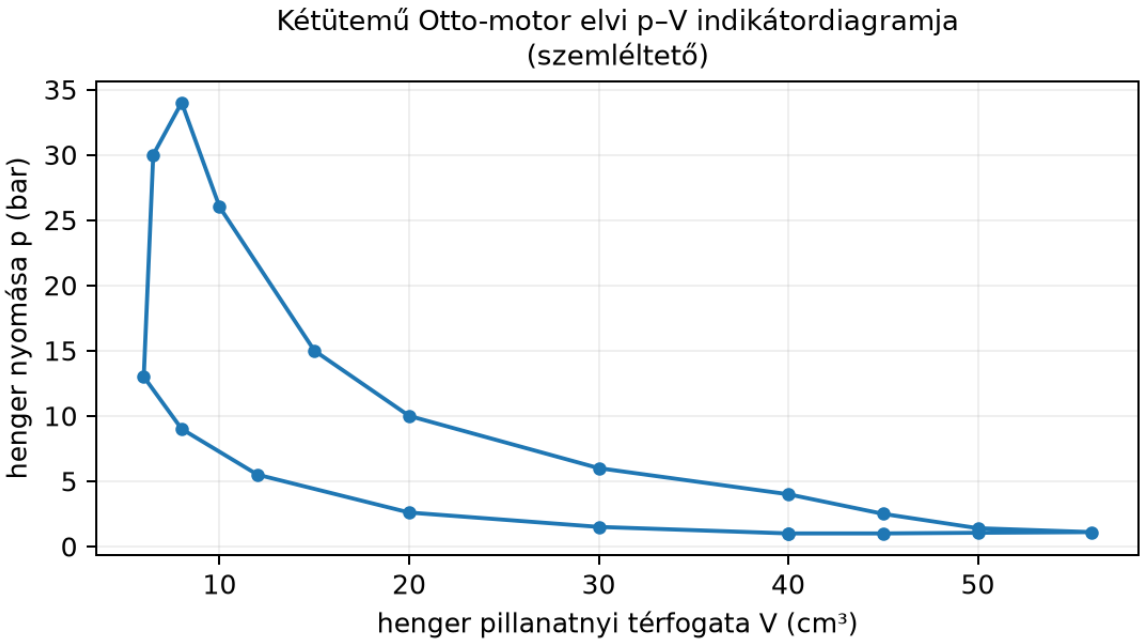
Az öblítés — a friss keverék beáramlása az égéstérbe és az égésgáz kiszorítása — a kétütemű motor legfontosabb minőségi jellemzője. Két alapvető elrendezést különböztetünk meg:

- **Keresztáramú öblítés.** A kipufogó- és az átömlőcsatornák egymással szemben helyezkednek el. A dugattyú tetején terelőorom vagy terelőforma irányítja a friss keveréket felfelé, a hengerfej felé, hogy az égésgázt a túlsó oldalon lévő kipufogócsatorna felé szorítsa. A töltéscsere rövid, a friss keverék könnyen kijuthat a kipufogón; a terelőorom a hőterhelés miatt hajlamos a túlhevülésre, és megnöveli a dugattyú tömegét.
- **Hurkos öblítés.** Az átömlőcsatornák és a kipufogócsatorna azonos oldalon helyezkednek el. A friss keverék a hengerben hurok alakú utat ír le: felfelé a hengerfej felé, majd megfordulva a kipufogócsatorna felé. Így jobb átöblítés, kisebb frisskeverék-veszteség érhető el. A

több átömlőcsatornával kialakított, hurkos öblítésű motorok jobb középnyomatékot és valamivel alacsonyabb üzemanyagfogyasztást mutatnak, bár a fogyasztás így is meghaladja a négyüteműét.

16.4.6. Az indikátordiagram és a jellemző folyamatok

A kétütemű motor munkafolyamata nyomás–térfogat (p–V) diagramban is szemléltethető. Az alábbi, tanulási célú p–V görbe a hengeben lejátszódó elvi ciklust mutatja. A zárt görbe területe arányos a ciklusmunkával; minél nagyobb a terület, annál nagyobb a leadott munka.



16.12. ábra. Kétütemű Otto-motor elvi p–V indikátordiagramja (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási p–V adatsor (V_c ≈ 6 cm³, V_max ≈ 56 cm³, ε ≈ 9), nem mért indikátordiagram. A görbe a kipufogócsatorna zárásánál (40 cm³) indul; külön szívó- és kipufogóütem-hurok nincs.

A diagram horizontális tengelyén a henger pillanatnyi térfogata, függőleges tengelyén a henger nyomása látható. A görbe a kipufogócsatorna zárásától indul: a térfogat csökkenésével nő a nyomás (sűrítés), a legkisebb térfogatnál az égés meredek nyomásemelkedést ad, majd az expanzió során csökken; a kipufogócsatorna nyitásakor a nyomás hirtelen a légköri közelébe esik, az AHP körüli öblítés alatt a henger kis túlnyomáson marad. A hurok óramutató irányban jár körbe; a négyütemű motor külön gázcsere-hurka itt hiányzik, mert nincs külön szívó- és kipufogóütem. A valós indikátordiagram folyamatosan mért, sok tényezőtől függő görbe; ez a diagram csak az elvi lefutás megértését szolgálja.

16.4.7. Számítási példák

16.4.7.1. 1. példa: gyújtások száma

Adott: egyhengeres kétütemű motor fordulatszáma $n = 6000$ 1/min.

Keresett: hány gyújtás következik be másodpercenként?

Képlet: $f_{\mathrm{gy}} = n/60$.

Behelyettesítés:

$$f_{\mathrm{gy}} = \frac{6000}{60} = 100\ 1/\mathrm{s}.$$

Ellenőrzés: a motor fordulatonként egy gyújtást ad, ezért 100 fordulat/s esetén 100 gyújtás/s reális. ∎

16.4.7.2. 2. példa: kis kétütemű fűkasza teljesítménye

Adott: egyhengeres kétütemű motor lökettérfogata $V_{\mathrm{h}} = 50\ \mathrm{cm}^3 = 50 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^3$, közepes effektív középnyomása $p_{\mathrm{e}} = 4\ \mathrm{bar} = 400\,000\ \mathrm{Pa}$, fordulatszáma $n = 6000\ 1/\mathrm{min}$.

Keresett: effektív teljesítmény P_{e} wattban és kilowattban.

Képlet: kétütemű motornál a munkaciklusok száma másodpercenként $n/60$, így

$$P_{\mathrm{e}} = p_{\mathrm{e}} \cdot V_{\mathrm{h}} \cdot \frac{n}{60}.$$

Behelyettesítés:

$$P_{\mathrm{e}} = 400\,000\ \mathrm{Pa} \cdot 50 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^3 \cdot \frac{6000}{60}\ \frac{1}{\mathrm{s}},$$

$$P_{\mathrm{e}} = 400\,000 \cdot 0{,}00005 \cdot 100 = 2000\ \mathrm{W} = 2{,}0\ \mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: a tipikus 50 cm³-es fűkasza-motor teljesítménye 1–3 kW nagyságrendbe esik, az eredmény elfogadható. ∎

16.4.8. Előírások és környezetvédelmi korlátok

Környezetvédelem. A kétütemű Otto-motor legnagyobb hátránya a magas szénhidrogén- (HC-) és részecske-kibocsátás, valamint a keverékolajjal összefüggő égési maradék. A friss keverék egy része az öblítés során égés nélkül kerül a kipufogóba, ami szagot, füstöt és hatékonyságvesztést okoz. A modern kétütemű kisgépekre és motorkerékpárokra szigorú európai emissziós határértékek vonatkoznak (ellenőrizendő: aktuális uniós kisgépmotor- és motorkerékpár-emissziós előírások). A használt keverékolajat, az olajos törlőrongyot és az elhasznált gyújtógyertyát veszélyes hulladékként kell gyűjteni a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetben leírtak szerint.

Előírás. Kétütemű motor javításakor, próbajáratásakor a műhelyben a benzin–olaj keverék benzingőze robbanásveszélyes; a zárt térben járó motor kipufogógázát el kell szívni, és nyílt lángot, szikrázó szerszámot nem szabad a munkaterületen használni. A henger- és forgattyúház-tömítések cseréjénél a gyártói meghúzási nyomatékokat kell alkalmazni (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). A munkát csak a gyártói utasítás és a tanműhelyi munkavédelmi szabályzat szerint szabad elvégezni.

16.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél régi, 50 cm³-es kétütemű robogót hoz a műhelybe: menet közben teljesítményt vesztett, majd leállt, újraindításkor nehezen forgott. A hibakeresés során a szerelő először megkérdezi a keverékarányt. Kiderül, hogy az ügyfél tiszta benzint tankolt, nem kevert hozzá olajat, mert nem tudta, hogy a motorhoz keverékolaj is kell. A tünetek: alacsony kompresszió (például 4 bar a szokásos 6–8 bar helyett (ellenőrizendő: gyártói adat)), száraz, világos gyertya, a dugattyúpaláston és a hengerfalon berágódási nyomok, felhordott alumínium. A szerelő elmagyarázza, hogy a kétütemű motornak nincs önálló olajkeringése, a kenést a benzinbe kevert olaj biztosítja. A javítás: dugattyú- és hengerfelújítás vagy -csere, a forgattyús hajtómű csapágyainak ellenőrzése, a gyújtógyertya cseréje, valamint a gyártó által előírt keverékarány (például 1:40 vagy 1:50) alkalmazása. A tanulság: a keverékolaj kihagyása nemcsak a motort károsítja, hanem a kétütemű motor alapvető szerkezeti-sajátossága, amit az ügyfélnek is tudnia kell.

16.4.10. Tipikus hibák

1. A kétütemű motort négyüteműként számoljuk. Gyakori hiba, hogy a teljesítményképletben a munkaciklusok számát $n/(2 \cdot 60)$-nak veszik, pedig kétüteműnél $n/60$. Ez a fordulatszám felére csökkentené a becsült teljesítményt. A helyes gyakorlat: mindig ellenőrizzük, hogy a motor kétütemű vagy négyütemű.

2. Az öblítés és a töltéscsere összekeverése a szívószelep nélküli csatornavezérléssel. Sokan azt gondolják, hogy a kétütemű motorban is van szívószelep, vagy hogy a friss keverék közvetlenül az égéstérbe kerül. Valójában a friss keverék először a forgattyúházba szívódik, ott elősűrítődik, és csak azután jut az égéstérbe az átömlőcsatornán keresztül.

3. Túlzott olaj a keverékben. A több olaj nem feltétlenül jobb kenést, hanem intenzív lerakódást, elkokszosodott kipufogócsatornát, gyújtógyertya-szennyeződést és nagyobb füstölést okoz. A keveréket mindig a gyártó előírása szerint kell összeállítani, például 1:40 vagy 1:50 arányban (ellenőrizendő: gép/kézikönyv szerint).

4. A p–V diagram területét nem a ciklusmunkával azonosítjuk. A kétütemű indikátordiagramon a zárt görbe területe a munkaciklus folyamán végzett munkát reprezentálja; a kipufogó-átömlő nyitás utáni szakasz a töltetveszteségekért felel. Ha valaki a diagramot csak „nyomásgörbeként” olvassa, nem érti az öblítési (frisskeverék-) veszteség és a többi veszteség szerepét.

16.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kétütemű Otto-motorban minden forgattyústengely-fordulatnál van gyújtás?
2. Mi a feladata a forgattyúháznak a háromcsatornás kétütemű motorban?
3. Igaz-e, hogy a szimmetrikus vezérlési diagramú kétütemű motorban a kipufogó- és átömlőcsatornák nyitási és zárási szögei az alsó holtpontra szimmetrikusak?
4. Mi a különbség a keresztáramú és a hurkos öblítés között?
5. Egy kétütemű motor 4200 1/min fordulaton jár. Hány gyújtás történik másodpercenként?
6. Miért füstöl és miért bocsát ki több szénhidrogént a hagyományos kétütemű benzinmotor a négyüteműhöz képest?

16.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Írja le egy munkalapon a háromcsatornás kétütemű motor munkafolyamatát a felső holtponttól indulva, lépésről lépésre, és írja le, mikor nyit a kipufogó-, az átömlő- és a szívócsatorna a dugattyú mozgásához képest!

2. feladat (A). Rajzolja fel a szimmetrikus vezérlési diagramot jelképesen: a függőleges tengelyen a csatorna nyitva/zárva, a vízszintes tengelyen a főtengely szöge 0–360°. Jelölje a felső és alsó holtpontot, a kipufogó- és átömlőcsatornák nyitási-zárási szögét, és magyarázza el, miért nevezzük szimmetrikusnak.

3. feladat (B). Egy motorkerékpár-motor kétütemű, hengerszáma 1, lökettérfogata 125 cm³, fordulatszáma 8000 1/min. Határozza meg, hány munkaciklus történik másodpercenként, és becsülje az effektív teljesítményt $p_e = 5{,}5$ bar közepes effektív középnyomás esetén!

4. feladat (B). Egy 1:40-es keverékarányú kétütemű motorhoz 4,0 liter benzint készít a szerelő. Mennyi motorolajat kell belekeverni milliliterben? A gyártó előírása szerint a keverés után alaposan rázzuk össze a kannát; miért fontos ez?

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a kétütemű és négyütemű Otto-motor munkafolyamatát: melyiknél hány fordulatonként van munkaütem, hol van a töltéscsere, és miért nagyobb a kétütemű fajlagos üzemanyag-fogyasztása és emissziója?

6. feladat (D). Egy fűkasza kétütemű motorja nem indul, a kihúzott gyújtógyertya száraz, de erős benzinszagot érezni. A kompresszió mérő 3,5 bar értéket mutat (a kézikönyv szerint legalább 6 bar sűrítési csúcsot várnánk; ellenőrizendő: gyártói adat). Milyen hipotéziseket állíthat fel? Milyen méréseket végezne el a hibás alkatrész azonosítására? Mit kell ellenőrizni a forgattyúház tömítettségével kapcsolatban?

16.4.13. Megoldások

16.4.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A kétütemű motorban minden fordulat alatt lezajlik egy teljes munkafolyamat, ezért minden fordulatnál gyújtás következik be.
2. A forgattyúház tömített szivattyúteret alkot. A dugattyú felfelé mozgásakor benne vákuum keletkezik, és friss keveréket szív be; lefelé mozgásakor túlnyomás keletkezik, és a keveréket az átömlőcsatornán keresztül az égéstérbe szorítja.
3. **Igaz.** A dugattyú ugyanabban a helyzetben nyitja és zárja a csatornát, ezért a nyitás ugyanannyi fokkal van AHP előtt, mint a zárás AHP után (pl. kipufogó 90°/90°, átömlő 60°/60°).
4. A keresztáramú öblítésnél a kipufogó- és átömlőcsatornák szemben vannak, és a dugattyúterelő irányítja a keveréket; a hurkos öblítésnél azonos oldalon vannak, a friss keverék hurok alakban íródik a hengerben, és kiszorítja a kipufogógázt. A hurkos öblítés jobb töltéscserét ad.
5. $n = 4200$ 1/min; $f = n/60 = 70$ gyújtás/s.
6. Mert az öblítés során friss benzin–levegő–olaj keverék jut a kipufogóba égés nélkül, a kenőolaj pedig a kipufogógázzal együtt égés nélkül távozik; emiatt a füst, a szénhidrogén-kibocsátás és a fajlagos fogyasztás nagyobb.

16.4.13.2. Feladatok – megoldások

1. A munkafolyamat lépései: felső holtpont → égés, munkaütem; dugattyú lefelé, kipufogócsatorna nyit; átömlőcsatorna nyit, öblítés; dugattyú alsó holtponton át, átömlő- majd kipufogócsatorna zár; dugattyú felfelé, forgattyúház szívócsatorna nyit, szívás; dugattyú felett kompresszió; felső holtpont előtt szikra. A csatornanyitások: kipufogó- és átömlőcsatornát a dugattyú felső éle nyitja lefelé mozgás közben; a szívócsatornát a dugattyú alsó éle nyitja felfelé mozgás közben.

2. A szimmetrikus diagramon a kipufogócsatorna például 90°-kal AHP előtt nyit, 90°-kal AHP után zár; az átömlőcsatorna 60°-kal AHP előtt nyit, 60°-kal utána zár (példa). A görbe az alsó holtponthoz képest tükrös, ezért szimmetrikus. A szívás ettől függetlenül a dugattyú alsó élével vezérelt. Kördiagramos ábrázolását a vezérlési diagramról szóló szakasz ábrája mutatja.

3. Kétütemű motornál: $f = n/60 = 8000/60 = 133{,}3$ ciklus/s. Effektív teljesítmény: $P_e = p_e V_h n/60$. Számolás: $p_e = 5{,}5$ bar $= 550\,000$ Pa; $V_h = 125$ cm^3 $= 125 \cdot 10^{-6}$ m^3; $n = 8000$ 1/min.

$$P_e = 550\,000 \cdot 125 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{8000}{60} = 550\,000 \cdot 0{,}000125 \cdot 133{,}3 \approx 9167 \text{ W} = 9{,}17 \text{ kW}.$$

Ez reális egy 125 cm³-es benzinmotorra.

4. 1:40 arány: $V_{\text{olaj}} = 4{,}0$ l$/40 = 0{,}100$ l $= 100$ ml. Az alapos összerázás azért fontos, mert a benzin és a speciális kétüteműolaj sűrűsége és viszkozitása eltér, a rosszul elkevert keverékből az olaj a tartály aljára ülhet, ami elégtelen kenést okozhat.

5. Kétütemű: minden fordulatnál munkaütem, a forgattyúházban előkompresszió, csatornavezérlés; nincs saját olajkeringés, kenés a keverékolajból. Négyütemű: minden második fordulatnál munkaütem, szelepes vezérlés, olajteknő/olajkeringés. A kétütemű fajlagos fogyasztása és emissziója nagyobb, mert az öblítésnél friss keverék veszik el, és az olaj egy része elégve távozik.

6. A száraz gyertya azt jelzi, hogy a hengerbe nem jut (elég) keverék; a benzinszag az üzemanyagrendszer vagy a karburátor felől szivároghat, vagy a gyenge forgattyúház-elősűrítés miatt a keverék nem jut át a hengerbe. A kompresszió alacsony, ami henger-, dugattyú-, gyűrű- vagy forgattyúháztömítés hibájára utal. Hipotézisek: kopott dugattyúgyűrű, kopott hengerfal, hibás hengerfejtömítés, repedt/szivárgó forgattyúháztömítés, hibás szívócsatorna-tömítés. Mérések: kompressziómérés nyitott és zárt fojtással; olajcsepp a hengerbe után újra kompressziót mérni (ha javul, gyűrűkopást jelez), szivárgásteszt; forgattyúház-tömítettség ellenőrzése alacsony nyomású füstszivattyúval. A forgattyúház tömítettsége kritikus, mert a keverék elősűrítése akkor működik, ha a ház nem szivárog; tömítetlenség esetén gyengül a feltöltés és romlik a kompresszió.

16.4.14. Rövid összefoglaló

A kétütemű Otto-motor a munkafolyamatot a dugattyú két üteme, tehát a forgattyús tengely egy fordulata alatt teljesíti. A forgattyúház tömített szivattyútér, amely a friss keveréket beszívja, elősűríti, majd az átömlőcsatornán az égéstérbe nyomja. A kipufogó-, átömlő- és szívócsatornák nyitását a dugattyú mozgása vezérli; az alap kivitel szimmetrikus vezérlési diagramú, az aszimmetrikus megoldások (membránszelep, forgószelep, kipufogóoldali szelep) javítják a töltéscserét. Az öblítés lehet keresztáramú vagy hurkos; az utóbbi kisebb frisskeverék-veszteséget ad. A gyújtások másodpercenkénti száma $n/60$, a teljesítmény $P_e = p_e V_h n/60$. A motornak nincs önálló olajkeringése, ezért a benzinhez kevert olaj biztosítja a kenést. A kétütemű motor nagyobb fajlagos fogyasztással és szénhidrogén-emisszióval dolgozik, ezért a modern autókban nem használják, de kisgépekben és motorkerékpárokban ma is előfordul. **Továbbvitt**

eredmény. A kétütemű minden fordulat alatti munkaciklusát, a forgattyúház-előkompressziót és az öblítési veszteséget a vizsgafeladatokban a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok alfejezetben alkalmazzuk.

16.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg fizikai, mechanikai és termodinamikai alapjai stabil ismeretek. A gyújtások számára, a teljesítmény-képletre és a kétütemű munkafolyamatra vonatkozó összefüggések a szakkönyvi alapanyagból származnak. A gyártófüggő értékek — keverékarány, kompressziós csúcsnyomás, vezérlési szögek, csatornanyitási szögek, teljesítmény-adatok — tanulási példák, és minden járműnél a gyártói javítási adatot kell figyelembe venni. A határértékek, emissziós normák és egyéb jogszabályi követelmények ellenőrizendők. A p–V indikátordiagram kitalált, szemléltető adatsor, nem mért érték. A tűz- és robbanásvédelmi előírások az általános járműjavító műhelyi gyakorlatot követik; a tanműhelyben az aktuális munkavédelmi szabályzat az irányadó.

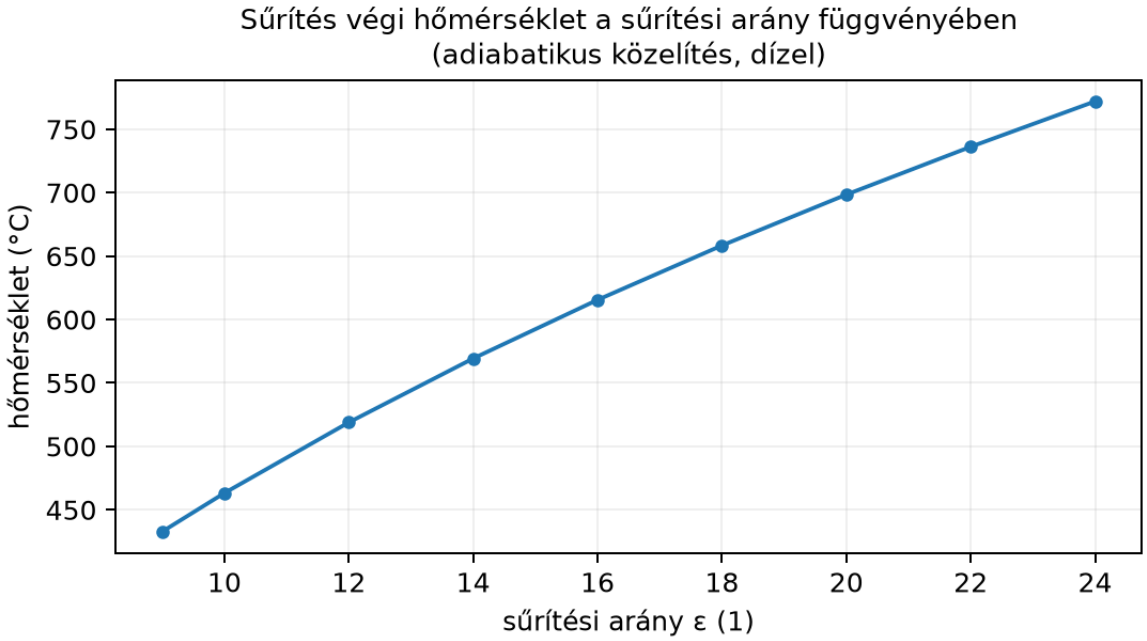
16.5. A dízelmotor működése és keverékképzése

16.5.1. Miért kell ezt tudnod a műhelyben?

Egy hideg téli hajnalon a kisteherautó 2,0 literes dízelmotorja csak hosszas izzítás után, nagy fehér füstfelhővel indul, és percekig kopog. A műhelyben az ügyfél azt kérdezi: „Miért nem indul úgy, mint a benzines?” Ahhoz, hogy erre szakszerűen válaszoljunk, pontosan értenünk kell, mi történik a dízelmotor hengerében a szívás, a sűrítés, a befecskendezés és az égés során, és miért tér el ez alapvetően az Otto-motor működésétől.

16.5.2. Szemléletes kép: a sűrítés hőt termel

A dízelmotor hengerében a szívási ütemben csak levegőt szívunk be, tüzelőanyagot nem. A dugattyú felfelé halad, a levegőt erősen összenyomja: a sűrítési arány jellemzően 15–24:1 közötti (ellenőrizendő: gyártói adatok). Az adiabatikus összenyomás miatt a levegő hőmérséklete kb. 600–770 °C-ra emelkedik. A felső holtpont közelében a porlasztó befecskendezi a gázolajat, amely a forró levegőben elpárolog, keveredik, majd magától meggyullad. Ezt a folyamatot szemlélteti a következő, idealizált számításból készült ábra.



16.13. ábra. Sűrítés végi hőmérséklet a sűrítési arány függvényében (adiabatikus közelítés, dízel) - Idealizált adiabatikus számítás levegőre: $T2 = T1 \cdot \varepsilon^{\wedge}(\kappa-1)$, $\kappa = 1{,}4$, $T1 = 20$ °C (293,15 K); szemléltető, nem mért érték.

Az ábrán jól látszik, hogy egy Otto-motorra jellemző 9–12:1 sűrítési arányhoz kb. 430–520 °C, a dízel 15–24:1 arányánál kb. 590–770 °C sűrítés végi hőmérséklet tartozik (idealizált adiabatikus számítás; a valóságban a hőveszteség miatt kevesebb, feltöltésnél több). Ez a nagy hőmérséklet-különbség teszi lehetővé az öngyulladást.

16.5.3. Az elméleti dízel-körfolyamat

Definíció. A **dízel-körfolyamat** (ideális körfolyamat) egy olyan elméleti modell, amely a belső égésű, sűrítés utáni öngyulladással működő motorban lejátszódó állapotváltozásokat írja le. Négy szakaszból áll:

1. **1 → 2: adiabatikus sűrítés.** A levegőt a dugattyú úgy nyomja össze, hogy közben nincs számottevő hőcsere a fallal: a levegő nyomása és hőmérséklete erősen megnő.
2. **2 → 3: izobár hőbevitel.** A befecskendezett gázolaj ég, miközben a nyomás – idealizálva – állandó marad, a térfogat pedig növekszik.
3. **3 → 4: adiabatikus expanzió.** A forró égésgáz kitágul, munkát végez a dugattyún; a nyomás és a hőmérséklet csökken.
4. **4 → 1: izochor hőelvonás.** A gáz a fali hűtés és a gázcsere következtében állandó térfogaton ad le hőt.

A valóságos négyütemű dízelmotor munkafolyamata négy ütemből áll:

- **Szívás:** a dugattyú lefelé halad, a szívószelep nyitva van, a hengerbe levegő áramlik. A beáramló levegő mennyiségét alapvetően nem fojtószelep korlátozza, ezért a henger nagyrészt feltöltődik.
- **Sűrítés:** mindkét szelep zárva van, a dugattyú felfelé halad, a levegő nyomása és hőmérséklete a fentiek szerint megnő.

- **Égés és expanzió:** a felső holtpont környékén kezdődik a befecskendezés. A gázolaj porlad, párolog, keveredik a levegővel, majd öngyulladás következik be. Az égés kezdeti szakasza hirtelen nyomásemelkedéssel jár, majd a további befecskendezés során az égés folyamatosan zajlik. A dugattyú lefelé halad, az égésgáz kitágul, és munkát végez.
- **Kipufogás:** a kipufogószelep nyit, a dugattyú felfelé halad, az égésgázt kitolja a hengerből.

Az indikátordiagram (p–V diagram) a henger nyomását a hengertérfogat függvényében mutatja. A dízelmotor indikátordiagramján a sűrítési görbe meredeken emelkedik, a felső holtpont környékén a nyomás gyorsan felugrik, majd az expanziós görbe lefut. A dízel égési nyomáscsúcsa a nagy sűrítési végnyomás miatt jóval nagyobb, mint az Otto-motoré (nagyságrendileg 150–200 bar a 60–120 bar-ral szemben; ellenőrizendő: motortípus szerint), ezért a hajtóművet erősebbre méretezik. A diagramon a befecskendezési és égési szakaszban a nyomásváltozás szélesebb, mint a benzinmotornál, mert az égés nem egyetlen pillanatban, hanem a befecskendezés alatt folyamatosan megy végbe.

16.5.4. Alapfogalmak: öngyulladás, cetánszám, gyújtási késedelem, minőségi szabályozás

Definíció. Öngyulladás a dízelmotorban az a folyamat, amikor a beszívott, erősen összesűrített forró levegőbe porlasztott tüzelőanyag külső gyújtószikra nélkül, a hőmérséklet hatására meggyullad.

Definíció. A **cetánszám** a gázolaj gyújthatóságát jellemző mérőszám: minél magasabb, annál könnyebben és rövidebb idő alatt gyullad meg a tüzelőanyag a forró levegőben. A jó gyulladási tulajdonság rövid gyújtási késedelmet és lágyabb égést eredményez. A Magyarországon forgalmazott dízelüzemanyag cetánszáma jellemzően legalább 51 (ellenőrizendő: az EN 590 szabvány szerinti aktuális előírás).

Definíció. A **gyújtási késedelem** a befecskendezés kezdetétől az észlelhető égés megindulásáig eltelt idő. Minél rövidebb a késedelem, annál kevesebb tüzelőanyag gyűlik össze a hengerben égés nélkül; a hosszú késedelem hirtelen, nagy nyomásemelkedést, úgynevezett dízelkopogást okoz.

Definíció. A **minőségi szabályozás** a dízelmotor terhelésszabályozásának elve: a motor teljesítményét a befecskendezett tüzelőanyag mennyiségével változtatjuk, miközben a beszívott levegő mennyiségét alapvetően nem fojtjuk. Így a keverék légviszonya a terheléstől függően széles tartományban változik; alapjáraton és kis terhelésen nagy levegőfelesleg (sovány keverék), teljes terhelésen kisebb levegőfelesleg alakul ki. Ezzel szemben az Otto-motorra jellemzően **mennyiségi szabályozás** érvényes, amelynél a fojtószelep állításával a beszívott keverék mennyiségét változtatjuk, és a légviszony közel állandó.

16.5.5. Szerkezeti eltérések a benzinmotorhoz képest és alkalmazási területek

A dízelmotor alapvető szerkezeti eltérései az Otto-motorhoz képest:

- **Nincs gyújtórendszer.** Nincs gyújtógyertya, gyújtótekercs és nagyfeszültségű gyújtáselosztó. A gyulladást a sűrítés során keletkező magas hőmérséklet biztosítja.
- **Nagyobb sűrítési arány.** A dízelmotor sűrítési aránya 15–24:1 (ellenőrizendő: gyártói adat), ezért a forgattyús hajtóművet, a hengerfejet és a dugattyút nagyobb nyomásra és hőterhelésre méretezik, a szerkezet nehezebb és erősebb.
- **Befecskendező rendszer.** A gázolajat nagy nyomáson, pontosan időzítve porlasztják be: régebbi mechanikus rendszerek előkamrás motoron kb. 100–150 bar nyitónyomással, közvetlen befecskendezésű motoron (soros/elosztó adagoló, szivattyú-porlasztó) több száz,

egyes rendszereknél 2000 bar feletti csúcsnyomással, modern közös nyomásterű rendszerek 2000–2700 bar-ig (ellenőrizendő: gyártói adatok; a pontos érték típusfüggő).

- **Izzítógyertyák.** A hidegindítás megkönnyítésére a hengerfejben izzítógyertya helyezkedik el, amely a beszívott levegőt az égéstérben felmelegíti.
- **Kipufogógáz-utókezelés.** A dízelmotorra jellemző a nagyobb NOx- és részecskekibocsátás, ezért gyakori az oxidációs katalizátor, a részecskeszűrő (DPF), az EGR és az SCR (AdBlue) rendszer. Ezeket a(z) A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés alfejezet tárgyalja.

A dízelmotor **alkalmazási területei**: személygépkocsik (elsősorban nagy futásteljesítményű flottajárművek), kisteherautók, haszongépjárművek, teherautók, autóbuszok, mezőgazdasági és építőipari munkagépek, hajómotorok, szükségáram-források és vasúti járművek. Előnye a jobb hatásfok, az alacsonyabb fajlagos fogyasztás és a nagy nyomaték alacsony fordulatszámon; hátránya a nagyobb tömeg, a magasabb károsanyag-kibocsátás kezelésének igénye és a zajosabb járás.

Jellemző	Otto-motor (benzines)	Dízelmotor
Keverékképzés	Homogén keverék (karburátor/befecskendezés)	Heterogén, levegőfelesleges keverék
Gyújtás	Szikragyújtás (gyújtógyertya)	Öngyulladás sűrítés után
Sűrítési arány (példa)	9–12:1	15–24:1
Terhelésszabályozás	Mennyiségi (fojtószelep)	Minőségi (tüzelőanyag-mennyiség)
Legnagyobb fordulatszám (személyautó, példa)	kb. 6 000–7 000 1/min	kb. 4 500–5 000 1/min
Hatásfok (példa)	25–35 %	35–45 %
Fő emissziós kihívások	CO, HC, NOx	NOx, részecske

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

16.5.6. Keverékképzés: közvetlen és közvetett befecskendezés

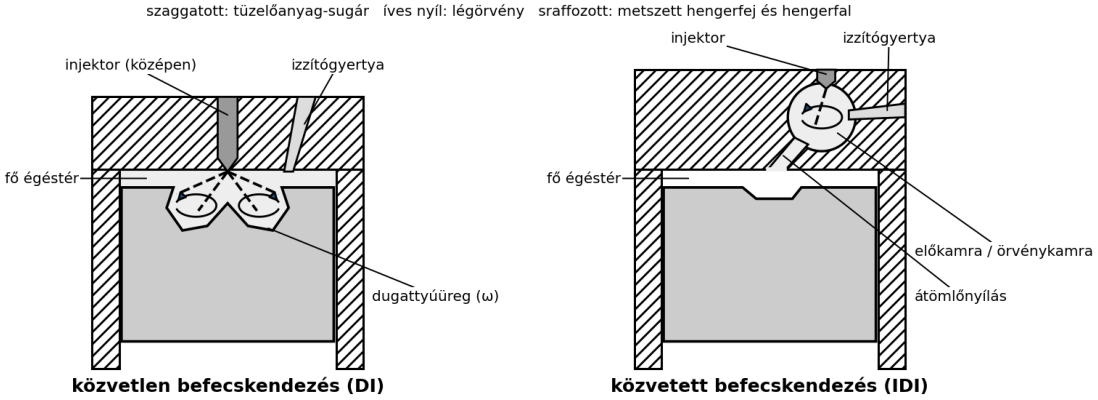
A dízelmotorban a tüzelőanyag és a levegő keveredése alapvetően kétféle égéstér-kialakítással valósulhat meg.

16.5.6.1. Közvetlen befecskendezés (direct injection, DI)

Közvetlen befecskendezésnél az injektor közvetlenül a henger fő égésterébe porlasztja a gázolajat. A dugattyú tetején kiképzett égéstér-üreg (gyakran toroidális vagy ω-alakú) irányítja a levegőt, hogy a porlasztott tüzelőanyaggal minél jobban keveredjen. A befecskendezési nyomás magas: a modern közös nyomásterű rendszereknél 1500–2700 bar is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). Az égés a porlasztott cseppek felületén indul meg, és a befecskendezés ütemében fokozatosan halad előre. A közvetlen befecskendezés előnye a jobb hatásfok és az alacsonyabb fogyasztás; hátránya a zajosabb égés és a hidegindítási igény.

16.5.6.2. Közvetett befecskendezés (indirect injection, IDI)

Közvetett befecskendezésnél a tüzelőanyagot egy kisebb segédégéstérbe (előkamra vagy örvénykamra) porlasztják be, amely a hengerfejben van kialakítva. Az égés az előkamrában kezdődik, majd a forró, részben elégett gázok egy szűk átömlőnyíláson át a fő égéstérbe áramlanak, ahol az égés befejeződik. Az előkamrában nagyobb a légörvény, ezért a keverékképzés már alacsonyabb befecskendezési nyomással (jellemzően 100–150 bar) is jó. A közvetett befecskendezésű motorok régi személyautó-dízelekben voltak elterjedtek. Előnyük a lágyabb, csendesebb égés és a kisebb befecskendezési nyomásigény; hátrányuk a nagyobb hőveszteség, ami nagyobb fogyasztást és rosszabb hidegindítást jelent – ezért az előkamrás motor izzítás nélkül hidegen gyakorlatilag nem indul.



16.14. ábra. Közvetlen és közvetett befecskendezésű dízel égéstér összehasonlítása

A bal oldali metszeten (DI) a középen álló injektor közvetlenül a dugattyú ω-alakú üregébe porlaszt, az izzítógyertya az égéstér szélén ül. A jobb oldalon (IDI) az injektor és az izzítógyertya a hengerfejben kialakított előkamrába (örvénykamrába) nyúlik, amelyet szűk átömlőnyílás köt össze a fő égéstérrel. Szaggatott vonal jelöli a tüzelőanyag-sugarat, íves nyíl a légörvényt. A HTML-változat lépésenként mutatja a befecskendezést, a gyulladást és (IDI-nél) a láng kiáramlását a fő égéstérbe.

16.5.7. Kidolgozott példák

16.5.7.1. 1. példa: Sűrítés végi hőmérséklet és nyomás

Adott: Egy közvetlen befecskendezésű dízelmotor sűrítési aránya $\varepsilon = 18$, a szívási ütem végén a levegő hőmérséklete $T_1 = 20\,^{\circ}\mathrm{C} = 293\,\mathrm{K}$, a nyomása $p_1 = 1{,}0\,\mathrm{bar}$. A levegő adiabatikus kitevője $\kappa = 1{,}4$.

Keresett: A sűrítés végi hőmérséklet T_2 és nyomás p_2.

Képlet:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}, \qquad p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^{\kappa}$$

Behelyettesítés:

$$T_2 = 293\,\mathrm{K} \cdot 18^{0{,}4} = 293\,\mathrm{K} \cdot 3{,}177 \approx 931\,\mathrm{K}$$

$$p_2 = 1{,}0\,\text{bar} \cdot 18^{1{,}4} = 1{,}0\,\text{bar} \cdot 57{,}2 \approx 57{,}2\,\text{bar}$$

Eredmény: A sűrítés végén a levegő hőmérséklete körülbelül 658 °C, a nyomása körülbelül 57 bar. Ez a hőmérséklet már elegendő a gázolaj öngyulladásához. **Ellenőrzés:** a hőmérséklet Kelvinben 931 K, ami a várt 850–1000 K tartományba esik; a nyomás 57 bar reális a dízel sűrítés végi értékére.

16.5.7.2. 2. példa: Légviszony és befecskendezett tüzelőanyag-tömeg

Adott: Egy négyhengeres, 2,0 literes dízelmotor egy hengerének lökettérfogata $V_h = 0{,}5\,\text{l} = 0{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3$. A beszívott levegő sűrűsége $\rho_{\text{lev}} = 1{,}2\,\text{kg/m}^3$. A légviszony $\lambda = 1{,}5$, a sztöchiometrikus levegő/tüzelőanyag arány dízelre $L_{\text{st}} = 14{,}5\,\text{kg}$ levegő/kg tüzelőanyag (ellenőrizendő: tüzelőanyag-összetétel szerint).

Keresett: Az egy hengerbe beszívott levegő tömege és a ciklusonként befecskendezett tüzelőanyag tömege.

Képlet:

$$m_{\text{lev}} = \rho_{\text{lev}} \cdot V_h, \qquad m_{\text{tü}} = \frac{m_{\text{lev}}}{\lambda \cdot L_{\text{st}}}$$

Behelyettesítés:

$$m_{\text{lev}} = 1{,}2\,\text{kg/m}^3 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 = 0{,}6 \cdot 10^{-3}\,\text{kg} = 0{,}6\,\text{g}$$

$$m_{\text{tü}} = \frac{0{,}6\,\text{g}}{1{,}5 \cdot 14{,}5} = \frac{0{,}6}{21{,}75} \approx 0{,}0276\,\text{g} = 27{,}6\,\text{mg}$$

Eredmény: Egy henger egy munkaciklusában körülbelül 0,6 g levegő és 27,6 mg gázolaj vesz részt. **Ellenőrzés:** a befecskendezett mennyiség reális; teljes terhelésen (kisebb λ) ez több, alapjáraton kevesebb lehet.

Hibás példa. Ha valaki a beszívott levegő tömegét a teljes motor lökettérfogatával (2,0 l) számolja, akkor négyszeres levegő- és tüzelőanyag-tömeget kapna. A hibás eredmény: $m_{\text{tü}} \approx 110\,\text{mg}$ lenne hengerenként, ami egy ciklusra túl nagy. A helyes számításnál mindig az egy henger lökettérfogatát kell használni, mert a befecskendezés hengerenként történik.

16.5.8. Minőségellenőrzés

A dízelmotor működésének ellenőrzése során a következőket mérjük:

- **Kompressziómérés:** a sűrítési nyomást hengerenként, indítómotorral forgatva mérjük. Új vagy jó állapotú közvetlen befecskendezésű dízelmotornál a kompresszió jellemzően 25–35 bar, közvetett befecskendezésűnél 30–40 bar (ellenőrizendő: gyártói adat). A hengerek közötti eltérés legfeljebb 10 % lehet (ellenőrizendő). A túl alacsony kompresszió hidegindítási nehézséget, fehér füstöt és kopogást okoz.
- **Izzítórendszer ellenőrzése:** multiméterrel vagy áramlakatfogóval megmérjük az izzítógyertyák áramfelvételét; szakadt izzítógyertya esetén az adott hengerben nincs előmelegítés. A hidegindítási teszt során az izzítási időt és a visszajelzést is ellenőrizzük.

- **Befecskendezési időzítés:** a gyártói adatok szerint ellenőrizzük a befecskendezés kezdetét (pl. főtengelyszög-fokban). Hibás időzítés késői vagy korai égést, teljesítménycsökkenést és füstölést okoz.
- **Porlasztási kép:** az injektorokat próbapadon ellenőrizzük, hogy a porlasztás egyenletes, szivárgásmentes legyen. Rossz porlasztás fekete füstöt, tökéletlen égést és magas fogyasztást okoz. **Figyelem.** A próbapadon a porlasztott sugár közelébe kezet tenni tilos: a nagy nyomású sugár a bőrbe hatolhat (azonnali orvosi ellátás szükséges, akkor is, ha a seb kicsinek látszik), a gázolajköd gyúlékony és belélegezve ártalmas. Védőszemüveg (EVE), zárt porlasztókamra és elszívás kötelező; a próbapad csak a gyártói kezelési utasítás szerint, felügyelet mellett használható.

16.5.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy 2,0 literes, közvetlen befecskendezésű dízel személyautó hideg időben nehezen indul, a kipufogóból fehér füst áramlik, és az első percekben erős kopogás hallható. A műhelyben a következő diagnosztikai lépéseket végezzük el:

1. **Tünet:** hidegindítási nehézség, fehér füst, kopogás.
2. **Hipotézisek:** izzítógyertya-hiba, alacsony kompresszió, befecskendezési időzítés eltolódás, rossz porlasztás.
3. **Mérés:** az izzítógyertyák áramfelvétele rendben; a kompressziómérés az 1., 2. és 3. hengerben 26, 25,5 és 25 bar, a 4. hengerben 18 bar (példaértékek, ellenőrizendő: gyártói kompresszióadat). A hengerek közötti eltérés a 4. hengernél közel 30 %, ami meghaladja a megengedett 10 %-ot.
4. **Szivárgásvizsgálat:** a 4. hengeren a levegő a forgattyúház-szellőzőn szökik (a szívó- és kipufogóoldalon, a hűtőfolyadékban nincs buborék), az endoszkóp karcos hengerfalat mutat (a vizsgálat jellemző példa-eredménye).
5. **Ok:** a 4. henger sűrítési nyomása túl alacsony: kopott dugattyúgyűrű, karcos hengerfal (a szivárgásvizsgálat és az endoszkópia alapján).
6. **Javítás:** a motor szétszerelése, a 4. henger dugattyújának és gyűrűjének cseréje, illetve szükség esetén a henger felújítása.
7. **Ellenőrzés:** új kompressziómérés minden hengeren, majd hidegindítási teszt; a motornak izzítás után, fehér füst nélkül kell indulnia.
8. **Megelőzés:** a rendszeres olajcsere és légszűrőcsere betartása, valamint a hidegindítási igénybevétel csökkentése (pl. előmelegített tárolás).

16.5.10. Tipikus hibák

1. **Oktánszám és cetánszám összekeverése.** Az oktánszám a benzin kopogásállóságát, a cetánszám a gázolaj gyújthatóságát jellemzi. Dízeltankolásnál magas cetánszámra van szükség, nem magas oktánszámra.
2. **Gyújtógyertya keresése a dízelmotoron.** A dízelmotornak nincs gyújtógyertyája és nincs gyújtórendszere. Aki a hengerfejen gyújtógyertyát keres, rossz diagnosztikai utat jár be; ott izzítógyertya található.
3. **A hidegindítási nehézségnél csak az izzítást hibáztatják.** A fehér füst és a kopogás gyakran alacsony kompresszióból is adódik. Ha az izzítás rendben van, mérni kell a kompressziót, mielőtt az izzítórendszert cserélnénk.
4. **A befecskendezési nyomás veszélyének alábecsülése.** A közös nyomásterű rendszer nyomása több ezer bar is lehet; a nyomás alatt álló rendszer megbontása súlyos bőrbe hatoló sérülést okozhat. A rendszer nyomásmentesítése a gyártói eljárás szerint kötelező.

5. **A közvetett befecskendezésű motor jellemzőinek figyelmen kívül hagyása.** Egy régi, előkamrás motoron más kompressziós értékek, izzítási időzítés és zajszint jellemző, mint a modern DI-motoron; a gyártói adatot kell alapul venni.

16.5.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A dízelmotor terhelését a beszívott levegő mennyiségének fojtásával szabályozzák. Indokold!
2. Mi a cetánszám, és miért fontos a hidegindításnál?
3. Mennyi a sűrítés végi hőmérséklet, ha $\varepsilon = 16$, $T_1 = 20\,^\circ\mathrm{C}$, $\kappa = 1{,}4$?
4. Miben különbözik a közvetlen és a közvetett befecskendezésű égéstér?
5. Miért nagyobb a dízelmotor hatásfoka az Otto-motorénál?
6. Mi a gyújtási késedelem, és mi a következménye, ha túl hosszú?

16.5.12. Az önellenőrzés megoldásai

1. **Hamis.** A dízelmotorra minőségi szabályozás jellemző: a teljesítményt a befecskendezett tüzelőanyag mennyiségével változtatják, a beszívott levegő mennyiségét alapvetően nem fojtják.
2. A cetánszám a gázolaj gyújthatóságát méri. Minél magasabb, annál rövidebb a gyújtási késedelem, ami hidegindításkor gyorsabb, lágyabb égést és kevesebb kopogást jelent.
3. $T_2 = 293 \cdot 16^{0{,}4} = 293 \cdot 3{,}031 \approx 888\,\mathrm{K}$, azaz körülbelül 615 °C.
4. A közvetlen befecskendezésnél az injektor a fő égéstérbe porlaszt (dugattyúüreges égéstér), nagy befecskendezési nyomással; a közvetett befecskendezésnél a tüzelőanyagot előkamrába vagy örvénykamrába porlasztják, ahonnan a forró gázok a fő égéstérbe áramlanak.
5. A dízelmotor sűrítési aránya nagyobb, nincs fojtószelep-veszteség, és a keverék soványabb (nagyobb levegőfelesleg), ezért jobb a termikus hatásfok.
6. A gyújtási késedelem a befecskendezés kezdetétől az égés megindulásáig eltelt idő. Ha túl hosszú, túl sok tüzelőanyag gyűlik össze, és az égés hirtelen, nagy nyomásemelkedéssel indul, ami dízelkopogást okoz.

16.5.13. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld az öngyulladást és a cetánszámot!

2. feladat (A) Számítsd ki a sűrítés végi nyomást és hőmérsékletet, ha $\varepsilon = 17$, $p_1 = 0{,}95\,\mathrm{bar}$, $T_1 = 15\,^\circ\mathrm{C}$, $\kappa = 1{,}4$!

3. feladat (B) Egy 2,2 literes, négyhengeres dízelmotor egy hengerének lökettérfogata 0,55 l. A beszívott levegő sűrűsége 1,15 kg/m³, a légviszony $\lambda = 1{,}6$, $L_{\mathrm{st}} = 14{,}5$. Mennyi a hengerenként befecskendezett tüzelőanyag-tömeg?

4. feladat (B) Magyarázd el, miért van szükség izzítógyertyára a közvetlen befecskendezésű dízelmotornál hideg időben, és miért volt az izzítás a közvetett befecskendezésű motoroknál nélkülözhetetlen, és miért elég a modern DI-motoroknál rövidebb izzítás!

5. feladat (C) Hasonlítsd össze a közvetlen és a közvetett befecskendezésű dízel égéstér előnyeit és hátrányait a hidegindítás, a zaj, a fogyasztás és a befecskendezési nyomás szempontjából! Foglald táblázatba!

6. feladat (D) Egy dízelmotor hidegindításkor nem indul, de az izzítórendszer működik, az akkumulátor rendben van. Kompresszióméréskor a hengerek értékei: 27 bar, 26 bar, 27,5 bar,

14 bar. Milyen hibát gyanítasz, milyen további méréseket végeznél, és mi a javítás menete? (A kompresszióértékek tanulási példák, ellenőrizendő: gyártói adat.)

16.5.14. A feladatok megoldásai

1. feladat – megoldás
Öngyulladás: a tüzelőanyag külső gyújtószikra nélkül, a sűrítés során felmelegedett levegőben magától meggyullad. Cetánszám: a gázolaj gyújthatóságának mérőszáma; magasabb érték rövidebb gyújtási késedelmet és könnyebb hidegindítást jelent.

2. feladat – megoldás
$T_1 = 15\,^\circ\mathrm{C} = 288\,\mathrm{K}$
$T_2 = 288 \cdot 17^{0,4} = 288 \cdot 3{,}106 \approx 894\,\mathrm{K}$, azaz kb. 621 °C.
$p_2 = 0{,}95 \cdot 17^{1,4} = 0{,}95 \cdot 52{,}8 \approx 50{,}2\,\mathrm{bar}$.
Ellenőrzés: a nyomás a dízelre jellemző 45–60 bar tartományban van.

3. feladat – megoldás
$V_h = 0{,}55\,\mathrm{l} = 0{,}55 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$
$m_{\mathrm{lev}} = 1{,}15 \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-3} = 0{,}6325 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg} = 0{,}633\,\mathrm{g}$
$m_{\mathrm{tü}} = \frac{0{,}633}{1{,}6 \cdot 14{,}5} = \frac{0{,}633}{23{,}2} \approx 0{,}0273\,\mathrm{g} = 27{,}3\,\mathrm{mg}$.

4. feladat – megoldás
A közvetlen befecskendezésű dízelmotornál hidegben a sűrítés végi levegő hőmérséklete ugyan magas, de a hideg hengerfal és a hideg beszívott levegő miatt az égéstér falai sok hőt elvonhatnak; az izzítógyertya helyi hőt ad a porlasztott tüzelőanyag környezetébe, elősegítve az öngyulladást. A közvetett befecskendezésű (elő- és örvénykamrás) motoroknál a nagy hőfelvevő felület és a szűk átömlőnyílás miatt hidegen még több hő vész el, ezért ezeknél az izzítás nélkülözhetetlen (az izzítógyertya az előkamrában ül, és nagyobb sűrítési arányt, kb. 20–24 értéket használnak – ellenőrizendő). A kisebb hőveszteségű közvetlen befecskendezésű motor hidegen könnyebben indul, ezért a modern DI-motoroknál rövidebb izzítás is elég.

5. feladat – megoldás
Példa táblázat:

Szempont	Közvetlen befecskendezés (DI)	Közvetett befecskendezés (IDI)
Befecskendezési nyomás	Magas (modern rendszerek 1500–2700 bar)	Alacsonyabb (100–150 bar)
Hidegindítás	Hidegen könnyebben indul, rövid izzítás is elég	Nagyobb hőveszteség, izzítás nélkül hidegen nem indul
Zaj	Zajosabb égés	Lágyabb, csendesebb
Fogyasztás	Alacsonyabb (jobb hatásfok)	Magasabb (nagyobb hőveszteség)
Égéstér-kialakítás	Dugattyúüreg	Előkamra/örvénykamra a hengerfejben

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

6. feladat – megoldás
A negyedik henger sűrítési nyomása (14 bar) jelentősen elmarad a többi hengertől (26–27,5 bar). Ez alacsony kompresszióra utal a 4. hengerben. Továbbá: szelephézag-ellenőrzés, szivárgási teszt (sűrített levegővel) annak eldöntésére, hogy a veszteség a szelepeknél vagy a dugattyúgyűrűknél

van-e; esetleg endoszkópos hengerfal-vizsgálat. A javítás során a hengerfej leszerelése, szelepülékek és szelepek ellenőrzése, illetve a dugattyúgyűrűk és a dugattyú cseréje. Az újraépítés után kompresszióméréssel ellenőrizzük az egyenletességet, majd hidegindítási próbát végzünk.

16.5.15. Rövid összefoglaló

A dízelmotor a sűrítés végén elért 600–770 °C levegőhőmérséklet segítségével, külső gyújtószikra nélkül gyújtja meg a porlasztott gázolajat. A sűrítési arány 15–24:1, ami nagyobb az Otto-motorénál; ez jobb termikus hatásfokot, de nagyobb mechanikai terhelést is jelent. A dízelmotor terhelését minőségi szabályozással, a befecskendezett tüzelőanyag mennyiségével állítjuk. A cetánszám a gyújthatóságot, a gyújtási késedelem az égésindítás időbeli késését jellemzi. **Továbbvitt eredmény.** A dízelmotor működésének és keverékképzésének alapjait használjuk a(z) A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók alfejezetben, ahol a tüzelőanyag-ellátó rendszert, valamint a(z) A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés alfejezetben, ahol a dízel égésből származó károsanyagok képződését tárgyaljuk. A gyakorlatban mindig a gyártói adatokat kell ellenőrizni: sűrítési arány, befecskendezési nyomás, kompressziós határérték és izzítási idő. Nyomás alatt álló dízel befecskendező rendszert tilos megbontani.

16.5.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és műhelykézikönyvek; motorszerkezettani és motortechnikai szakkönyvek; az MSZT szabványai (pl. tüzelőanyagokra vonatkozó EN 590); az ENSZ-EGB vonatkozó előírásai a motorok kibocsátására vonatkozóan.

Ellenőrizendő állítások listája: a sűrítési arány tartomány (15–24:1) és a sűrítés végi nyomások/hőmérsékletek; a befecskendezési nyomások (100–150 bar nyitónyomás előkamrás motoron, 1500–2700 bar közös nyomásterű rendszeren, a mechanikus DI-rendszerek csúcsnyomása); a cetánszám minimális értéke (EN 590); a kompressziós példaértékek (25–35 bar, 30–40 bar, 10 % eltérés); a légviszony és a sztöchiometrikus levegő/tüzelőanyag arány (λ, L_{st}); a hatásfoktartományok (25–45 %). Minden gyártói vagy szabvány szerinti értéket a javítás előtt a gyártói dokumentációból kell megerősíteni.

17 Motorszerkezet

17.1. A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd

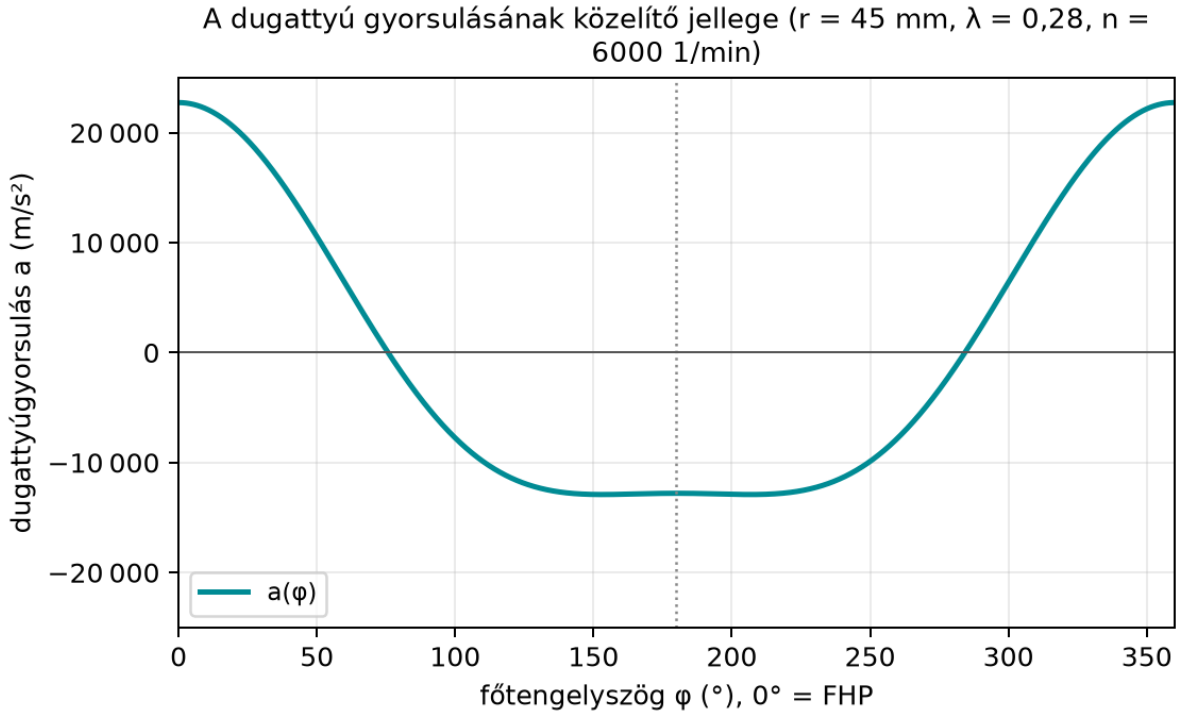
17.1.1. Motiváció

Amikor egy motor kopog, füstöl, eszik az olajat, vagy a kompressziómérés hengerenként nagyon eltérő értékeket mutat, a hiba gyakran a forgattyús hajtómű legbelső mozgó láncában, a dugattyúban, a dugattyúgyűrűkben, a dugattyúcsapszegben vagy a hajtórúdban van. A motor szerelésekor ezek az alkatrészek egyszerre kopó-, tömítő- és erőátviteli elemek: nem elég tudni, hogyan néznek ki, azt is érteni kell, milyen hő- és tömegerők hatnak rájuk, és milyen mérésekkel lehet eldönteni, javítható-e az alkatrész, vagy cserélni kell.

17.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy hengert metszetben a felső holtpont környékén. A hengerfalban egy alumínium dugattyú mozog, tetején a gáznyomás terheli, alatta a hajtórúd lengő mozgást végez. A dugattyú tetején nincsenek gyűrűk – a gyűrűk a tető alatti hornyokban ülnek. A felső két horonyban keskeny, nyitott, rugalmas kompressziós gyűrűk, a harmadikban egy olajlehúzó gyűrűcsomag. A dugattyúcsapszeg a dugattyú szemeiben és a hajtórúd kisfejében forog. A hajtórúd szára hosszú, karcsú rúd, a nagyszem pedig osztott, és a forgattyús csapot fogja körbe. Ezt az elrendezést metszetrajzon érdemes megtanulni, mert a műhelyben a hengerből kihúzott dugattyún ugyanezt a képet látjuk visszafelé.

A dugattyú mozgásának legfontosabb következménye, hogy a dugattyútömeg a fordulatszámmal rohamosan növekvő gyorsulási erőt okoz. A gyorsulás lefutását mutatja a következő szemléltető diagram:



17.1. ábra. A dugattyú gyorsulásának közelítő jellege (r = 45 mm, λ = 0,28, n = 6000 1/min) - Szemléltető, számított közelítés: $a(\varphi) \approx r\omega^2(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi)$, $r\omega^2 \approx 17\,765$ m/s², a példa adataival; 0° = FHP, 180° = AHP (szaggatott függőleges vonal). Nem mért adat.

A görbe jellegéből két dolog olvasható le. A felső holtpont (0°, 360°) környékén a legnagyobb a pozitív gyorsulás, mert a dugattyúnak gyorsan irányt kell váltania; az alsó holtpont (180°) környékén ellentétes irányú, kisebb abszolút értékű gyorsulás van, és mivel itt $\lambda > 0{,}25$, a görbe lapos, két kis minimummal. A görbe nem tiszta szinusz, mert a hajtórúd véges hossza miatt a dugattyú mozgása a forgattyús tengely elfordulásának nem tökéletes vetülete.

17.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A dugattyú a forgattyús hajtómű azon eleme, amely a hengerben alternáló mozgást végez, az égéstér egyik mozgó fala, és a gáznyomásból származó erőt a dugattyúcsapszegen és a hajtórúdon át a forgattyús tengelyre továbbítja.

Definíció. A dugattyúgyűrűk a dugattyú gyűrűhornyaiba szerelt, nyitott gyűrűk, amelyek az égéstér gáztömítését, a hő átadását és a hengerfal olajfilmjének szabályozását végzik.

Definíció. A dugattyúcsapszeg a dugattyút és a hajtórúd kisfejét összekötő csukló, amely a radiális erőket továbbítja.

Definíció. A hajtórúd a dugattyúcsapszeget és a forgattyús csapot összekötő rúd, amely a dugattyú alternáló (egyenes vonalú, váltakozó irányú) mozgását a forgattyús tengely forgómozgásává alakítja.

Összefüggés. A dugattyú elmozdulása és gyorsulása közelítőleg. A forgattyús hajtómű geometriai adataiból a dugattyú elmozdulása (a felső holtponttól mérve) a forgattyús tengely elfordulása szerint közelítőleg:

$$s(\varphi) \approx r\left(1 - \cos\varphi + \frac{\lambda}{4}\left(1 - \cos 2\varphi\right)\right),$$

ahol r a forgattyús sugár, $\lambda = r/l$ a hajtórúd-arány, l a hajtórúd hossza. Ebből állandó szögsebesség közelítéssel a dugattyú gyorsulása:

$$a(\varphi) \approx r\omega^2\left(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi\right).$$

A felső holtpontban ($\varphi = 0$) a gyorsulás:

$$a_{\mathrm{FHP}} = r\omega^2\left(1 + \lambda\right),$$

az alsó holtpontban ($\varphi = 180^\circ$) pedig:

$$a_{\mathrm{AHP}} = r\omega^2\left(\lambda - 1\right).$$

A negatív előjel az alsó holtpontban az ellenkező irányú gyorsulást jelzi. A csúcsgyorsulás a fordulatszám négyzetével arányos, ezért magas fordulaton a tömegerő gyakran nagyobb, mint a gáznyomásból származó erő.

17.1.4. Felépítés és működés

17.1.4.1. Dugattyú

A dugattyú feladata a gáznyomásból származó erő továbbítása, a henger tömítése az égéstér felé, valamint a keletkező hő elvezetése a hengerfalra. Igénybevétele összetett: a benzinmotorokban a csúcsnyomás tipikusan 40–90 bar, dízelmotorokban 120–200 bar is lehet (ellenőrizendő: típusonként), a dugattyútetőt 2000–2500 °C-os égési gázok érik, a tető hőmérséklete pedig 300–400 °C fölé is mehet. Ezenkívül a dugattyú minden irányváltáskor tömegerőknek, a hengerfalban oldalnyomásnak, a gyűrűhornyokban pedig mikromozgásokból származó kopásnak van kitéve.

A dugattyú anyaga ma jellemzően alumínium-szilícium ötvözet, például AlSi12CuNi jellegű anyag (az anyagjelölést az Anyagtani alapfogalmak, fémtan és a vas–szén diagram alapján kell értelmezni). A szilícium csökkenti a hőtágulást, a réz és a nikkel javítja a melegszilárdságot. Nagy terhelésű motorokban kovácsolt alumíniumdugattyút használnak, a dízelmotorok egyes változataiban a tetőnél vasbetét vagy gyűrű-betét merevíti a kopásnak jobban kitett hornyot.

A dugattyú hidegen nem kör, hanem ovális: a csapszeg furatának irányában kissé kisebb átmérőjű, mint a rá merőlegesen. Meleg állapotban a hőtágulás miatt körré válik. Hossz mentén is kismértékben kúpos vagy lépcsős: a meleg tető környékén nagyobb hőtágulás, ezért a tetőnél kissé kisebb átmérőt mérünk. A dugattyú szoknyája (köpeny) a viszonylag hűvösebb alsó rész, amely vezeti és kopását csökkenti. A szoknyán gyakran grafit, molibdén vagy műanyag alapú súrlódáscsökkentő bevonat van.

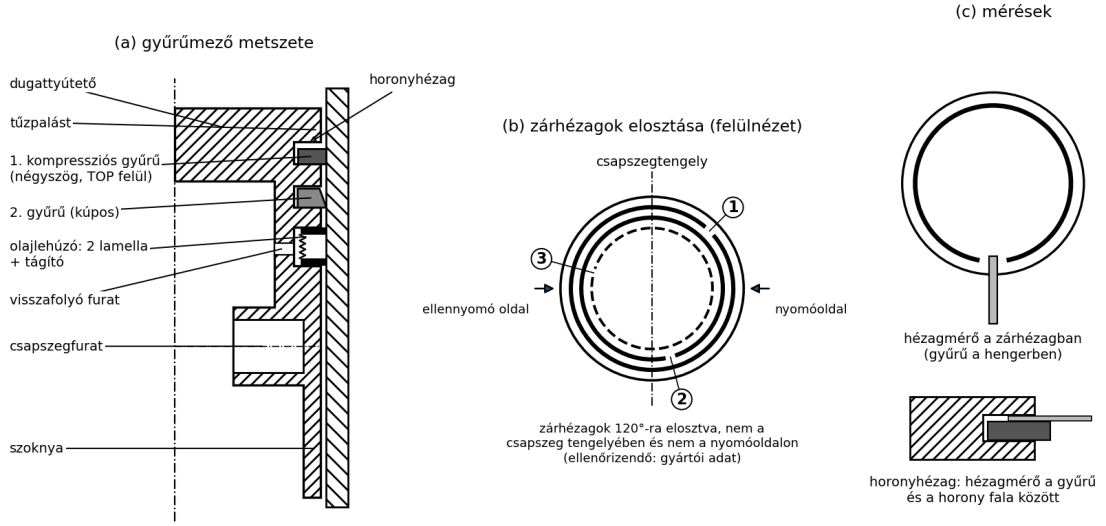
A dugattyú hűtése többlépcsős: a hő a tetőből a gyűrűkön át a hengerfalra, illetve a szoknyán át is távozik. Nagy terhelésű motorokban a dugattyú belső oldalára olajsugarat vezetnek, amely a tető alját hűti; egyes dízeldugattyúkban a gyűrűmező közelében öntött hűtőcsatornában kering az olaj.

17.1.4.2. Dugattyúgyűrűk

A dugattyúgyűrűk három csoportra oszthatók: az első két horonyban kompressziós gyűrű, a harmadikban olajlehúzó gyűrű van. Az első kompressziós gyűrű elsősorban az égéstér tömítését és a dugattyú hőjének átadását végzi; anyaga ma gyakran nemesíthető acél vagy gömbgrafitos öntöttvas, felülete nitridált, krómozott vagy PVD-bevonatos. A második kompressziós gyűrű a tömítés mellett már az olaj visszatartásában is részt vesz, ezért gyakran kúpos futófelületű.

Az olajlehúzó gyűrű feladata, hogy a hengerfalon egyenletes, vékony olajfilmet hagyjon, a felesleget pedig leválassza. Sok változata acél lamellapárból és köztük lévő rugós tágítóból áll, más kialakításban hasított gyűrű és belső rugó kombinációja. Az olajlehúzó gyűrű alatt a dugattyú fala visszafolyó furatokat tartalmaz, amelyeken az összegyűlt olaj a dugattyú belső terébe jut.

A gyűrűk beszerelésekor a gyártói jelölést kell keresni: ha a gyűrűn `TOP` vagy hasonló jel van, az a dugattyútető felé nézzen. A kúpos gyűrűket sem szabad megfordítani, mert akkor a kúp felfelé húzná az olajat az égéstérbe. A gyűrűvégeket a dugattyúba szerelés után körben el kell osztani, jellemzően egymástól 120°-ra, hogy a zárhézagok ne essenek egy vonalba.



17.2. ábra. Dugattyúgyűrűk elrendezése, profilja és mérése

Az (a) metszeten felülről lefelé a dugattyútető, a tűzpalást, az 1. horonyban a négyszög keresztmetszetű kompressziós gyűrű (TOP jel felfelé, a horony felső falánál a horonyhézag), a 2. horonyban a kúpos gyűrű, amelynek alsó éle lefelé kaparja az olajat, a 3. horonyban két acéllamella és a tágító, alatta a visszafolyó furat, majd a csapszegfurat és a szoknya látható. A (b) felülnézet a 120°-ra elosztott zárhézagokat mutatja a csapszegtengelytől és a nyomóoldaltól eltolva (ellenőrizendő: gyártói adat), a (c) rész a zárhézag és a horonyhézag mérését. A HTML-képsor a fordítva beszerelt kúpos gyűrű hatását is bemutatja.

17.1.4.3. Dugattyúcsapszeg

A dugattyúcsapszeg anyaga tokos keményített acél, felületi keménysége jellemzően 60–64 HRC (ellenőrizendő: gyártói adat). A csapszeg kialakítása általában üreges, hogy kisebb legyen a tömege. A leggyakoribb a „úszó csapszeg” elrendezés: a csapszeg mind a dugattyú szemeiben,

mind a hajtórúd kisfejében foroghat. Axiális elmozdulását a dugattyú furataiban elhelyezett rugós biztosítógyűrűk korlátozzák. Ritkább a rögzített csapszeg, ahol a hajtórúd kisfejébe szorosan illesztik, és a dugattyú szeme forog rajta.

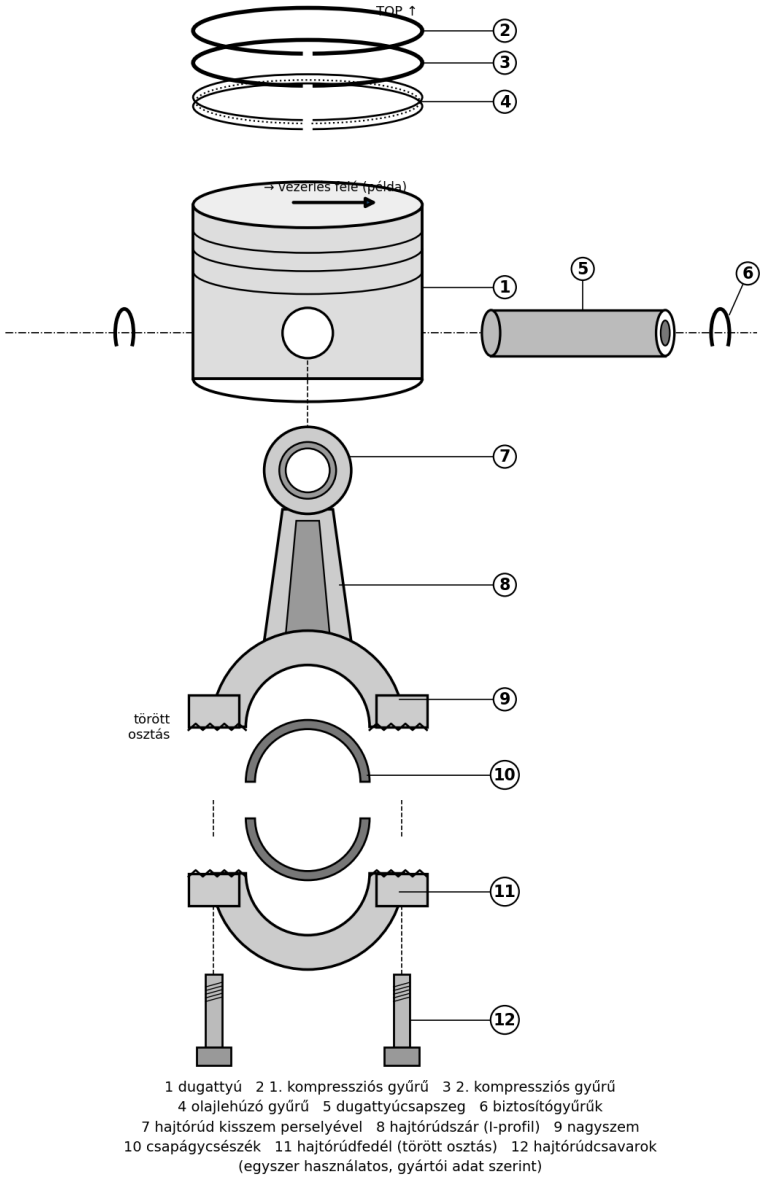
Az úszó csapszeget hidegen nem szabad erőszakkal behúzni: a szoros illesztés miatt a dugattyút a gyártói javítási előírás szerint mérsékelten melegítik, jellemzően 60–80 °C-ra, így az alumínium kitágul (ellenőrizendő: gyártói adat). A csapszeg és a furat közötti hézag nagyon kicsi, ezért minden szerelésnél tiszta, sérülésmentes felületet kell biztosítani.

17.1.4.4. Hajtórúd

A hajtórúd anyaga általában nemesíthető acél, például C70, 42CrMo4 vagy 36MnVS4 jellegű anyag (ellenőrizendő: az EN-szabvány szerinti aktuális jelölés). Verseny- és nagyteljesítményű motorokban nagy szilárdságú kovácsolt acél, esetleg titán hajtórúd is előfordul. A hajtórúd három fő része: a kisfej a csapszeghez, a szár a két fej közötti karcsú rúd, a nagyszem pedig a forgattyús csaphoz csatlakozik. A szár kialakítása jellemzően dupla T vagy hasonló profil, hogy kis tömeg mellett nagy hajlítási merevségű legyen.

A nagyszem osztott, mert a forgattyús csapra szerelve csak így helyezhető fel. A hagyományos megoldásban egyenes osztással készül sapka és anyarúd, ma azonban sok motorban törött osztású hajtórudat használnak. A törött osztás során a nagy szemet szándékosan eltörik, és a törésfelület jellegzetesen érdes, egymáshoz pontosan illeszkedő felület lesz. Ezt a felületet nem szabad csiszolni, köszörülni vagy síkolni, mert az megváltoztatja az illesztést; a sapka és az anyarúd csak párosítva használható.

A hajtórúdcsavarok nagy szilárdságú, különösen gondosan méretezett elemek. Szerelésük gyakran nyúlásos vagy nyomaték+szöghúzással történik, például 20 Nm + 90° formában, ami azonban csak tanulási példa (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). A csavarokat sok motorkonstrukcióban egyszer használatosnak kell tekinteni, vagy a megengedett újrahasználatot a gyártói utasítás adja meg. A hajtórúd kisfejében gyakran bronzpersely van a csapszeg számára; a nagyszem belső csapágycsészéit a következő, a forgattyús tengelyt tárgyaló alfejezet tárgyalja.



17.3. ábra. A dugattyú–hajtórúd egység robbantott ábrája számozott tételekkel

A robbantott ábra tételei: 1 dugattyú (a tetőn példaként a beépítési irányjel), 2–3 kompressziós gyűrűk, 4 olajlehúzó gyűrű, 5 dugattyúcsapszeg, 6 biztosítógyűrűk, 7 hajtórúd kisszem perselyével, 8 I-profilú hajtórúdszár, 9 nagyszem, 10 csapágycsészék, 11 hajtórúdfedél kiemelt törött osztású felülettel, 12 hajtórúdcsavarok (sok motorban egyszer használatosak, gyártói adat szerint). A HTML-változatban a tételekre mutatva megjelenik a nevük, anyaguk és a szerelési megjegyzés.

17.1.5. Kidolgozott példák

17.1.5.1. 1. példa: a dugattyú csúcsgyorsulása

Számítás. Adott: $r = 45\,\text{mm} = 0{,}045\,\text{m}$; $l = 0{,}160\,\text{m}$; $n = 6000\,1/\text{min}$. Keresett: a dugattyú gyorsulása a felső és az alsó holtpontban.

Először a hajtórúd-arányt számítjuk:

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{0{,}045}{0{,}160} = 0{,}281.$$

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 6000}{60} = 628{,}3\,\mathrm{rad/s}.$$

A gyorsulási tényező:

$$r\omega^2 = 0{,}045 \cdot 628{,}3^2 = 17\,765\,\mathrm{m/s^2}.$$

A felső holtponton:

$$a_{\mathrm{FHP}} = 17\,765\,(1 + 0{,}281) = 22\,757\,\mathrm{m/s^2}.$$

Átszámítva g-re:

$$a_{\mathrm{FHP}} = \frac{22\,757}{9{,}81} \approx 2320\,g.$$

Az alsó holtponton:

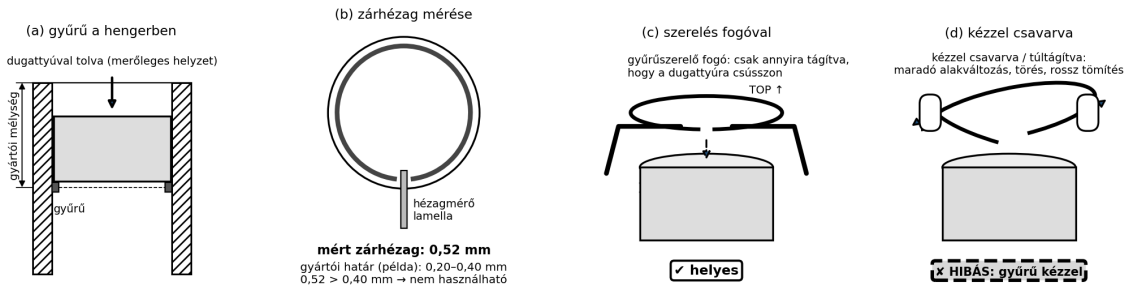
$$a_{\mathrm{AHP}} = 17\,765\,(-1 + 0{,}281) = -12\,773\,\mathrm{m/s^2},$$

ami abszolút értékben körülbelül 1300 g. Az ellenőrzéshez nézzük a nagyságrendet: 6000 1/min fordulaton a dugattyú tömege több ezer g gyorsulásnak kitett, ezért a tömegerők nagyon nagyok. A csúcsgyorsulás a felső holtpontban nagyobb, mert a hajtórúd geometriája miatt itt nagyobb a gyorsulás.

17.1.5.2. 2. példa: a gyűrűzárhézag ellenőrzése

Példa. Egy 1. kompressziós gyűrűt a hengerbe toltak, merőlegesen, a dugattyúval. A gyártói javítási adat szerint a zárhézag 0,20–0,40 mm lehet. A szerelő hézagmérővel 0,52 mm-t mér. Eldöntendő, hogy a gyűrű használható-e.

A mért 0,52 mm nagyobb, mint a felső határ 0,40 mm, ezért a gyűrű ebben a hengerben nem használható. A túl nagy zárhézag a gyűrűvégeknél nagyobb gázátfúvást, olajfelhúzást és kompresszióvesztést okoz. A mérési jegyzőkönyvbe be kell írni a mért értéket, a gyártói határt és az ítéletet. A munka következő lépése a hengerfal és a dugattyú hézagának felmérése, mert a nagy zárhézag nemcsak a gyűrű kopásából, hanem a henger furatának tágságából is adódhat. Az érték tanulási példa (ellenőrizendő: gyártói adat).



17.4. ábra. Gyűrűzárhézag mérése a hengerben és a gyűrű felszerelése fogóval (helyes) és kézzel (hibás)

Az (a) rész a mérési helyzetet mutatja: a gyűrűt a dugattyúval merőlegesen a gyártói mélységbe tolják; a (b) felülnézeten a hézagmérő lamella a zárhézagban van, a mért 0,52 mm meghaladja a 0,40 mm-es felső határt. A (c) kép a gyűrűszerelő fogós felszerelést mutatja (csak a szükséges mértékben tágítva, TOP jel felfelé), a (d) a hibás, kézzel csavart vagy túltágított gyűrűt. A zárhézagok elosztását a gyűrűkről szóló ábra mutatja.

17.1.6. Minőségellenőrzés

A dugattyú, gyűrűk, csapszeg és hajtórúd vizsgálata a következő méréseket és ellenőrzéseket igényli:

- **Hengerfurat–dugattyú hézag:** a hengerfurat belső átmérőjét furatmérővel vagy mérőórával, a dugattyú szoknyáját mikrométerrel mérik; a kettő különbsége a dugattyúhézag. A gyártói javítási adat szerint kell értékelni (példa: 0,02–0,06 mm).
- **Gyűrűzárhézag:** a gyűrűt a hengerbe tolva hézagmérővel mérik a végek közötti rést. Az értéket a gyártói táblázathoz képest kell nézni (példa: 0,20–0,40 mm).
- **Gyűrűhorony-hézag:** a gyűrű és a horony oldalfala közötti hézag hézagmérővel mérhető; a túl nagy hézag a horony kopását jelzi.
- **Csapszegjáték:** a csapszeg átmérőjét és a kisfej furatát mikrométerrel, illetve furatmérővel mérik; a játékból lehet következtetni a kopásra (példa: 0,003–0,008 mm).
- **Hajtórúd-vizsgálat:** repedésvizsgálat (színes behatolásos vagy mágneses eljárás), hajlás- és terpesztésvizsgálat; a törött osztású felület sérülésmentességét ellenőrizni kell.
- **Hajtórúdcsavar:** a csavarok megnyúlását, újrahasználhatóságát a gyártói utasítás szerint; a csavarokat mindig a megadott nyomaték+szög eljárással, kalibrált nyomatékkulccsal kell meghúzni.

Továbbvitt eredmény. A dugattyú, gyűrűk, csapszeg és hajtórúd itt tanult állapotjellemzői (hézagok, kopási határok, gyorsulási igénybevétel) a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben kerülnek vissza, amikor kompresszió mérést, nedves kompresszió mérést és szétszereléses kopásfelmérést végzünk. A hajtórúd nagyszemét és csapágyait pedig a Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés alfejezet köti össze a forgattyús tengellyel.

17.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy négyhengeres benzinmotor ügyfélpanasza: erős olajfogyasztás, gyorsításkor kékes füst, és hengerenkénti kompresszió mérésnél az egyik henger 9,5 bar, a többi 12,2–12,5 bar. A nedves

kompressziómérés során kevés olaj a hengerbe juttatása után az alacsony érték 11,8 barra emelkedik, ami a dugattyú–gyűrű–henger tömítési lánc kopására utal.

A szétszerelés után a hibafelvételezés a következő eredményt adja: a dugattyú szoknyája erősen kopott, a szoknya–hengerfurat hézag a gyártói felső határ kétszerese, a kompressziós gyűrű zárhézaga 0,58 mm a megengedett 0,40 mm helyett, az olajlehúzó lamellák pedig kokszosak és beragadtak. A hajtórúd repedésvizsgálata negatív, a csapszegjáték határérték alatt marad.

A javítás során a hengerfuratot felmérik, mérlegelik a túlméretre fúrást és hónolást (vagy a gyártó szerint csak hónolást). A dugattyúkat és a gyűrűket új, a gyártó által előírt méretosztályú alkatrészekre cserélik. A dugattyúk beszerelésénél betartják a gyűrűhézag-értékeket, a gyűrűk `TOP` jelölését, a dugattyú melegítését a csapszeg beépítésénél, és a hajtórúdcsavarokat nyomaték+szög eljárással, új csavarokkal húzzák meg. A szerelés után kompressziómérést és rövid próbajáratást végeznek. A tanulság: a kékes füst és az olajfogyasztás nem azonnali, hanem hosszú kopási folyamat eredménye, ezért a kompressziómérés és a rögzített mérési adatok alapján kell dönteni a motor szétszereléséről.

17.1.8. Tipikus hibák

1. **A gyűrű beépítési irányának figyelmen kívül hagyása.** Ha a kúpos második gyűrűt fordítva szerelik be, az olajat felfelé húzza, amitől a motor kéken füstöl, és az égéstérben kokszlerakódás keletkezik. Helyes gyakorlat: a gyártói `TOP` jelölést és a gyűrűprofil irányát mindig ellenőrizni kell.
2. **A hajtórúd törött osztású felületének sérülése.** A törött osztású hajtórudat szétszereléskor nem szabad letenni a törésfelületre, mert a mikroszkopikus illesztési csúcsok megsérülhetnek. Helyes gyakorlat: a sapkát és az anyarudat párosítva, a törésfelületet védve, tiszta felületen tárolni.
3. **A hajtórúdcsavar „érzésre” való meghúzása.** A hajtórúdcsavar nyúlásos meghúzást igényel; a túl kis nyomatékú vagy egyenetlen meghúzás csapágykopást, a túl nagy nyomaték pedig csavar törését okozhatja. Helyes gyakorlat: kalibrált nyomatékkulcs, gyártói nyomaték+szög, és a megengedett újrahasználat betartása.

17.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az úszó csapszeg a dugattyúban és a hajtórúd kisfejében is foroghat? (Igaz, és axiális rögzítését általában biztosítógyűrűk adják.)
2. Ha a motor fordulatszámát kétszeresére növelik, hogyan változik a dugattyú csúcsgyorsulása? (A gyorsulás a fordulatszám négyzetével arányos, tehát négyszeresére nő.)
3. Mi a kompressziós gyűrű két fő feladata? (Tömítés és hőelvezetés a hengerfalra.)
4. Miért ovális a dugattyú hidegen a csapszeg irányában? (Mert a hőtágulás és az anyagfelhalmozódás kompenzálása, valamint az oldalnyomás hatása miatt meleg állapotban így lesz kör keresztmetszetű.)
5. Mi a hiba ebben az eljárásban: „A hajtórúdcsavart szokásos kézi nyomatékkal húzom meg”? (A hajtórúdcsavart a gyártói nyomaték+szög eljárással, kalibrált kulccsal kell meghúzni.)

17.1.10. Feladatok

1. feladat (A). Nevezd meg a dugattyú fő részeit, és társítsd hozzájuk a feladatukat (tető, gyűrűmező, szoknya, csapszegfurat).

2. feladat (A). Számítsd ki a dugattyú csúcsgyorsulását a felső holtpontban, ha $r = 48\,\text{mm}$, $l = 0{,}165\,\text{m}$ és $n = 6500\,1/\text{min}$. Add meg az eredményt m/s^2-ben és g-ben is.

3. feladat (B). Egy gyűrűhorony magasságát mérve 2,02 mm, a gyűrű vastagsága 1,96 mm. A gyártói előírás szerint a horonyhézag 0,03–0,07 mm lehet. Hasonlítsd össze, és mondd meg, hogy a mért hézag megfelelő-e.

4. feladat (B). Rendezd a megfelelő sorrendbe a dugattyú és a hajtórúd szerelésének alábbi, összekevert lépéseit: a hajtórúdsapkát a párosító jelek szerint felhelyezni; a gyűrűket `TOP` jellel felfelé felszerelni; a hajtórúdcsavarokat nyomaték+szög eljárással meghúzni; a biztosítógyűrűket beszerelni; a dugattyút gyűrűszorítóval a hengerbe tolni; a dugattyút a gyártói hőmérsékletre melegíteni; a gyűrűzárakat elosztani; a csapszeget behelyezni; a hajtórúd kisfej perselyét megolajozni.

5. feladat (C). Magyarázd el, miért kritikus a dugattyú hűtőcsatornája, és miért építik a hűtést a gyűrűk hőhídjaira. Mi történhet, ha a gyűrűk nem fekszenek fel rendesen a hengerfalra?

6. feladat (D). Egy motorból a következő tüneteket és mérési adatokat kapod: olajfogyasztás, kékes füst, kompresszió 10,5 bar az első hengeren és 12,4 bar a többiben; a szétszereléskor a gyűrűzárhézag 0,51 mm (előírt 0,20–0,40 mm), a dugattyúhézag a specifikáció felső határa felett. Elemezd az okot, és javasold a javítást. Ez a feladat készíti elő a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben szereplő kompressziómérés értelmezését.

17.1.11. Megoldások

17.1.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Az úszó csapszeg mindkét helyen foroghat, axiális elmozdulását biztosítógyűrűk akadályozzák.
2. A gyorsulás az $a = r\omega^2$ összefüggés miatt a fordulatszám négyzetével arányos; kétszeres fordulatszámnál négyszeres csúcsgyorsulás.
3. Tömítés és hőelvezetés.
4. Hidegen azért ovális, hogy meleg állapotban a hőtágulás miatt kör keresztmetszetű legyen; a csapszeg irányában lévő nagyobb anyagmennyiség okozta tágulást is kompenzálja.
5. A hiba az, hogy a hajtórúdcsavart nem érzésre, hanem gyártói nyomaték+szög eljárással kell meghúzni; különben a csavar vagy a csapágy károsodhat.

17.1.11.2. Feladatok megoldásai

1. feladat. A dugattyú fő részei: tető (az égéstér határfelülete), gyűrűmező (a gyűrűhornyokkal, a tömítés és hőelvezetés helye), szoknya/köpeny (a dugattyú vezetése, oldalerők felvétele), csapszegfurat (a csapszeg támogatása, erőátadás a hajtórúdra).

2. feladat. Adott: $r = 48\,\text{mm} = 0{,}048\,\text{m}$; $l = 0{,}165\,\text{m}$; $n = 6500\,1/\text{min}$. Keresett: a_{FHP}.

$$\lambda = \frac{0{,}048}{0{,}165} = 0{,}2909,$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 6500}{60} = 680{,}7\,\mathrm{rad/s},$$

$$r\omega^2 = 0{,}048 \cdot 680{,}7^2 = 22\,240\,\mathrm{m/s^2},$$

$$a_{\mathrm{FHP}} = 22\,240\,(1 + 0{,}2909) = 28\,700\,\mathrm{m/s^2},$$

$$a_{\mathrm{FHP}} = \frac{28\,700}{9{,}81} = 2926\,g.$$

Az eredmény nagyságrendje reális nagy fordulaton, mert a dugattyú tömege több ezer g gyorsulást szenved.

3. feladat. A horonyhézag a horonymagasság és a gyűrűvastagság különbsége:

$$h = 2{,}02 - 1{,}96 = 0{,}06\,\mathrm{mm}.$$

A megengedett 0,03–0,07 mm tartományba beleesik, tehát a horonyhézag megfelelő, de a mérési jegyzőkönyvbe be kell írni a tényleges értéket. Ellenőrzésül: ha a mért horonyhézag túl nagy lenne, az a horony oldalfalainak kopását jelezné.

4. feladat. Helyes sorrend: 1. a hajtórúd kisfej perselyét megolajozni; 2. a dugattyút a gyártói hőmérsékletre melegíteni; 3. a csapszeget behelyezni; 4. a biztosítógyűrűket beszerelni; 5. a gyűrűket `TOP` jellel felfelé felszerelni; 6. a gyűrűzárakat elosztani; 7. a dugattyút gyűrűszorítóval a hengerbe tolni; 8. a hajtórúdsapkát a párosító jelek szerint felhelyezni; 9. a hajtórúdcsavarokat nyomaték+szög eljárással, új csavarokkal meghúzni. A lépések közben a csapszegnek könnyen kell forognia, és a gyűrűk zárhézagát is ellenőrizni kell.

5. feladat. A hűtőcsatorna a dugattyú belsejében, a gyűrűmező közelében lévő üreg, amelyen olaj áramlik. Azért kritikus, mert a dugattyútető hőmérséklete nagyon magas, és a hőt el kell vezetni, különben melegszilárdsági és olajkokszosodási problémák lépnek fel. A gyűrűk hőhídnak tekinthetők, mert a tető hője rajtuk keresztül jut a hengerfalra. Ha a gyűrűk nem fekszenek fel rendesen a hengerfalra, a hőátadás leromlik, a tető túlmelegszik, a gyűrűk beragadnak, és gázátfúvás, olajfogyasztás, kompresszióvesztés alakul ki.

6. feladat. A tünetek és mérések alapján a dugattyú–gyűrű–henger tömítési lánc kopott. Az első henger alacsonyabb kompressziója valószínűleg a nagy gyűrűzárhézagnak és a megnövekedett dugattyúhézagnak köszönhető, mert a gáz az égéstérből a forgattyúház felé átfúj. A kékes füst és az olajfogyasztás az olajlehúzó gyűrűk elhasználódására, kokszosodására utal. A javítás során fel kell mérni a hengerfuratot, majd a kopás mértékétől függően túlméretre fúrni és hónolni, vagy csak hónolni; a dugattyúkat és gyűrűket a gyártói méretosztály szerint cserélni; a csapszeget és a hajtórudat ellenőrizni; a motor összeszerelése után kompresszióméréssel és próbajárattal ellenőrizni a tömítést.

17.1.12. Rövid összefoglaló

A forgattyús hajtómű négy vizsgált eleme a dugattyú, a dugattyúgyűrűk, a dugattyúcsapszeg és a hajtórúd. A dugattyú gáznyomást, hőterhelést és tömegerőket visel, anyaga jellemzően alumínium-szilícium ötvözet, hőtágulását ovális és kúpos kialakítással, valamint olajsugaras hűtéssel kezelik. A dugattyúgyűrűk tömítenek, hőt vezetnek és szabályozzák az olajfilmet; a kompressziós gyűrűk száma jellemzően kettő, az alsó az olajlehúzó. A dugattyúcsapszeg leggyakrabban úszó kivitelű, axiális rögzítése biztosítógyűrűkkel történik. A hajtórúd nemesíthető acélból készül, kisfejét és osztott nagyszemét törött vagy hagyományos osztással alakítják ki; a hajtórúdcsavarok meghúzása nyomaték+szög eljárással történik. A dugattyú gyorsulásának csúcsértéke a felső holtpontban közelítőleg $a_{\mathrm{FHP}} = r\omega^2(1+\lambda)$, és a fordulatszám négyzetével nő. **Továbbvitt eredmény.** A dugattyú–gyűrű–henger tömítési lánc állapotjellemzői a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben kompressziómérésnél és szétszereléses kopásfelmérésnél, a hajtórúd nagyszemének csapágyai a Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés alfejezetben kerülnek elő.

17.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az anyagtudomány, a mechanika és a gyártói javítási gyakorlat tartós alapjaira épít. **Ellenőrizendő:** a csúcsnyomás- és hőmérsékletértékek, a dugattyúhézag, gyűrűzárhézag, horonyhézag és csapszegjáték példaértékei, a hajtórúdcsavar meghúzási nyomaték–szög értéke, a dugattyú melegítési hőmérséklete, valamint a konkrét anyagjelölések aktualitása a hatályos EN-szabványok és a gyártói javítási adatok szerint.

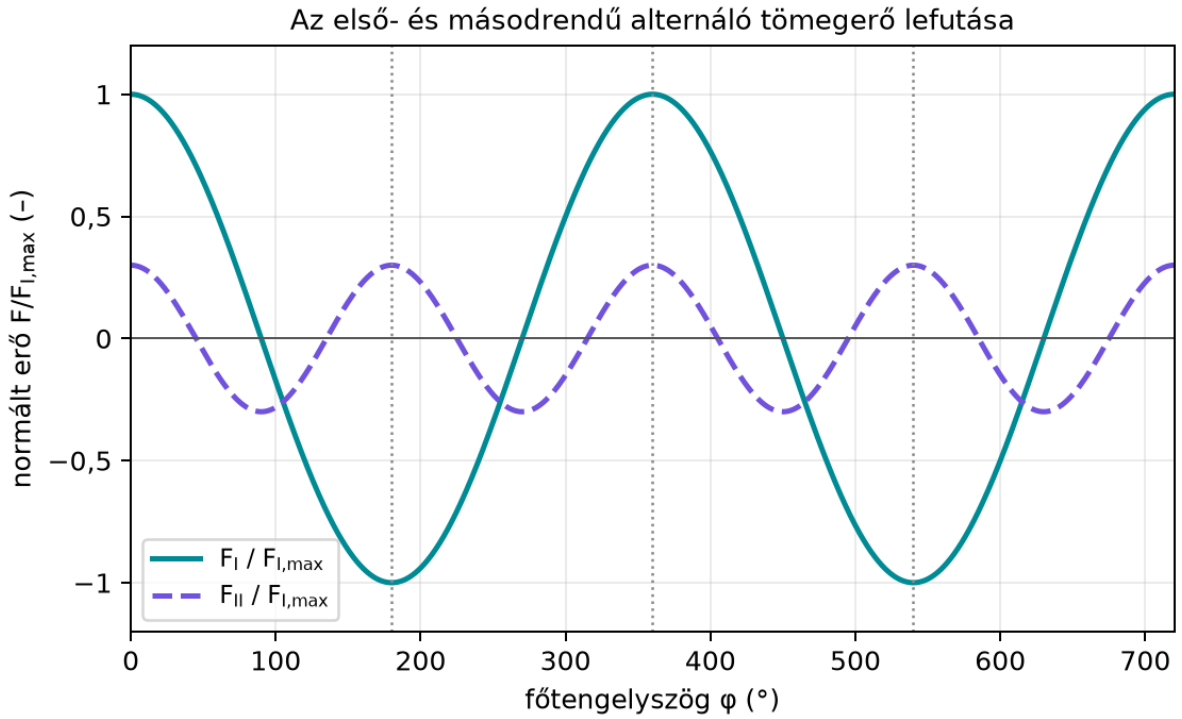
17.2. Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés

17.2.1. Motiváció

Egy ügyfél azzal hozza a járművét, hogy hidegindítás után halk, tompa kopogás hallatszik, amely a fordulatszámmal együtt változik, és gázadásra erősödik. Egy másik autón alapjáraton ketyegő, fémes zaj jelentkezik, amely a tengelykapcsoló benyomásakor megszűnik. A szerelő ilyenkor a forgattyús tengely, a fő- és hajtórúdcsapágyak, a lendkerék, illetve a kettős tömegű lendkerék állapotára gyanakszik. Ebben az alfejezetben megismerjük ezeket a szerkezeti elemeket, a rájuk ható tömegerőket, a kiegyensúlyozás elvét és az ellenőrzési módszereket, mert a motorhiba pontos behatárolása és a javítás minősége ezen múlik.

17.2.2. Szemléltető kép

Képzeljük el a forgattyús tengelyt a motor hossztengelyével párhuzamosan, metszetben. A főcsapok a hengertömbben kialakított főcsapágy-fészkekben futnak, a hajtórúdcsapokhoz a hajtórudak csatlakoznak. A csapok közötti vállakban olajfuratok szállítják a nyomóolajat a csapágyfelületekhez. A tengely egyik végén a lendkerék, a másik végén a torziós lengéscsillapító és a vezérműtárcsa helyezkedik el. A dugattyú és a hajtórúd váltakozó mozgása, valamint a tengely forgása erőket és nyomatékokat indít meg.



17.5. ábra. Az első- és másodrendű alternáló tömegerő lefutása - A görbék a csúcsértékre normált $\cos\varphi$ és $0{,}3\cdot\cos 2\varphi$ függvények két főtengely-fordulaton (0–720°); $\lambda = r/l = 0{,}3$ tömörített példa. A valódi erők abszolút értéke a tömegtől, a forgattyúsugártól és a fordulatszámtól függ, a görbe csak a fázisviszonyt szemlélteti.

Az ábra az alternáló tömegerő két fő összetevőjét mutatja. Az elsőrendű erő (folytonos görbe) a forgattyús szöggel koszinuszosan változik, a másodrendű erő (szaggatott görbe) kétszeres frekvenciával. A négyhengeres soros motoroknál az elsőrendű erők kiegyenlítik egymást, a másodrendű erők azonban összegződnek, ezért van szükség gyakran kiegyensúlyozó tengelyekre.

17.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **forgattyús tengely** (főtengely) a forgattyús hajtómű központi forgó tengelye; a dugattyúk és hajtórudak váltakozó mozgását forgó mozgássá és nyomatékká alakítja. Részei: főcsapok, hajtórúdcsapok, forgattyúkarok, ellensúlyok, olajfuratok, valamint a lendkerék felőli és a vezérmű felőli vég.

Definíció. A **lendkerék** nagy tehetetlenségi nyomatékú tárcsa, amely a forgattyús tengely lökésszerű nyomatékváltozásait kisimítja, a munkavégző ütem energiáját tárolja, és a többi ütemben visszaadja, hogy a járás egyenletesebb legyen. A **kettős tömegű lendkerék** (DMF, dual mass flywheel) két tehetetlen tömegből és rugókból áll, amelyek a hajtáslánc torziós rezgéseit elszigetelik.

Definíció. A **főcsapágy** a forgattyús tengely főcsapját a hengertömbben támasztja meg. A **hajtórúdcsapágy** a hajtórúd nagyfejében fut a hajtórúdcsapon. Az **axiális csapágy** a forgattyús tengely hosszirányú elmozdulását határolja; jellemzően félgyűrűk vagy peremes főcsapágy formájában.

Összefüggés. A forgattyús hajtóműben a forgó tömeggé redukált m_{rot} tömeg centrifugális erőt, az alternáló mozgást végző m_{alt} tömeg pedig váltakozó tömegerőt hoz létre:

$$F_{\mathrm{rot}} = m_{\mathrm{rot}}\, r\, \omega^2$$

$$F_{\mathrm{alt}} \approx m_{\mathrm{alt}}\, r\, \omega^2\, (\cos\varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

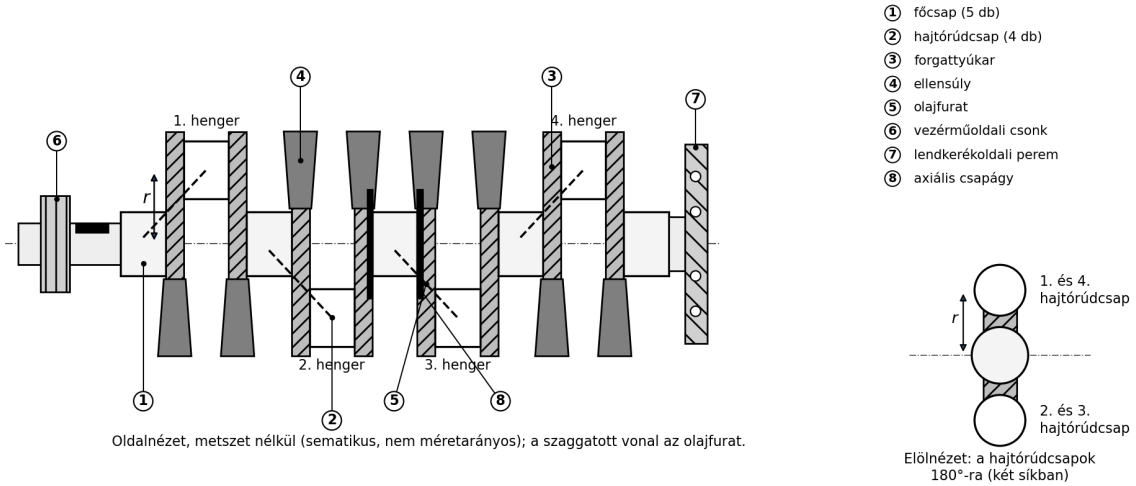
ahol r a forgattyúsugár, ω a szögsebesség, φ a forgattyús szög, $\lambda = r/l$ a hajtórúd-arány.

Definíció. A **forgó tömegerő** a forgó mozgást végző részekből származó, állandó nagyságú centrifugális erő, amely a forgattyús tengellyel együtt fordul. Az **alternáló tömegerő** a dugattyú és a hajtórúd felső részének gyorsulásából adódó, a forgattyús szöggel és annak kétszeresével periodikusan változó erő.

17.2.4. Felépítés és működés

17.2.4.1. A forgattyús tengely

A forgattyús tengely kovácsolt, nemesített (adalékolt) acélból vagy – kisebb terhelésű motoroknál – gömbgrafitos öntöttvasból (EN-GJS, régi jelöléssel GGG) készül (anyagjelölés ellenőrizendő: gyártói adat); nagy terhelésű motoroknál edzett, nitridált vagy görgőzött felületű csapokkal. A csapok felületének keménysége és a megmunkálási érdessége a csapágy élettartamát határozza meg. A fő- és hajtórúdcsapok közötti vállakban olajfuratok vezetik a kenőolajat a főcsapágyaktól a hajtórúdcsapágyak felé; a furatok kialakítása befolyásolja a centrifugális olajtömítést és a kenést. A forgattyúkarokhoz ellensúlyok csatlakoznak, amelyek a forgó tömegerőt és részben az alternáló tömegerőt hivatottak kiegyensúlyozni. A tengelyre szerelt **torziós lengéscsillapító** a forgattyús tengely csavaró rezgéseit csökkenti: jellemzően gumiba ágyazott tehetetlen tömeg, vagy viszkózus olajjal töltött ház.



17.6. ábra. A négyhengeres soros motor forgattyús tengelyének részei: ① főcsapok, ② hajtórúdcsapok, ③ forgattyúkarok, ④ ellensúlyok, ⑤ olajfuratok, ⑥ vezérműoldali csonk, ⑦ lendkerékoldali perem, ⑧ axiális csapágy; jobbra elölnézet a forgattyúsugárral (sematikus)

Az ábrán az öt főcsap a tengely forgástengelyén fekszik, a négy hajtórúdcsap a forgattyúsugárnyira, két síkban áll: az 1. és a 4. együtt fent, a 2. és a 3. együtt lent (180°). Az olajfurat (szaggatott

vonal) a főcsaptól ferdén vezet a szomszédos hajtórúdcsapig; az axiális csapágy félgyűrűi a középső főcsap két oldalán ülnek.

A forgattyús tengely szögsebessége nem állandó egy fordulaton belül. A munkavégző ütemben a tengelyre nagy pillanatnyi nyomaték hat, a többi ütemben pedig lassulni próbál. Ezt a lökésszerű egyenetlenséget a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka simítja ki.

17.2.4.2. A lendkerék és a kettős tömegű lendkerék

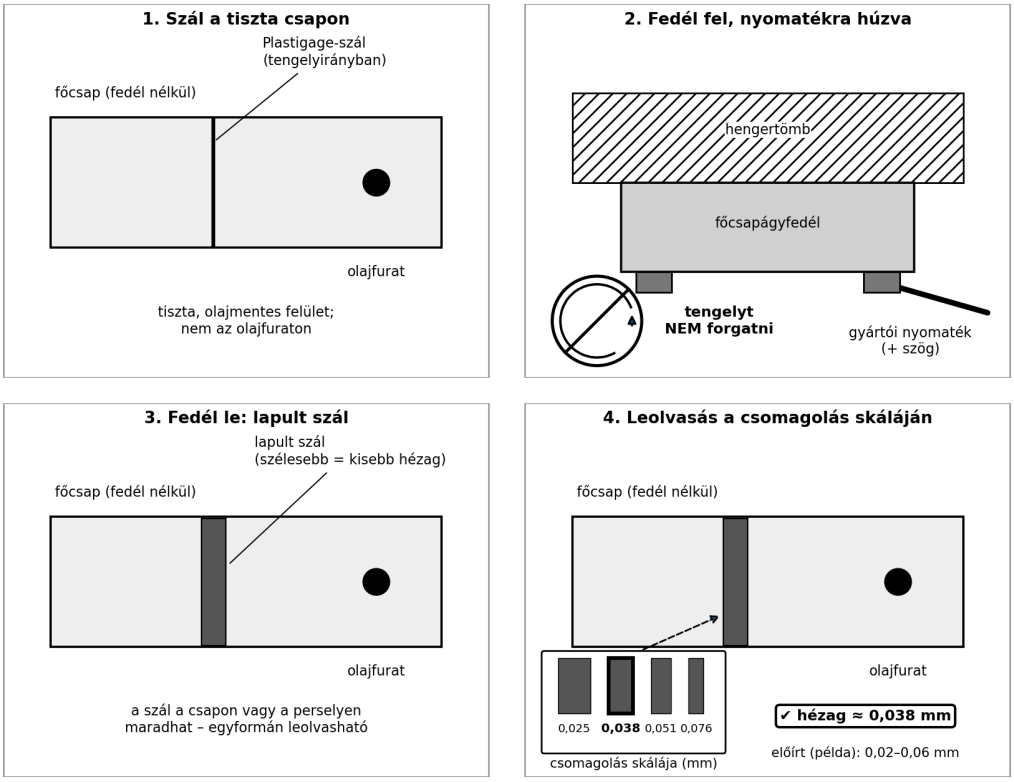
A hagyományos lendkerék acélból vagy öntöttvasból készülő tárcsa, külső peremén fogaskoszorúval az indítómotor számára. A tárcsa központi furatát a forgattyús tengely illesztéséhez igazítják; a lendkereket a forgattyús tengely peremére illesztő csapokkal vagy aszimmetrikus csavarkiosztással pontosan egy helyzetben rögzítik. A hagyományos lendkerék a motor nyomatékát egészben továbbítja a tengelykapcsolónak.

A **kettős tömegű lendkerék** két részből áll: a motoroldali elsődleges tömegből és a tengelykapcsoló oldali másodlagos tömegből. A két tömeg között ívrugók, csúszógyűrűk és szilikonzsír csillapítja a torziós lengéseket. Ez azért fontos, mert a mai négy- és háromhengeres motorok nyomatéklengései erősek, és a hagyományos merev lendkerékkel a váltó zörgést, a hajtás pedig rángatást okozhat. A DMF elnyeli az egyenetlenséget, így a váltó és a hajtáslánc nyugodtabban jár. A DMF rugóinak és csúszófelületeinek kopása azonban tipikus hibaforrás.

17.2.4.3. Fő- és hajtórúdcsapágyak, csapágyhézag

A fő- és hajtórúdcsapágyak siklócsapágyak. A csapágycsészék acél hátból, középső rétegből és lágy, jó beágyazódó képességű futórétegből épülnek fel. A futóréteg anyaga lehet például alumínium-ón, ólom-bronz vagy műgyanta bevonat; a pontos anyag típusonként eltér. A csapágyhézag a csapágy futófelülete és a csap közötti olajrés. A hidrodinamikus kenés itt is a Tengelyek és csapágyazások alfejezetben tanult elven működik: a forgó csap olajat húz a szűkülő résbe, és a kialakuló olajfilm elválasztja a felületeket.

A csapágyhézag gyári értéke tipikusan néhány század milliméter, például 0,02 … 0,06 mm. A kopással ez növekszik, csökken a hordozó olajfilm, és megindulhat a fémfémes érintkezés. Az axiális hézag a forgattyús tengely hosszirányú játéka, amelyet félgyűrűk vagy peremes csapágy határol; tipikus értéke például 0,05 … 0,25 mm (ellenőrizendő: gyártói adat).



17.7. ábra. A csapágyhézag mérése Plastigage-szállal négy lépésben (példaérték: 0,038 mm a 0,02–0,06 mm-es tartományban)

A képsor a 4. feladat munkalépéseit mutatja: a szál a tiszta csap hosszában fekszik (nem az olajfuraton); a fedelet gyártói nyomatékra húzzuk, közben a tengelyt nem szabad elfordítani, mert a szál elkenődne; a fedél levétele után a lapult szál szélességét a csomagolás skálájával vetjük össze – a szélesebb szál kisebb hézagot jelent.

17.2.4.4. Forgó és alternáló tömegerők, kiegyensúlyozás

A dugattyú és a dugattyúgyűrűk, a csapszeg és a hajtórúd felső része alternáló mozgást végez, tömegüket m_{alt} jelöli. A forgattyús tengely hajtórúdcsapját, a hajtórúd nagyfejét és a forgattyúkarok tömegét a forgó tömeghez m_{rot} soroljuk. A hajtórúd tömegfelosztása a kisfej és a nagyfej között típustól függően körülbelül egyharmad–kétharmad arányban történik (ellenőrizendő: konkrét hajtórúd esetén).

Szabály. Az ellensúlyok a forgó tömegerőt és az alternáló tömegerő egy részét egyensúlyozzák. Az ellensúly tömege és a tömegközéppont rádiusza szorzatának akkorának kell lennie, hogy a centrifugális erő a csapágyterhelést a kívánt szintre csökkentse.

Az alternáló erő elsőrendű összetevője $\cos\varphi$, másodrendű összetevője $\lambda\cos 2\varphi$ szerint változik. Az **egyhengeres motorban** az elsőrendű erőt kiegyensúlyozó tengellyel lehet részlegesen csökkenteni, a másodrendű erőre pedig általában nem alkalmaznak kompenzálást, csak a tömegerő csökkentésével mérséklik. A **négyhengeres soros motorban** a hajtórúdcsapok egymáshoz képest 180°-ra vannak, ezért az elsőrendű erők páronként kiejtik egymást, a másodrendű erők viszont fázisban összegződnek:

$$F_{\text{II},\Sigma} = 4\, m_{\text{alt}}\, r\, \omega^2\, \lambda\, \cos 2\varphi.$$

Ezt a másodrendű erőt két, egymással ellentétes irányban, a motor fordulatszámának kétszeresével forgó **kiegyensúlyozó tengely** csökkenti. A kiegyensúlyozó tengelyekben excenter tömegek vannak, amelyek centripetális erői a másodrendű erővel szemben hatnak.

Az ábra is mutatja, hogy a másodrendű erő (a $0{,}3 \cdot \cos 2\varphi$ görbe) kétszer gyorsabban leng; ezért a kiegyensúlyozó tengelyek fordulatszáma is kétszeres.

17.2.4.5. Tömegkiegyenlítés és rezgéscsillapítás

A forgattyús tengely csavarodó lengései rezonanciát okozhatnak. A kritikus fordulatszámot a tengely torziós merevsége és a hozzákapcsolt tehetetlen tömegek határozzák meg. A torziós lengéscsillapító a rezonancia közeli kilengéseket csökkenti. A legtöbb személyautóban a tengely elülső végére gumiba ágyazott tehetetlen tömegű tárcsát szerelnek; nagyobb motoroknál viszkózus, szilikonolajjal töltött ház használatos. A csillapító meghibásodása a tengely elöregedését és repedését okozhatja, ezért ellenőrzése a motor felújításakor elengedhetetlen.

17.2.5. Kidolgozott példák

17.2.5.1. 1. példa (A) – Forgó tömegerő számítása

Adott: $m_{\mathrm{rot}} = 0{,}7\,\mathrm{kg}$, $r = 0{,}045\,\mathrm{m}$, $n = 6000\,1/\mathrm{min}$. Keresett: a forgó tömegerő.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 6000}{60} \approx 628{,}3\,\mathrm{s}^{-1}$$

$$F_{\mathrm{rot}} = 0{,}7 \cdot 0{,}045 \cdot 628{,}3^2 \approx 12{,}4\,\mathrm{kN}.$$

Ellenőrzés: $0{,}7 \cdot 0{,}045 = 0{,}0315$, $628{,}3^2 \approx 394{,}8 \cdot 10^3$, a szorzat $12{,}4 \cdot 10^3\,\mathrm{N}$. Az erő nagysága nagy, de a csapágyfelület és az olajfilm ezt a terhelést elviseli. ∎

17.2.5.2. 2. példa (B) – Másodrendű erő négyhengeres motorban

Adott: $m_{\mathrm{alt}} = 0{,}45\,\mathrm{kg}$, $r = 0{,}045\,\mathrm{m}$, $\lambda = 0{,}30$, $n = 4000\,1/\mathrm{min}$. Keresett: a négyhengeres motor másodrendű tömegerőjének csúcsa.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 4000}{60} \approx 418{,}9\,\mathrm{s}^{-1}.$$

Egy henger másodrendű erőcsúcsa:

$$F_{\mathrm{II,max,1}} = m_{\mathrm{alt}}\, r\, \omega^2\, \lambda = 0{,}45 \cdot 0{,}045 \cdot 418{,}9^2 \cdot 0{,}30 \approx 1{,}07\,\mathrm{kN}.$$

Négy henger fázisban adódik, így:

$$F_{\mathrm{II},\Sigma} = 4 \cdot 1{,}07 \approx 4{,}3\,\mathrm{kN}.$$

A kiegyensúlyozó tengelyek ezt az erőt hivatottak csökkenteni. ∎

17.2.6. Minőségellenőrzés

A javításhoz a gyártói adat és a mérési eljárás a mérvadó. A jellemző ellenőrzések:

1. **Szemrevételezés**: a forgattyús tengelyen repedés, befogódás, elszíneződés, a csapokon kopásnyom, a lendkerék fogaskoszorúján fogtörés.
2. **Fő- és hajtórúdcsap átmérője**: mikrométerrel több ponton, ovalitás és kúposság meghatározása. A gyártó kopási határt ad meg; példaérték 0,005 ... 0,010 mm (ellenőrizendő).
3. **Csapágyhézag**: beépítéskor a gyártó által előírt hézagot kell elérni. A hagyományos, olcsó ellenőrzés a Plastigage műanyag szál, amelyet a csap és a csapágy közé helyeznek, a csapágycsavart előírt nyomatékkal meghúzzák, majd a szétszedés után a deformált szál szélességéből határozzák meg a hézagot. Példaérték: 0,020 ... 0,060 mm.
4. **Axiális hézag**: mérőóra a tengelyvégre, a tengelyt ellentétes irányba nyomva. Példaérték: 0,05 ... 0,25 mm.
5. **Lendkerék/DMF**: a DMF-nél mérik a két tömeg közötti szögelfordulást és a rugóerőt; a megfelelő csavarozást új csavarokkal, előírt nyomaték-szög módszerrel kell végrehajtani. Példa: 60 Nm + 90° (ellenőrizendő: gyártói adat).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

17.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy dízel személyautó tulajdonosa arról panaszkodik, hogy alapjáraton a motor hangja mellett fémes ketyegés hallatszik, amely a tengelykapcsoló benyomásakor eltűnik, és elengedéskor visszatér. Induláskor enyhe rángatás jelentkezik. A szerelő a motortérben végzett szemrevételezés után a kettős tömegű lendkerékre gyanakszik. A diagnosztikai lépés a DMF gyártói mérési eljárása: a két tömeg közötti szögelfordulást mérőcélszerszámmal ellenőrzi, és a rugóterelő játékát vizsgálja. A mért elfordulás meghaladja a gyártói kopási határt (például 40° felett; ellenőrizendő). A hajtott tárcsa és a kuplung borítása is a kopás jeleit mutatja. A javítás: a tengelykapcsoló készlet és a DMF cseréje, új csavarokkal, előírt nyomatékszög-módszerrel. A próbaút után a ketyegés megszűnik. Tanulság: ha a DMF kopott, a tengelykapcsoló cseréje önmagában nem oldja meg a problémát, és a csavarokat tilos újra felhasználni.

17.2.8. Tipikus hibák

- **Hibás csapágyhézag mérése**: a szerelő a csapágycsavart nem a gyártói nyomatékkal húzza meg a Plastigage-mérés előtt, így téves hézagértéket kap.
- **Alulméretezett csapágy beépítése**: a forgattyús tengely átmérőjét nem ellenőrzi, hanem feltételezi, hogy „csak csapágyas” a kopás; a túl szoros vagy túl tág csapágy hamar tönkremegy.
- **DMF csavarok újrahasználata**: a nyúlásig húzott csavarok visszaszerelése töréshez vezethet; minden gyártó előírja a cserét.
- **Axiális hézag elhanyagolása**: a tengelykapcsoló kinyomásakor axiális erő hat a tengelyre; a túl nagy axiális játék a tengely, a csapágyak és a lendkerék károsodását okozza.
- **Az ellensúlyok figyelmen kívül hagyása**: a kiegyensúlyozatlan vagy hibásan szerelt lendkerék, a tömegcsoportok cseréje a gyártói tömegtűrés ellenőrzése nélkül káros rezgést és repedést okoz a forgattyús tengelyben.

17.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a lendkerék a forgattyús tengely tehetetlenségi nyomatékát növeli, és a lökésszerű nyomatékot kisimítja? Indokold röviden!
2. Mi a különbség a forgó és az alternáló tömegerő között? Sorold fel a forgó és az alternáló tömeghez tartozó fő alkatrészeket!
3. Miért van szükség négyhengeres soros motornál kiegyensúlyozó tengelyre? Melyik rendű erőt egyenlíti ki, és milyen fordulatszámmal forog?
4. Milyen eszközzel és milyen lépésekkel ellenőrzöd a főcsapágyhézagot a forgattyús tengely kiszerelése nélkül (részleges bontással)?
5. Számítsd ki a forgó tömegerőt, ha $m_{\mathrm{rot}} = 0{,}6\,\mathrm{kg}$, $r = 0{,}05\,\mathrm{m}$, $n = 3000\,1/\mathrm{min}$!

17.2.10. Feladatok

17.2.10.1. 1. feladat (A)

Sorold fel a forgattyús tengely részeit, és írd le, mi a lendkerék feladata! Milyen anyagokból készülhet a forgattyús tengely?

17.2.10.2. 2. feladat (A)

Egy egyhengeres motor forgattyúsugara $r = 0{,}04\,\mathrm{m}$, a szögsebesség $\omega = 377\,\mathrm{s}^{-1}$. A forgó tömeg $m_{\mathrm{rot}} = 0{,}8\,\mathrm{kg}$. Mekkora a forgó tömegerő? Miért nem függ a forgó tömegerő nagysága a forgattyúszögtől?

17.2.10.3. 3. feladat (B)

Rajzold le szövegesen a négyhengeres soros motor hajtórúdcsapjainak egymáshoz viszonyított szöghelyzetét, és magyarázd el, miért ejtik ki egymást az elsőrendű erők, miközben a másodrendű erők összegződnek!

17.2.10.4. 4. feladat (B)

Írj számozott munkalépéssort a főcsapágyhézag Plastigage-os ellenőrzésére a forgattyús tengely kiszerelése nélkül (az olajteknő és a csapágyfedél leszerelésével)! Milyen adatot jelölsz az ellenőrző munkalapon?

17.2.10.5. 5. feladat (C)

Egy négyhengeres soros motor adatai: $m_{\mathrm{alt}} = 0{,}5\,\mathrm{kg}$, $r = 0{,}042\,\mathrm{m}$, $\lambda = 0{,}28$, $n = 5000\,1/\mathrm{min}$. Számold ki az egy hengerre jutó másodrendű tömegerő csúcsértékét, majd az összegzett négyhengeres erőt! Hasonlítsd össze a forgó tömegerővel, ha $m_{\mathrm{rot}} = 0{,}9\,\mathrm{kg}$ ugyanazon a tengelyen.

17.2.10.6. 6. feladat (D)

Ügyfélpanasz: alapjáraton ketyegő hang, a tengelykapcsoló benyomásakor megszűnik. Sorold fel a lehetséges okokat és a megerősítő méréseket, majd javasolj javítást! Milyen biztonsági és gyártói előírásokat tartasz be?

17.2.11. Megoldások

17.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A lendkerék nagy tehetetlenségi nyomatéka a munkavégző ütemben elnyeli az energiát, a többi ütemben visszaadja, így a szögsebesség ingadozása kisebb.
2. A **forgó tömegerő** azokból a részekből származik, amelyek körmozgást végeznek: a hajtórúdcsap, a hajtórúd nagyfeje, a forgattyúkar. Az **alternáló tömegerő** a dugattyú, a gyűrűk, a csapszeg és a hajtórúd kisfejének váltakozó mozgásából adódik.
3. A négyhengeres soros motornál az elsőrendű erők kiegyenlítik egymást, a másodrendű erők fázisban összegződnek, ezért két, egymással ellentétes irányban, a motor kétszeres fordulatszámán forgó kiegyensúlyozó tengelyt alkalmaznak.
4. A főcsapágyházagot részleges bontással (olajteknő és csapágyfedél leszerelése) úgy mérik, hogy a csapágyfedél eltávolítása és a csap olajmentesre tisztítása után a csap és a csapágy futófelülete közé Plastigage szálat helyeznek, a fedelet a gyártói nyomatékkal visszaszerelik (a tengelyt ilyenkor elforgatni tilos, mert a szál elkenődik), majd újbóli szétszerelés után a szál deformációjából határozzák meg a hézagot milliméterben.
5. $\omega = 2\pi \cdot 3000/60 = 314{,}2\,\mathrm{s}^{-1}$. $F_{\mathrm{rot}} = 0{,}6 \cdot 0{,}05 \cdot 314{,}2^2 \approx 2{,}96\,\mathrm{kN}$.

17.2.11.2. Feladatok megoldása

1. A forgattyús tengely részei: főcsapok, hajtórúdcsapok, forgattyúkarok, ellensúlyok, olajfuratok, valamint a vezérmű- és lendkerékoldali vég. A lendkerék a forgattyús tengely nyomatéklengéseit simítja, tárolja a munkavégző ütem energiáját, és átadja a nyomatékot a tengelykapcsolónak. Anyagok: nemesített acél, gömbgrafitos öntöttvas, nagy terhelésnél nitridált vagy edzett acél.

2. $\omega = 377\,\mathrm{s}^{-1}$, $F_{\mathrm{rot}} = 0{,}8 \cdot 0{,}04 \cdot 377^2 \approx 4{,}55\,\mathrm{kN}$. Az erő a tengely forgási síkjában, a forgattyúscsaptól kifelé hat. Nagysága nem függ a forgattyúszögtől, mert a forgó tömeg állandó sugáron, állandó szögsebességgel kering: csak az iránya fordul együtt a forgattyúval (az alternáló erővel ellentétben, amely $\cos\varphi$ szerint változik).

3. A négyhengeres soros motorban a hajtórúdcsapok páronként 180°-ra vannak. Az elsőrendű erő $m_{\mathrm{alt}} r\omega^2 \cos\varphi$. Amikor az egyik henger φ-nél van, a vele szemben lévő henger $\varphi + 180°$-nál, így $\cos(\varphi + 180°) = -\cos\varphi$, a két erő összege nulla. A másodrendű erő $m_{\mathrm{alt}} r\omega^2 \lambda \cos 2\varphi$. A 180°-os eltolás $2 \cdot 180° = 360°$, tehát a másodrendű erők azonos fázisban összegződnek, ezért szükséges a kiegyensúlyozó tengely.

4. Munkalépések: 0) az olajteknő leszerelése (a gyártói eljárás szerint); 1) a főcsapágyfedél csavarjainak jelölése, eltávolítása; 2) a csap és a csapágycsésze olajmentesre tisztítása, majd a megfelelő hosszúságú Plastigage szál elhelyezése a csapra; 3) a fedél visszaszerelése, a csavarokat a gyártói nyomatékra húzni (pl. 50 Nm, ellenőrizendő) – a fedél meghúzása után a tengelyt elforgatni tilos, mert a szál elkenődik; beépített motornál a tengelyt alulról meg kell támasztani (ellenőrizendő: gyártói eljárás); 4) a fedél ismételt eltávolítása; 5) a deformált szál szélességének összehasonlítása a skálával; 6) az eredmény rögzítése a munkalapon (csap helye, mért hézag, előírt tartomány, megjegyzés); 7) a szálmaradvány eltávolítása, a csésze és a csap olajozása, végleges szerelés.

5. $\omega = 2\pi \cdot 5000/60 \approx 523{,}6\,\mathrm{s}^{-1}$. Egy henger másodrendű csúcsa:

$$0{,}5 \cdot 0{,}042 \cdot 523{,}6^2 \cdot 0{,}28 \approx 0{,}5 \cdot 0{,}042 \cdot 274{,}2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}28 \approx 1{,}61\,\mathrm{kN}.$$

Négy henger esetén:

$$4 \cdot 1{,}61 \approx 6{,}44\,\text{kN}.$$

A forgó tömegerő:

$$0{,}9 \cdot 0{,}042 \cdot 523{,}6^2 \approx 10{,}4\,\text{kN}.$$

A forgó erő nagyobb, de a másodrendű erőt ki kell egyensúlyozni, mert a felfüggesztésre és a karosszériára rezgésként hat.

6. Lehetséges okok: kettős tömegű lendkerék kopott, a tengelykapcsoló kinyomócsapágy, a hajtórúd- vagy főcsapágy kopása, a lendkerék csavarjai lazák. Megerősítő mérések: szemrevételezés, hallgatózós behatárolás, DMF szögelfordulás mérése, a csapágyhézag és az axiális hézag ellenőrzése, a tengelykapcsoló működtetése közben a zaj változása. A javítás: DMF és tengelykapcsoló készlet cseréje új csavarokkal, gyártói nyomaték-szög módszerrel; a csapágyak ellenőrzése. Be kell tartani a gyártói javítási utasítást, a biztonsági előírásokat, és minden meghúzási nyomatékot, kopási határt ellenőrizni kell.

17.2.12. Rövid összefoglaló

A forgattyús tengely a dugattyúk váltakozó mozgását forgó mozgássá alakítja. Részei a fő- és hajtórúdcsapok, a forgattyúkarok, az ellensúlyok és az olajfuratok. A torziós lengéscsillapító a csavarólengéseket mérsékli. A lendkerék a nyomatéklengéseket simítja; a kettős tömegű lendkerék rugókkal elszigeteli a hajtásláncot. A fő- és hajtórúdcsapágyak siklócsapágyak, a csapágyhézagot gyártói előírással, például Plastigage méréssel kell ellenőrizni. A forgó tömegerő $m_{\text{rot}} r\omega^2$, az alternáló tömegerő elsőrendű $\cos\varphi$, másodrendű $\lambda \cos 2\varphi$ szerint változik. A négyhengeres soros motorban az elsőrendű erők kiejtik egymást, a másodrendű erők összegződnek, ezért kiegyensúlyozó tengelyekre van szükség. **Továbbvitt eredmény:** a tömegerők és a kiegyensúlyozás elvét használjuk a Hengertömb, hengerfej, hengerfejtömítés, égéstér, szívó- és kipufogórendszer alfejezetben a motortartó és bordázat igénybevételénél, a Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus alfejezetben a DMF működésénél, valamint a(z) A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése alfejezetben a csapágy- és lendkerék-ellenőrzés során.

17.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

Elsődleges forrás: gyártói javítási utasítás és adattáblázatok. A csapágyhézag, az axiális hézag, a tömegtűrések, a csavarok meghúzási nyomatéka és a DMF mérési határértékei járműtípusonként változnak, ezért a megadott értékek tanulási példák. A hajtórúd tömegfelosztás pontos aránya és a torziós lengéscsillapító típusa a gyártói konstrukciótól függ. A forgattyús tengely anyagminősége és hőkezelése a gyártói specifikációban szerepel. Az említett meghúzási nyomatékok és kopási határok minden esetben ellenőrizendők: gyártói adat.

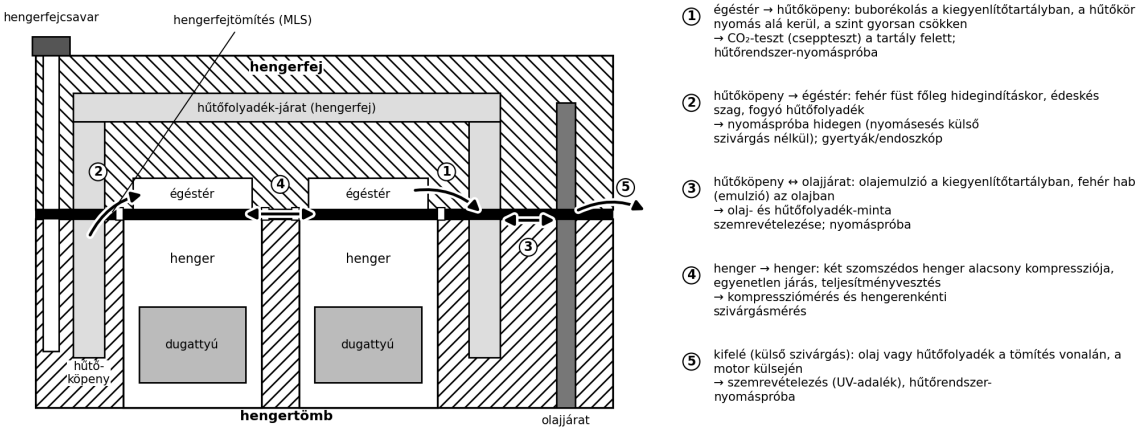
17.3. Hengertömb, hengerfej, hengerfejtömítés, égéstér, szívó- és kipufogórendszer

17.3.1. Motiváció

A dízel és Otto-motorok leggyakoribb nagyfelújítást igénylő hibái között a hengerfejtömítés meghibásodása, a hengerfej repedése vagy vetemedése, valamint a hengerpersely kopása található. A műhelyben tipikus ügyfélpanasz: „fogy a hűtővíz, fehér a füst hidegen indításkor, és az olaj kupakján világos hab van.” Ilyenkor először a hengerfejtömítést és a hengerfej állapotát kell ellenőrizni, mielőtt a motor szétszedéséről döntenénk. Ez az alfejezet a hengertömb, a hengerperselyek, a hengerfej, a hengerfejtömítés, az égéstér, valamint a szívó- és kipufogórendszer felépítését, anyagait, igénybevételeit és jellemző hibáit tanítja meg.

17.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy négyhengeres soros motor keresztmetszetét. A legalul lévő, masszív öntvény a **hengertömb**, benne négy függőleges furattal: a hengerekkel vagy hengerperselyekkel. A hengerek körül vízteres csatornák futnak: ez a hűtőköpeny. A hengertömb felső síkjára fekszik a **hengerfejtömítés**, erre pedig a **hengerfej** csavaros kötése illeszkedik. A hengerfejben vannak a szívó- és kipufogócsatornák, a szelepülések, a gyújtógyertya- vagy injektorhelyek, valamint az égéstér bemélyedései. A dugattyú felső pontján a dugattyú, a hengerfal és a hengerfej zárja körül az égőteret. Az alábbi metszet két szomszédos hengert mutat a tömítéssel együtt.



17.8. ábra. Hengerfejtömítés: tömítési helyek és jellegzetes szivárgási utak (① égéstér → hűtőköpeny, ② hűtőköpeny → égéstér, ③ hűtőköpeny ↔ olajjárat, ④ henger → henger, ⑤ kifelé)

A metszeten látszik, hogy a hengerfej és a hengertömb között fekvő tömítés egyszerre zárja le az égésteret (tűzgyűrű a furat körül), a hűtőfolyadék-járatokat, az olajjáratot és a külső levegőt. Ahol a tömítés egy szakasza átég vagy elválik, ott a két szomszédos tér között nyílik szivárgási út; a számozott utakhoz tartozó tüneteket a lenti tünetlista és az ábra táblázata párosítja.

17.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **hengertömb** (cylinder block) a motor fő teherviselő szerkezeti eleme, amely hordozza a hengereket (vagy hengerperselyeket), a forgattyús tengely csapágyazását, a hűtőköpenyt, az olajjáratokat és a motor segédberendezéseinek rögzítési pontjait.

Definíció. A **hengerpersely** (cylinder liner) a hengertömbbe illesztett, kopásnak és égéstérnyomásnak kitett cső, amely lehet száraz vagy nedves kialakítású. A **száraz persely** a hengertömb furatába sajtolt, nem érintkezik közvetlenül a hűtőfolyadékkal; a **nedves persely** közvetlenül a hűtőfolyadékkal érintkezik, felül peremmel, alul tömítőgyűrűvel illeszkedik.

Definíció. A **hengerfej** (cylinder head) a hengertömböt felül lezáró, a szelepeket, a szelepvezetőket, a vezérlő csatornákat és a gyújtó/égéstér elemeket hordozó szerkezet, amely az égéstér egyik falát alkotja.

Definíció. A **hengerfejtömítés** (cylinder head gasket) a hengertömb és a hengerfej közötti, többfunkciós tömítő elem, amely szétválasztja az égéskamrát, a hűtőfolyadékjáratokat, az olajjáratokat és a külső levegőt egymástól és a környezettől.

Definíció. Az **égéstér** (combustion chamber) a dugattyú felső holtpontjánál létrejövő, a dugattyútető, a hengerfal, a hengerfej alsó síkja és a hengerfejben kialakított bemélyedés által határolt tér, ahol a tüzelőanyag-levegő keverék égése lezajlik.

17.3.4. Felépítés és működés

17.3.4.1. Hengertömb és hengerperselyek

A hengertömb hagyományosan öntöttvasból készül, mert jó csillapítóképességgel, kopásállósággal és hőállósággal rendelkezik. A könnyebb járműépítés érdekében elterjedtek az alumínium hengertömbök is, ilyenkor a hengerfuratokba rendszerint öntöttvas vagy bevonatos alumínium perselyeket illesztenek, mert az alumínium önmagában nem lenne elég kopásálló a dugattyúgyűrűk számára. A hengertömb alsó része a **forgattyúház** (crankcase), amely a forgattyús tengely csapágyazási helyeit és az olajteret hordozza. A forgattyúház szellőztetése a forgattyúházban keletkező égésgáz- és olajgőz-keveréket vezeti vissza a szívócsőbe, megelőzve a túlnyomást és az olaj elfolyását a tömítéseken.

A **száraz persely** a hengertömb furatába sajtolt vékonyfalú cső. A **nedves persely** külső felületén bordázott vagy sima, közvetlenül a hűtőfolyadékban fürdik. A nedves persely előnye a jó hőelvezetés és a cserélhetőség, hátránya a tömítéseken át esetleg beszivárgó hűtőfolyadék. A persely anyaga többnyire öntöttvas vagy acél, felülete különlegesen csiszolt, esetenként hónolt keresztfelülettel, hogy a kenőolaj megtapadjon rajta.

Megjegyzés. A korszerű motorokon gyakran bevonatos (pl. nikasil vagy hasonló) bevonatú hengerfalakat használnak, ilyenkor nincs külön persely.

17.3.4.2. Hengerfej

A hengerfej anyaga leggyakrabban alumíniumötvözet a jó hővezetés miatt, de nagyobb hőterhelésű dízelmotoroknál öntöttvas vagy hőálló acél is előfordul. A hengerfej alsó felülete pontosan síkra munkált, mert itt tömít a hengerfejtömítés. A hengerfejben futnak a szívó- és kipufogócsatornák, a hűtőfolyadékjáratok, az olajellátó furatok a vezérmű, a hidraulikus szelepemelők és a kipufogószelepek hűtésére. A hengerfejben találhatók a szelepülések, a szelepvezetők, a gyújtógyertya vagy injektor helyei, továbbá a hengerfejcsavarok menetes furatai.

A hengerfej égéstér-kialakítása jelentősen befolyásolja az égés minőségét. Otto-motornál az égéstér rendszerint a hengerfejben kialakított bemélyedés, amely a szívó- és kipufogószelepet foglalja magában; dízelmotornál gyakran a dugattyúban lévő égéstér a mértékadó (ld. A dízelmotor működése és keverékképzése). Az égéstér alakjától függ a kompresszió, a lángfront terjedése és a kopogásra való hajlam.

17.3.4.3. Hengerfejcsavarok és nyúlócsavar

A hengerfejet csavarok rögzítik a hengertömbhöz, méghozzá előírt meghúzási sorrendben és nyomatékkal. A korszerű motorokon **nyúlócsavarok** (stretch bolts) kerülnek alkalmazásra, amelyek a meghúzás során a rugalmas szakaszukon túl, a folyáshatár közelébe kerülnek, így állandó szorítóerőt biztosítanak a tömítés számára. A nyúlócsavart a szögben kifejezett meghúzási eljárás után **egyszer szabad csak használni**, újabb ciklusban cserélni kell, mert a képlékeny alakváltozás miatt nem adná a megfelelő előfeszítést.

Előírás. A hengerfejcsavarok meghúzási nyomatékát, meghúzási sorrendjét és a nyúlócsavarok szöghúzásának mértékét mindig a gyártói javítási utasítás adja meg. A könyvben szereplő értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

A hengerfejcsavarok meghúzása jellemzően három lépésben történik: előnyomaték, közepes nyomaték, majd szöghúzás (pl. 90° + 90°). A szöghúzás mérése szögmérő vagy a csavarfejen jelölt referenciavonalak segítségével történik.

17.3.4.4. Hengerfejtömítés

A hengerfejtömítésnek a következő feladatai vannak: - az égéskamra gáztömör lezárása a legnagyobb égési nyomásnál (120–200 bar dízel, 40–80 bar Otto esetén – ellenőrizendő); - a hűtőfolyadék és a hengertér elválasztása; - az olajjáratok, a vízjáratok és a külső levegő egymástól való elválasztása; - a hőátadás és a nyomáseloszlás egyenletessé tétele a hengerfej és a tömb között.

A tömítések anyaga hagyományosan lágyacél mag, grafit- vagy gumibevonat, tömítőperemek; a modern, nagy terhelésű motorokhoz többrétegű acél (MLS – multi layer steel) tömítéseket használnak, amelyek rugalmasan követik a hengerfej és a tömb mikroszkopikus elmozdulásait.

A hengerfejtömítés hibáinak jellemző tünetei: - **olaj a hűtőfolyadékban** (③ út): olajemulzió a kiegyenlítő tartályban, fehér hab az olajban; - **kipufogógáz a hűtőben** (① út): a hűtőben folyamatos buborékolás, a hűtőkör nyomás alá kerül, a szint gyorsan csökken; - **hűtőfolyadék az égéstérbe jut** (② út): fehér füst, különösen hidegen indításkor, jellegzetes édeskés szag; - **hengerközi tömítetlenség** (④ út): két henger között a kompresszió átszivárog, teljesítményvesztés, egyenetlen járás, esetleg visszacsapás a szívócsőbe; - **többhengeres motoron hideg indítási nehézség** a kompresszió- és a hűtőfolyadék-veszteség miatt.

A tömítés hibáján kívül hasonló tüneteket okozhat a hengerfej repedése, a hengerblokk vetemedése vagy a hűtőrendszer túlnyomása.

17.3.4.5. Szívó- és kipufogórendszer

A **szívócső** (intake manifold) a szívólevegő elosztását végzi a hengerek felé. Anyaga műanyag, alumínium vagy öntöttvas. A szívócső hossza és keresztmetszete befolyásolja a töltési fokot a gázlengések (pulzáció) révén. A **változtatható hosszúságú szívócső** (variable intake manifold) egy belső pillangószeleppel vagy eltolható elemmel két különböző hosszúságú út közül választ: alacsony fordulaton hosszabb, nagyobb nyomatékot adó rezonanciacső, magas fordulaton rövidebb,

jobb töltési fokú cső aktív. Ennek működtetése az ECU vagy a fordulatszám-függő pneumatikus szelep feladata.

A **kipufogócső** (exhaust manifold) a hengerekből kiáramló forró égésgázt gyűjti össze és vezeti a turbófeltöltőhöz vagy a kipufogórendszer további részéhez. Anyaga öntöttvas, acéllemez vagy rozsdamentes acél; a magas hőmérséklet (jellemzően 400–900 °C a motor üzemállapotától függően – ellenőrizendő) miatt hőtágulást kompenzáló megoldások szükségesek.

A kipufogórendszer felépítése a motortól hátrafelé: - **leömlőcső** (downpipe), benne esetleges hajlékony csőelem (flexibilis tag); - **károsanyag-átalakító** (katalizátor) Otto-motornál; dízelnél részecskeszűrő (DPF) és SCR-rendszer (részletesen ld. Dízel-utókezelés); - **közbenső hangtompító** (rezonátor) és **végdob**; - csatlakozó elemek, felfüggesztő gumibakok, hővédő lemezek.

A hangtompítók feladata a kipufogógáz áramlásának csillapítása, a zaj csökkentése. A rezonátor a pulzáló gázáramot simítja, a végdob a zajenergia egy részét abszorbeálja vagy reflexióval kioltja. A kipufogórendszer ellennyomása befolyásolja a motor töltését és a fogyasztást; a túl nagy ellennyomás teljesítményvesztést, a túl kicsi (pl. kilyukadt dob) zajt és utóégetési problémákat okozhat.

17.3.5. Kidolgozott példák

17.3.5.1. 1. Számítási példa: hengerfejcsavar szöghúzása

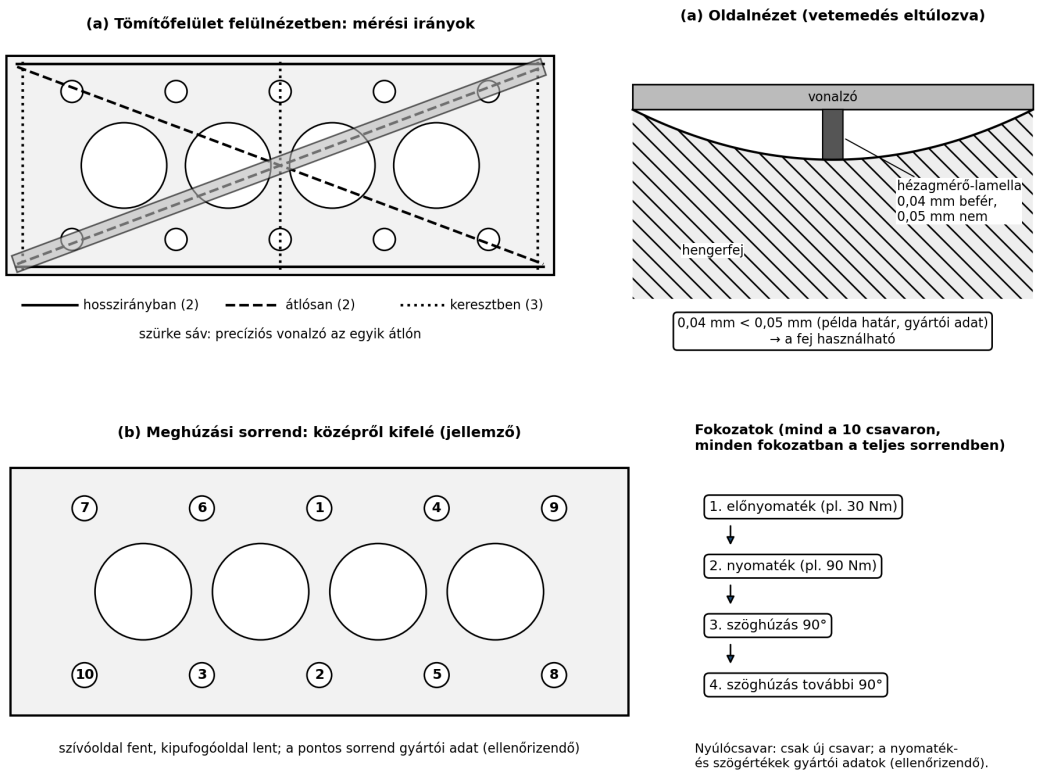
Számítás. A hengerfejcsavar meghúzásakor a csavar rugalmas szakaszán a megnyúlás arányos a szögelfordulással. Ha a csavar menetemelkedése $P = 1{,}5\,\mathrm{mm}$, akkor egy teljes fordulat (360°) alatt a csavar 1,5 mm-t nyúlik meg (a tömítés és az alkatrészek rugalmasságát most egyszerűen figyelmen kívül hagyva). Egy 90°-os szöghúzás alatt a megnyúlás mértéke:

$$\Delta l = \frac{90}{360} \cdot 1{,}5\,\mathrm{mm} = 0{,}375\,\mathrm{mm}.$$

A valóságban a tényleges csavarnyúlást a csavar rugalmas megnyúlása és a szerkezeti elemek rugalmassága együtt határozza meg, ezért a szögértéket a gyártó mérések alapján adja meg. Például egy tipikus nyúlócsavar szöghúzása $90^\circ + 90^\circ$ (ellenőrizendő: gyártói adat). A második 90° további 0,375 mm-t tesz hozzá. Ez a példa bemutatja, hogy miért nem elég a nyomatékra hagyatkozni: a nyúlás mértéke pontosabban szabályozható a szögelfordulással, mint a nyomatékkal.

17.3.5.2. 2. Számítási példa: hengerfej síkságellenőrzése

Számítás. A hengerfej síkságát hosszirányban és átlósan is mérjük egy precíziós vonalzóval és hézagmérővel. Tegyük fel, hogy a gyártói megengedett eltérés 0,05 mm a teljes hosszon (ellenőrizendő). A mérések szerint a hengerfej közepén a hézagmérő 0,04 mm-es lemeze éppen befért, de a 0,05 mm-es már nem. Ez azt jelenti, hogy a síkság $0{,}04\,\mathrm{mm} < 0{,}05\,\mathrm{mm}$, tehát a hengerfej még használható. Ha az eltérés meghaladná a határt, a fejet síkba kell köszörültetni, ami csökkenti a kompressziótérfogatot, és befolyásolja a sűrítési arányt.



17.9. ábra. Hengerfej síkságellenőrzése vonalzóval és hézagmérővel (a), a hengerfejcsavarok jellemző, középről kifelé haladó meghúzási sorrendje és fokozatai (b) – a sorrend és az értékek gyártói adatok

Az (a) rész a mérési irányokat mutatja: két hosszirányú, két átlós és három keresztirányú vonal mentén fektetjük fel a vonalzót, és a legnagyobb befért lamellát jegyezzük fel (itt 0,04 mm a 0,05 mm-es példahatár alatt). A (b) rész egy négyhengeres fej tíz csavarját számozza a jellemző, középről kifelé haladó sorrendben; minden fokozatot (előnyomaték, nyomaték, szöghúzások) mind a tíz csavaron végig kell vinni, mielőtt a következőre lépünk.

17.3.6. Minőségellenőrzés

A hengertömbre és hengerfejre vonatkozó ellenőrzések:

1. **Hengerfurat-kopás mérése:** furatmérővel vagy belső tolómérővel több szinten (felül, középen, alul) és hosszirányban/keresztirányban. A megengedett kopáshatár pl. 0,02–0,05 mm a névleges átmérőhöz képest (ellenőrizendő: gyártói adat). A henger ovális vagy kúpos kopása esetén fúrás, hónolás vagy perselyezés szükséges.
2. **Hengerfej síkság:** precíziós vonalzó + hézagmérő, keresztirányban, hosszirányban és átlósan. A gyártói határ jellemzően 0,02–0,05 mm (ellenőrizendő).
3. **Repedésvizsgálat:** hengerfejnél és hengertömbnél festékdiffúziós eljárással, mágneses repedésvizsgálattal (öntöttvas esetén) vagy nyomáspróbával. A repedések gyakori helyei: szelepülések között, gyújtógyertya/injektor furat körül, hűtőköpeny falában.
4. **Hengerfejtömítés ellenőrzése:** a régi tömítést mindig cserélni kell a hengerfej lefejtésekor. Az új tömítést beépítés előtt ellenőrizni kell a megfelelő illeszkedés, a tömítőperem sértetlensége és a furatok pontos egyezése szempontjából.

5. **Hengerfejcsavarok:** a nyúlócsavarok hosszát vagy átmérőjét mérni kell; ha a nyúlás, a korrózió vagy a sérülés gyanús, újat kell használni. A csavarmeneteket tisztítani, a furatokat olajmentesíteni kell.

A hengerfejtömítés hibájának megállapítására szolgáló gyakorlati ellenőrzőlista:

- Hűtőfolyadék szintjének, színének és szennyezettségének ellenőrzése (olajfilm?).
- Motorolaj szintjének és színének ellenőrzése (tejeskávé emulzió?).
- Hideg indítás után fehér füst megfigyelése: tényleg gőz, vagy hűtőfolyadék?
- Hűtőrendszer nyomáspróbája **hideg motornál**: a kiegyenlítőtartály sapkáját csak lehűlt motornál, ronggyal, fokozatosan nyisd ki (forró, nyomás alatti hűtőfolyadék: leforrázás veszélye!); a nyomáspróbáló pumpát a gyártói vizsgálati nyomásra (ellenőrizendő: gyártói adat; a sapka nyitónyomását nem meghaladva) töltve figyeld a nyomásesést és a szivárgást; védőszemüveg és kesztyű viselendő. A buborékképződést járó motornál a gyártói eljárás szerint, zárt rendszeren (pl. CO_2-teszterrel) vizsgáld.
- Hengernyomás-mérés: minden hengert mérjenek meg, a szomszédos hengereknél jelentős eltérés tömítetlenségre utalhat.
- Kipufogógáz-analizátorral a hűtőfolyadék feletti gáztérben szén-dioxid/szénhidrogén kimutatása (a CO_2 jelenléte égésgáz-szivárgásra utal).
- Motorolaj- és hűtőfolyadék-minta laboratóriumi vizsgálata (opcionális).

17.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy használt, négyhengeres benzines autót hoznak a szervizbe azzal, hogy a hűtővíz folyamatosan fogy, a kiegyenlítő tartályban olajos hab jelenik meg, és hidegen indításkor hosszú ideig fehér füst jön a kipufogóból. A tulajdonos szerint a motor néha nem is veszi fel az erejét. A diagnosztika lépései a következők voltak:

1. **Szemrevételezés.** A motortérben a hűtőrendszer csövei feszesek, a kiegyenlítő tartály oldala olajos, a hűtőfolyadék zavaros, világosbarna emulzió. Az olajszint magasabb, mint a maximális jel, és a kupak alatt fehér hab látható.
2. **Hűtőrendszer nyomáspróba.** A hideg motornál a hűtőtartályt kézi nyomáspróbával 1,0 bar nyomásra töltve, a nyomás folyamatosan csökken, és az olajszint lassan emelkedik. Ez a hűtőfolyadék égéstérbe vagy olajtérbe szivárgását jelzi.
3. **Hengernyomás-mérés.** A hengerenkénti kompresszió (üzemi hőmérsékletű motorral) a következő (példaértékek: 12,5 bar névleges, ellenőrizendő): 1. henger: 12,0 bar; 2. henger: 11,9 bar; 3. henger: 9,6 bar; 4. henger: 7,4 bar. A 4. hengernél jelentős, a 3. hengernél kisebb kompresszióesés; a két szomszédos henger együttes esése hengerközi tömítetlenségre utal, a hűtőfolyadék-veszteség és az olajba jutó hűtőfolyadék pedig a tömítés vízjárat felőli átégését is jelzi.
4. **CO_2-teszt a hűtőfolyadék feletti légtérben.** A folyadék feletti gáztérben elszívott levegőben a CO_2-mérő emelkedést mutat, ami égésgáz jelenlétére utal a hűtőkörben.
5. **Döntés.** A motor szétszerelése után a hengerfejtömítés a 3. és 4. henger között egyértelműen átégett, a hengerfej ezen a környéken enyhén vetemedett. A hengerfejet síkköszörülték (a gyártó által engedélyezett mélységig), új tömítést és új nyúlócsavarokat szereltek be.
6. **Javítás utáni ellenőrzés.** Légtelenített hűtőrendszer, olajcsere, hűtőfolyadékcsere, próbaút, majd hideg indítás: nincs fehér füst, a hűtőfolyadék szintje stabil, az olaj nem szennyeződik vissza.

Tanulság. A hengerfejtömítés hibája többszörös tünetet adhat, mert a gáz, a hűtőfolyadék és az olaj keveredhet. A diagnosztikában a hűtőrendszer nyomáspróbája és a hengernyomás-mérés a leghasznosabb, de a CO_2-teszt megerősíti a gázszivárgást.

17.3.8. Tipikus hibák

1. **A hengerfejcsavarok meghúzási sorrendjének figyelmen kívül hagyása.** Ha a csavarokat nem a gyártó által megadott spirál vagy középről kiinduló sorrendben húzzák meg, a hengerfej elvetemedik, a tömítés nem fekszik egyenletesen, és hamarosan újra tömítetlen lesz. Mindig kövesd a gyártói meghúzási sorrendet.
2. **A nyúlócsavar ismételt felhasználása.** A nyúlócsavarokat egyszeri használatra tervezik. Ha a szerelő újra felhasználja, a csavar nem éri el a megfelelő előfeszítő erőt, és a tömítés tömítetlen marad. A nyúlócsavart mindig cserélni kell, ha az a gyártó előírása.
3. **A hengerfej síkságának elhanyagolása.** A hengerfej lefejtése után sokan azonnal új tömítést tesznek be anélkül, hogy a fej síkságát és repedéseit ellenőriznék. A vetemedett hengerfejjel még tökéletes tömítés és csavarozás esetén sem lesz tartós a tömítés. A fej síkságát mindig mérni kell.
4. **A hűtőrendszer nyomáspróbájának figyelmen kívül hagyása tünetmentes motornál.** Tömítéshibánál a tünetek néha csak terhelés vagy hidegindítás után jelentkeznek. A hengernyomás-mérés egyenetlensége vagy a hűtőnyomás-emelkedés korai jeleket adhat.

17.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A nedves hengerpersely közvetlenül érintkezik a hűtőfolyadékkal, ezért jobb a hőelvezetése, mint a száraz perselyé. Indokold.
2. Sorold fel a hengerfejtömítés négy alapvető funkcióját.
3. Egy hengerfejcsavar menetemelkedése $P = 1{,}25\,\text{mm}$. Mennyi a csavar elméleti megnyúlása, ha 180°-os szöghúzást alkalmazunk? (Az alkatrészek rugalmasságát hanyagold el.)
4. Miért nem szabad a kilyukadt kipufogót „csak hangosnak” tekinteni? (Biztonsági/környezetvédelmi indok.)
5. Melyik vizsgálat a legmegbízhatóbb annak kimutatására, hogy kipufogógáz jut a hűtőfolyadékba?
6. Mi a teendő a nyúlócsavarokkal hengerfejlefejtés után?

17.3.10. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A nedves perselyt közvetlenül hűti a folyadék, ezért hőelvezetése jobb, de tömítési és korróziós kockázatot is hordoz. A száraz persely a hengertömbben lévő feszültség miatt inkább a tömbön keresztül adja le a hőt.
2. Az égéstér gáztömör lezárása; a hűtőfolyadék- és a hengertér elválasztása; az olajjáratok és a hűtőjáratok elválasztása; a külső levegőtől való tömítés, egyenletes nyomáseloszlás a hengerfej és a tömb között.
3. $\Delta l = \frac{180}{360} \cdot 1{,}25\,\text{mm} = 0{,}625\,\text{mm}$.
4. A résen kiáramló kipufogógáz szén-monoxidot tartalmaz, amely az utastérbe jutva fejfájást, eszméletvesztést, akár halált okozhat (különösen a padlólemez alatti, hátsó rész tömítetlensége veszélyes); emellett a lambdaszonda előtti tömítetlenség hamis levegőt juttat a mérésbe, a zaj pedig a megengedett határt meghaladhatja, a tömítetlen kipufogó a hatósági vizsgán is hibának minősülhet (ellenőrizendő: az 5/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet szerinti hibaminősítés). A forró rész égési sérülést is okozhat. A tömítetlen részt javítani vagy cserélni kell; vizsgálat csak hideg kipufogón, járó motornál pedig csak elszívás mellett végezhető.

5. A hűtőfolyadék feletti gáztérből vett levegő CO₂-tartalmának mérése, mert az égésgáz CO₂-tartalma magas, és a hűtőben megjelenő CO₂ egyértelműen gázszivárgásra utal.
6. A nyúlócsavarokat a tömítés cseréjekor mindig újakra kell cserélni, mert a csavarok a képlékeny szakaszba kerülve elvesztik rugalmasságukat, és újrahasználat esetén nem biztosítják a megfelelő szorítóerőt.

17.3.11. Feladatok

1. feladat (A) Hasonlítsd össze a száraz és nedves hengerperselyt: tedd táblázatba, hogy melyik érintkezik a hűtőfolyadékkal, melyik cserélhető könnyebben, és melyiknek jobb a hőelvezetése.

2. feladat (A) Egy hengerfej síksága a mérés szerint 0,04 mm a hosszirányban. A gyártói határ 0,05 mm. Használhatjuk-e a fejet? Indokold.

3. feladat (B) Négyhengeres motoron a kompressziómérés eredménye (példaérték): 1. henger: 12,0 bar; 2. henger: 11,8 bar; 3. henger: 7,2 bar; 4. henger: 11,9 bar. Melyik henger okozhat tömítéshibát? Milyen további vizsgálatot végeznél?

4. feladat (B) Sorold fel a hengerfejcsavar meghúzásának helyes lépéseit (nyúlócsavar esetén), beleértve a sorrendet és a szöghúzást.

5. feladat (C) Egy változtatható hosszúságú szívócsőben alacsony fordulaton hosszú, magas fordulaton rövid cső aktív. Magyarázd el, miért van erre szükség, és mi történik, ha a váltószelep beragadt hosszú helyzetben.

6. feladat (D) Valós műhelyhelyzet: az ügyfél panaszai szerint a hűtőfolyadék szintje naponta csökken, az olajszint magas és fehér, a kipufogó fehér füstöt ereget. A hengernyomás mérésekor a 3. hengernél 6,8 bar értéket mértek, a többinél 11,5–12,0 bar. A hűtőfolyadék feletti gáztér CO₂-tesztje pozitív. Írd le a diagnosztikai következtetést és a javítási tervet.

17.3.12. A feladatok megoldásai

1. feladat (A)

Jellemző	Száraz persely	Nedves persely
Érintkezik hűtőfolyadékkal?	nem	igen
Cserélhetőség	nehezebb (préselés)	könnyebb
Hőelvezetés	közvetett, gyengébb	közvetlen, jobb

2. feladat (A) 0,04 mm < 0,05 mm, tehát a fej síksága megfelel, de fontos ellenőrizni a teljes felületet keresztirányban és átlósan is, mert a hosszirányú mérés önmagában nem elég. Ha bármelyik irány meghaladja a határt, köszörülés szükséges.

3. feladat (B) A 3. henger kompressziója jelentősen alacsonyabb (7,2 bar), mint a többi (11,8–12,0 bar), ami arra utal, hogy ott tömítetlenség van. Tovább vizsgálandó: a 2. és 3. henger közötti tömítés átégése esetén a 2. hengernél is lehet kisebb eltérés; végezzünk hengerenkénti szivárgásvizsgálatot, hűtőrendszer CO₂-tesztet, valamint endoszkópos vizsgálatot a hengerfal sérülésének kimutatására.

4. feladat (B) A hengerfejcsavar meghúzása nyúlócsavarral: 1. A csavarokat tisztítsd meg, a menetes furatot olajmentesítsd és szárítsd. 2. Helyezd be a csavarokat, húzd meg kézzel. 3. Kövesd a gyártói sorrendet (jellemzően középről kifelé spirálisan). 4. Előnyomaték (pl. 30 Nm –

ellenőrizendő). 5. Második nyomatéklépés (pl. 90 Nm – ellenőrizendő). 6. Szöghúzás szögmérővel (pl. 90°, majd további 90° – ellenőrizendő). 7. Ellenőrizd a tömítés épségét, a csavarok állapotát, majd szereld össze a környező rendszereket.

5. feladat (C) A szívócső rezonanciajelensége révén a csőhossz befolyásolja a beszívott levegő impulzusát. Alacsony fordulaton hosszú csővel a rezonancia a szívóütem végén nyomáscsúcsot hoz létre, ami növeli a töltési fokot és a nyomatékot. Magas fordulaton rövid cső szükséges, mert a hosszú csőben a rezonancia eltolódna, és a szívási ellenállás megnőne. Ha a váltószelep beragadt hosszú állásban, a motor magas fordulaton nem tudná leadni a teljes töltést, teljesítményvesztés és magasabb fogyasztás jelentkezik.

6. feladat (D) A tünetek és a 3. henger alacsony kompressziója, valamint a pozitív CO_2-teszt együttesen a hengerfejtömítés hibájára utal, valószínűleg a 3. henger közelében, ahol égésgáz jut a hűtőkörbe, és hűtőfolyadék az olajba. A diagnosztikai következtetés: a hengerfejtömítés tömítetlen, a hengerfej vetemedése vagy repedése is lehetséges. Javítási terv: 1. Motort hideg, egyéni védőeszköz, hűtőfolyadék leeresztése, akkumulátor lekötése. 2. Szívó-/kipufogórendszer elemeinek, kábelezésének, vezérmű lánc/szíj feszességének rögzítése, majd lefejtés a gyártói sorrendben. 3. Hengerfej vizsgálata: síkság, repedésvizsgálat, esetleg köszörülés a határértékek szerint. 4. Új hengerfejtömítés és új nyúlócsavarok beépítése, meghúzás a gyártói sorrendben és nyomatékkal/szöggel. 5. Hűtőrendszer átöblítése, olajcsere, hűtőfolyadék betöltése, légtelenítés. 6. Hideg-/melegpróba, kompressziómérés megismétlése, CO_2-teszt, szivárgásellenőrzés. 7. Dokumentálás: munkalap, felhasznált alkatrészek, beállítások.

17.3.13. Rövid összefoglaló

A hengertömb a motor fő teherviselő eleme, amely hordozza a hengereket (száraz vagy nedves perselyeket), a hűtőköpenyt és a forgattyúházat. A hengerfej anyaga általában alumínium, benne futnak a szívó- és kipufogócsatornák, a víz- és olajjáratok; alsó síkja az égéstér egyik falát alkotja. A hengerfejtömítés egyszerre tömíti az égéskamrát, a hűtőfolyadék- és az olajjáratokat; hibája esetén olaj kerülhet a vízbe, hűtőfolyadék az égéstérbe (fehér füst), vagy égésgáz a hűtőbe (buborék, CO_2-szint emelkedés). A hengerfej rögzítésére nyúlócsavarokat használnak, amelyeket szöghúzással kell meghúzni a gyártói sorrendben, és egyszeri használat után cserélni kell. A szívócső hossza befolyásolja a töltési fokot, a kipufogórendszer a gázok elvezetése mellett zajcsökkentő és utókezelési feladatokat lát el. Minden szerelési művelet előtt a gyártói javítási utasítás elsőbbséget élvez; a megadott értékek tanulási példák. **Továbbvitt eredmény:** a hengerfej és a hengerfejtömítés tárgyalása megalapozza a(z) A töltéscsere vezérlése: vezérlési diagram, szelepek, szelephézag, hidraulikus szelepemelők és a(z) A motor hűtése alfejezeteket, mert ott a csatornák és a hűtőkör együttműködését használjuk fel.

17.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások (hengerfejtömítés, csavarozási adatok), szakkönyvek (motor szerkezettan), valamint a hengerfej és tömítés anyagaira vonatkozó általános gépészeti ismeretek.

Ellenőrzendő állítások: - A hengerfejcsavar meghúzási nyomatékai és szöghúzási értékei (30 Nm, 90 Nm, 90°+90°) – gyártói adat. - A megengedett hengerfej-síksági határ (0,05 mm) – gyártói adat. - A hengerfurat megengedett kopási határai (0,02–0,05 mm) – gyártói adat. - A hűtőrendszer nyomáspróba értéke (1,0 bar) – a gyártó által megadott vizsgálati nyomás. - A hengernyomás példaértékek (12,0 bar névleges) – típusfüggő, ellenőrizendő. - A kipufogógáz hőmérséklet-tartománya (400–900 °C) – típus- és terhelésfüggő, ellenőrizendő.

A jogszabályi vagy hatósági előírások itt közvetlenül nem hivatkozottak, de a kipufogó és hűtőrendszer javításakor a hulladékkezelésre és a munkavédelemre vonatkozó szabályok érvényesek.

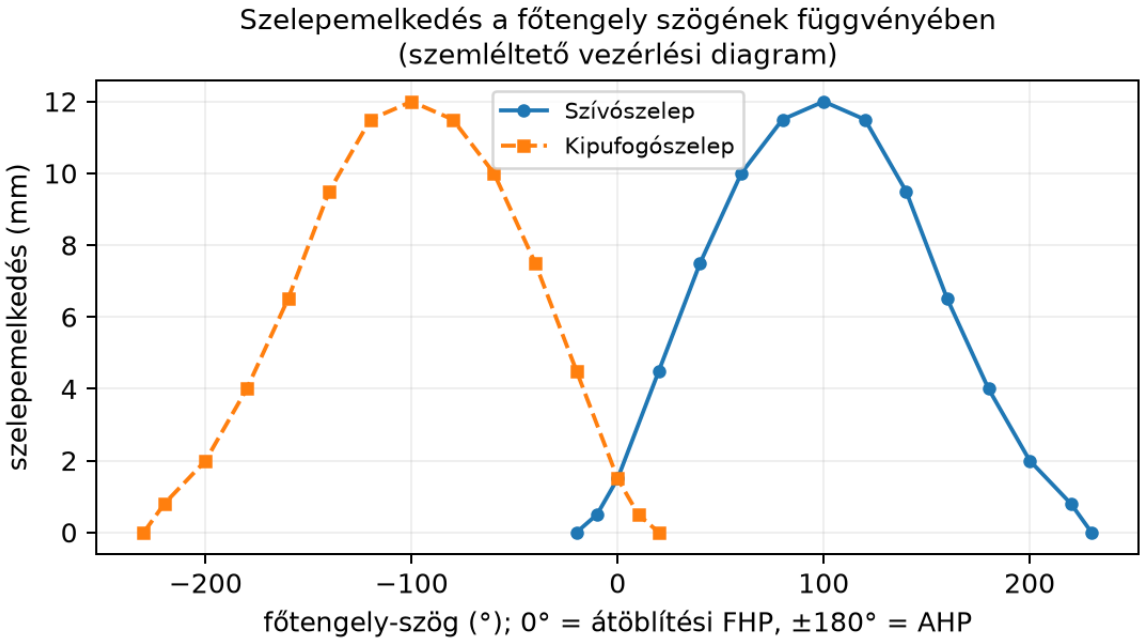
17.4. A töltéscsere vezérlése: vezérlési diagram, szelepek, szelephézag, hidraulikus szelepemelők

17.4.1. A töltéscsere vezérlésének feladata és a vezérlési diagram

A műhelyben gyakori panasz: „hidegen durva az alapjárat, melegen elfogadható, néha csattog a motortér”. Ilyenkor a hibafelvétel a gyújtás vagy a befecskendezés mellett gyakran a szelepvezérlés felé fordul. Ha egy szívószelep túl későn zár, a henger töltése visszaáramlik a szívócsőbe; ha egy kipufogószelep szorul, a kompresszió elszökik. Ahhoz, hogy ezt ellenőrizni tudjuk, először a vezérlési diagramot kell pontosan leolvasnunk.

Képzeljünk el egy négyütemű benzinmotor hengerfejének metszetét. A vezérműtengely bütyke a szelepemelőn vagy himbán keresztül nyitja a szelepet, a szeleprugó zárja, a szívócsőből friss keverék, a kipufogócsőbe pedig égéstermék áramlik. A főtengelyhez képest a vezérműtengely fele fordulatszámmal forog, ezért a szelepek nyitási és zárási eseményeit főtengely-szögben adjuk meg.

Az alábbi ábra egy szívó- és egy kipufogószelep közelítő emelkedési görbéjét mutatja a főtengely szögének függvényében:



17.10. ábra. Szelepemelkedés a főtengely szögének függvényében (szemléltető vezérlési diagram) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor a kidolgozott példa szögeivel (szívó: 20° FHP előtt – 50° AHP után, kipufogó: 50° AHP előtt – 20° FHP után; mindkettő 250°, összenyitás 40°); a valós szelepemelkedési görbe gyártói mérési adat.

Az ábra szerint a szívószelep nem a felső holtponton (0°) kezd nyitni, hanem már valamivel előtte, és az alsó holtpont után zár. A kipufogószelep már a munkatérfogat alsó holtpontja előtt nyit, és

a felső holtpont után zár. A felső holtpont környékén mindkét szelep kis mértékben nyitva van: ez a szelepösszenyitás.

Definíció. Vezérlési diagram. A vezérlési diagram a szívó- és kipufogószelepek emelkedését, illetve a nyitott áramlási keresztmetszetet ábrázolja a főtengely-szög függvényében. Megadja a nyitási és zárási szöghelyzeteket, a nyitvatartási szöget és a szelepösszenyitást.

Definíció. Előnyitás és utánzárás. Előnyitásnak nevezzük, ha a szelep a vonatkozó holtpont előtt kezd nyitni; utánzárásnak, ha a holtpont után zár be teljesen.

Definíció. Szelepösszenyitás. A felső holtpont környékén az a főtengely-szögtartomány, amelyben a szívó- és a kipufogószelep egyszerre, kis emelkedéssel nyitva van.

A szelepek azért nem a holtpontokon nyitnak és zárnak, mert a gázoszlopnak tehetetlensége van, a szelep pedig véges gyorsulással tud elmozdulni. A szívószelep előnyitása biztosítja, hogy mire a dugattyú a szívási ütemet megkezdi, már legyen számottevő szabad áramlási keresztmetszet. Az utánzárás a szívócsőben áramló gáz lendületét használja ki a henger további töltésére. A kipufogószelep előnyitása a lökettérfogat hatékony lefúvatását segíti, utánzárása pedig a henger átöblítését a szívószelep nyitásakor.

Továbbvitt eredmény. A vezérlési diagram és a szelephézag értelmezése közvetlenül szükséges a Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje alfejezetben a főtengely–vezérműtengely szinkron beállításához, a Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés alfejezetben a töltéscsere optimalizálásához, valamint a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben a kompresszió- és szivárgásmérés értelmezéséhez.

Számítás. Nyitvatartási szög és szelepösszenyitás.

Adott: szívószelep nyit 20°-kal a felső holtpont előtt, zár 50°-kal az alsó holtpont után; kipufogószelep nyit 50°-kal az alsó holtpont előtt, zár 20°-kal a felső holtpont után.

Keresett: a szívó- és kipufogószelep nyitvatartási szöge, valamint a szelepösszenyitás szöge.

Képlet: a nyitvatartási szög = előnyitás + 180° + utánzárás.

Behelyettesítés szívószelepre:

$$\vartheta_{\mathrm{sz}} = 20^\circ + 180^\circ + 50^\circ = 250^\circ.$$

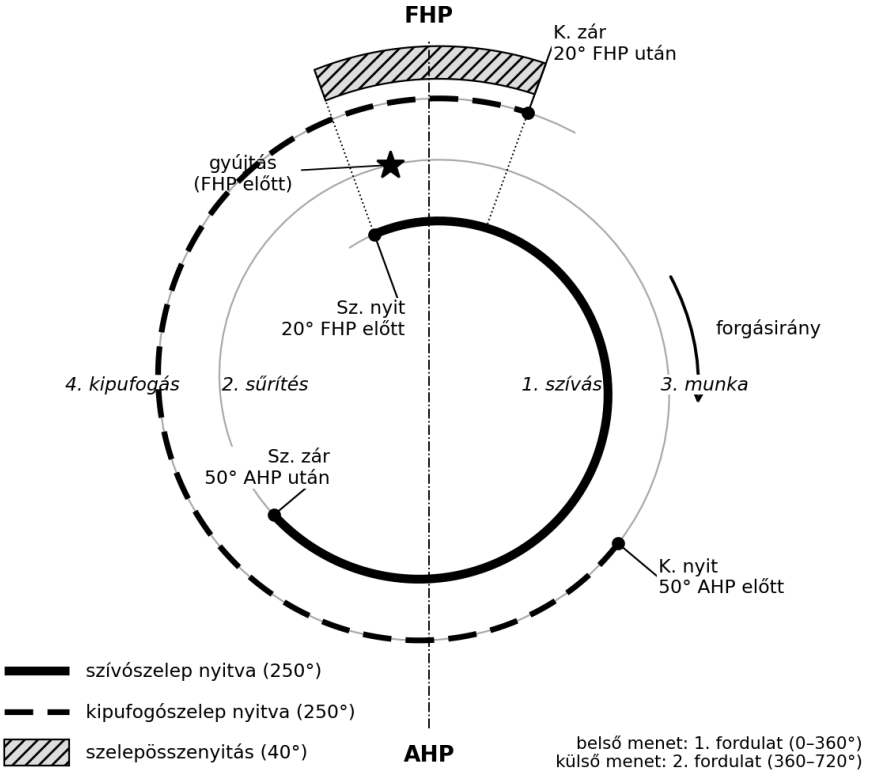
Kipufogószelepre:

$$\vartheta_{\mathrm{kip}} = 50^\circ + 180^\circ + 20^\circ = 250^\circ.$$

A szelepösszenyitás a felső holtpont környékén:

$$\vartheta_{\mathrm{össze}} = 20^\circ + 20^\circ = 40^\circ.$$

Ellenőrzés: a teljes négyütemű ciklus 720°, ezen belül egy-egy szelep nyitvatartási szöge jellemzően 200–280°, a kapott 250° reális. ∎



17.11. ábra. Vezérlési kördiagram a kidolgozott példa szögeivel: két főtengely-fordulat spirálként, szívószelep (folytonos) és kipufogószelep (szaggatott) nyitvatartása, szelepösszenyitás (sraffozott) – példaértékek, ellenőrizendő: gyártói adat

A kördiagramon felül az FHP, alul az AHP; a főtengely az óramutató járásával egyezően forog, a belső menet az első, a külső a második fordulat. A szívóív 20°-kal az FHP előtt kezdődik és 50°-kal az AHP után ér véget ($20° + 180° + 50° = 250°$), a kipufogóív 50°-kal az AHP előtt kezdődik és 20°-kal az FHP után zárul (250°); a két ív az FHP körül 40°-on át fedi egymást. Az interaktív változatban a négy szög és a fordulatszám csúszkával állítható, a nyitvatartási szögek, az összenyitás és a nyitvatartási idő azonnal kiolvasható.

Számítás. Vezérműtengely-fordulatszám és nyitási idő.

Adott: főtengely-fordulatszám $n = 800\,1/\mathrm{min}$, szívószelep nyitvatartási szöge $\vartheta_{\mathrm{sz}} = 250°$.

Keresett: a vezérműtengely fordulatszáma és a szívószelep nyitvatartási ideje.

Képlet: $n_{\mathrm{vez}} = n/2$, a főtengely egy körülfordulásának ideje $T = 60/n$, a nyitási idő $t_{\mathrm{ny}} = (\vartheta_{\mathrm{sz}}/360°) \cdot T$.

Behelyettesítés:

$$n_{\mathrm{vez}} = \frac{800\,1/\mathrm{min}}{2} = 400\,1/\mathrm{min},$$

$$T = \frac{60\,\mathrm{s}}{800} = 0{,}075\,\mathrm{s},$$

$$t_{\mathrm{ny}} = \frac{250°}{360°} \cdot 0{,}075\,\mathrm{s} \approx 0{,}0521\,\mathrm{s}.$$

Ellenőrzés: egy holtponttól a másikig (180°) a forgás ideje $0{,}075/2 = 0{,}0375\,\mathrm{s}$; a 250°-os nyitás ennél hosszabb, de egy teljes fordulat (0,075 s) ideje alatti, tehát a $0{,}0521\,\mathrm{s}$ nagyságrendileg helyes. A vezérműtengelyen a 250° főtengely-szögű esemény 125°-os elfordulásnak felel meg, mert a vezérműtengely fele sebességgel forog. ∎

17.4.2. A vezérlés szerkezeti változatai: OHV, OHC, DOHC

A vezérlés szerkezeti kialakítását alapvetően a szelepek és a vezérműtengely elhelyezkedése határozza meg. A három leggyakoribb elrendezés az OHV, az OHC és a DOHC.

Jellemző	OHV	OHC (SOHC)	DOHC
Vezérműtengely helye	motorblokkban	hengerfejben	hengerfejben
Vezérműtengelyek száma	1	1	2
Szelep működtetése	emelő, tolórúd, himba	emelő vagy himba közvetlenül/közvetve	külön tengely a szívó- és a kipufogószelepeknek
Tipikus felhasználás	régebbi, gyakran V-motorok	modern soros motorok	nagy fajlagos teljesítményű motorok
Előny	egyszerű blokk, kompakt fej	kevesebb mozgó tömeg, pontosabb vezérlés	nagy fordulatszám-tűrés, független szívó/kipufogó-hangolás

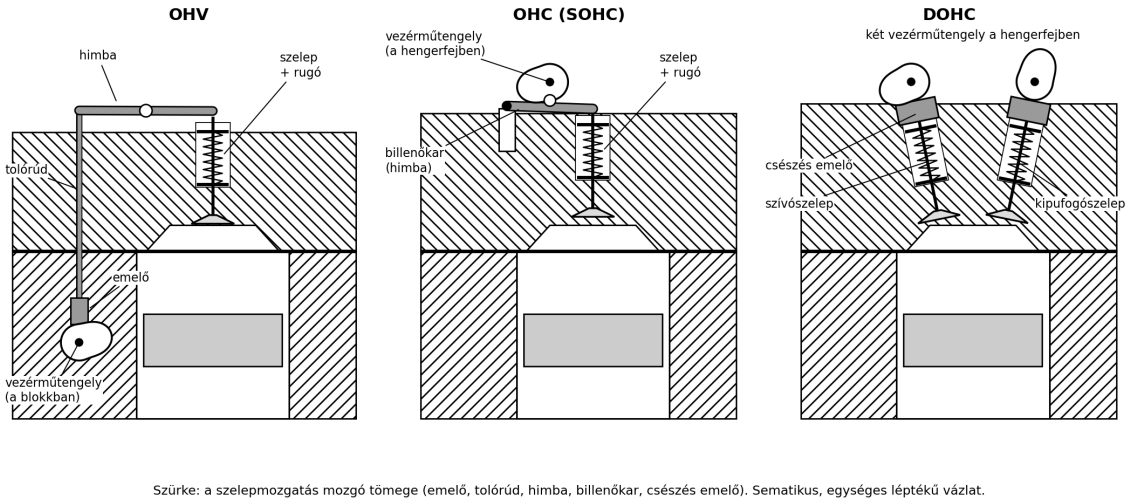
Definíció. OHV (overhead valve). A szelepek a hengerfejben vannak, a vezérműtengely azonban a motorblokkban. A bütyök emelőn, tolórudon és himbán keresztül működteti a szelepeket (felül szelepek, alul vezérműtengely).

Az OHV-megoldás hátránya a hosszú tolórúd és a himba miatti nagyobb mozgó tömeg, ami korlátozza a maximális fordulatszámot. Előnye a viszonylag alacsony hengerfej, ezért régebbi, elsősorban V-elrendezésű, alacsony fordulatszámú motorokban találkozunk vele.

Definíció. OHC (overhead camshaft). A vezérműtengely a hengerfejben van. Egy tengely esetén SOHC-ról (single overhead camshaft) beszélünk, amely közvetlen emelőn vagy rövid himbán keresztül nyitja a szelepeket.

Definíció. DOHC (double overhead camshaft). Két vezérműtengely van a hengerfejben; az egyik a szívó-, a másik a kipufogószelepeket vezérli. A DOHC lehetővé teszi a kis mozgó tömeget, a szívó- és kipufogóoldal eltérő vezérlési diagramját és a nagy fordulatszámú töltéscserét.

A mai európai személygépkocsikban az OHC és a DOHC a meghatározó. Öt szelepes hengerenkénti megoldás esetén három szívó- és két kipufogószelep lehet; a 4 szelepes DOHC elrendezés a leggyakoribb (ellenőrizendő: a konkrét motor gyártói adata).



17.12. ábra. Az OHV, az OHC (SOHC) és a DOHC vezérlés egyszerűsített keresztmetszete egységes léptékben; szürkén a szelepmozgatás mozgó tömege (sematikus)

Az ábra bal oldalán az OHV-motor vezérműtengelye a blokkban van, a bütyök emelőt, hosszú tolórudat és himbát mozgat; középen a SOHC vezérműtengelye a hengerfejben ül, és rövid billenőkaron át nyit; jobbra a DOHC két vezérműtengelye csészés emelőn át közvetlenül nyomja a szívó-, illetve a kipufogószelepet. A szürke elemek mutatják, mennyi tömeget kell a bütyöknek minden nyitáskor felgyorsítania.

17.4.3. Szelepek, szelepülések, vezetők, rugók és himbák

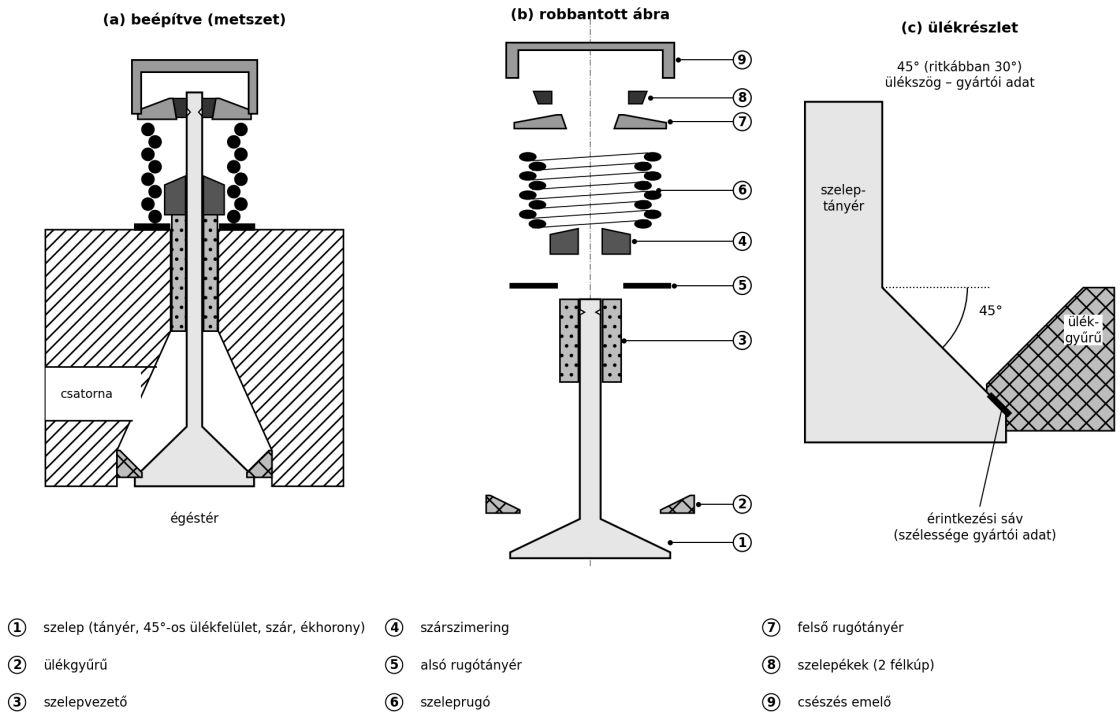
A szelepek extrém hő- és mechanikai terhelésnek vannak kitéve. A kipufogószelep feje jellemzően 700–900 °C tartományba is kerülhet (ellenőrizendő: konkrét motortípus szerint), és egyidejűleg ütésszerű, ciklikus terhelést kap. Az anyagválasztás ezért kritikus.

Szelepek. A szívószelep hűvösebb közeggel érintkezik, ezért gyakran nemesíthető acélból készül. A kipufogószelep hőálló ausztenites vagy különleges szelepacél, egyes kivitelekben a szelepszár üreges és nátriumtöltésű a hő elvezetése érdekében (ellenőrizendő: gyártói műszaki leírás). A szelep feje kúpos, tányér alakú; a szelepülékhez illeszkedő tömítőfelület jellemző szöge 45°, ritkábban 30° (ellenőrizendő: gyártói adat).

Szelepülék és szelepvezető. A hengerfejbe sajtolt, hőálló anyagú ülékgyűrű biztosítja a tömítést és a hő elvezetését. A szelepvezető a szelepszár vezetését és a radiális játékot szabja meg. A kopott vezető olajtovábbítást, olajfogyasztást és a szelep bizonytalan záródását okozhatja.

Szeleprugók. A rugó ereje zárja a szelepet és tartja a bütyök pályáján a mozgást. Nagy fordulatszámon a rugó saját rezonanciája szelepúszást (szelep „lebegését”) okozhat, ezért gyakran két rugót, progresszív rugót vagy könnyebb titánszelepeket használnak.

Himbák, emelők, szelepforgatók. A bütyök erőjátéka miatt a szelepet forgatni is szokták; a szelepforgató a szelep tányérjának lassú elfordításával egyenletesebb hőmérséklet-eloszlást és ülékkopást segít (ellenőrizendő: a tényleges szerkezet gyártónként eltér). A himbás megoldásnál a himba áttétele csökkentheti a bütyökemelkedésből származó szelepemelkedést vagy fordítva.



17.13. ábra. A szelepszerkezet beépítve (a), robbantott ábrán (b) és az ülékrészlet (c): ① szelep, ② ülékgyűrű, ③ szelepvezető, ④ szárszimering, ⑤ alsó rugótányér, ⑥ szeleprugó, ⑦ felső rugótányér, ⑧ szelepékek, ⑨ csészés emelő

A robbantott ábrán alulról felfelé követhető a szerelési sorrend. A két félkúp alakú szelepék a szár ékhornyába kapaszkodik, és a felső rugótányér kúpos furatába ékelődik: minél nagyobb a rugóerő, annál erősebben szorítják a szárat, ezért a rugótányér nem csúszhat le. Az ülékrészleten a tányér 45°-os ülékfelülete és az ülékgyűrű keskeny érintkezési sávja látszik, ezen át záródik a szelep és távozik a hő.

17.4.4. Szelephézag és állítása, hidraulikus szelepemelők

A szelep hőtágulása miatt a bütyök és a szelepszár vége között bizonyos játékot kell hagyni.

Definíció. Szelephézag. A szelepszár vége és a működtető elem (himbás kar, emelő vagy a bütyök alapköre) közötti, hideg motornál mérhető játék, amely lehetővé teszi a szelep teljes záródását és a hőtágulás felvételét.

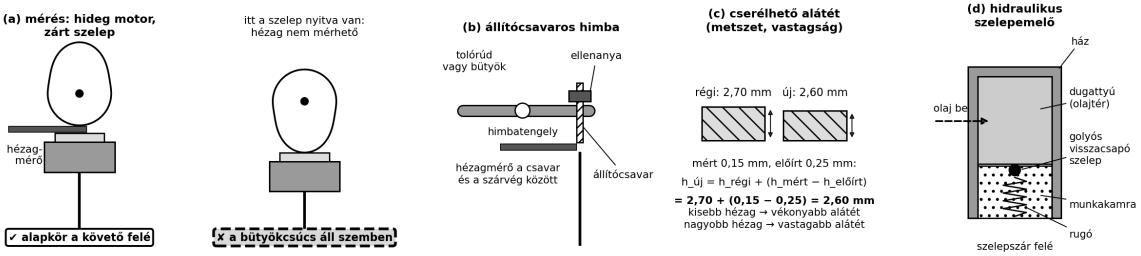
Túl nagy hézagnál a szelep később nyit, hamarabb zár, a motor csattog, a hézagütés kopást okoz. Túl kis hézagnál a szelep melegen nem tud teljesen lezárni, az égésgáz megfújja a szelepfészket, ami szelepégéshez vezethet. A szelephézagot mindig a gyártói előírás szerint, meleg vagy hideg motornál kell mérni (a leggyakoribb a hideg motoron mért érték, például 0,15–0,25 mm; ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

A szelephézag beállításának gyakori módjai:

1. **Állítócsavar és ellenanya** himbás vezérlésnél: a csavar elforgatásával a himba és a szelepszár közötti hézag változtatható.
2. **Cserélhető alátét (shim)** a szelepemelő tetején vagy a szelepemelő alatt: a mért hézag alapján vastagabb vagy vékonyabb alátétet választunk.
3. **Hidraulikus szelepemelő**: a motorolaj nyomásával automatikusan kitölti a hézagot.

Definíció. Hidraulikus szelepemelő. Olyan szelepemelő, amely a motor kenőolaj-nyomását felhasználva egy belső dugattyúval és visszacsapó gömbszeleppel a szelephézagot gyakorlatilag nullára állítja, ezáltal hézagmentes, zajmentes vezérlést ad.

A hidraulikus szelepemelő házában egy dugattyú és egy munkakamra van. A szelep zárt állapotában a belső rugó a dugattyút a bütyök alapköréhez nyomja, és a visszacsapó szelepen át olaj áramlik a kamrába. Amikor a bütyök emelni kezd, a gömbszelep zár, így a kamrában rekedt olaj gyakorlatilag összenyomhatatlanként adja át az erőt. A kismértékű belső olajszivárgás a működéshez szükséges; ezért a rendszer érzékeny a szennyezett, levegős vagy nem megfelelő viszkozitású motorolajra.



17.14. ábra. Szelephézag: mérés a bütyök alapkörén (a, ✔) és hibásan a bütyökcsúcson (✘); állítócsavaros himba (b); cserélhető alátét a számítási példa adataival (c); hidraulikus szelepemelő metszete (d)

A hézagot hideg motoron, zárt szelepnél mérjük, amikor a bütyök alapköre áll a követő (alátét, himba) felett; ha a bütyökcsúcs áll szemben, a szelep nyitva van, és a hézagmérő nem ad értelmes eredményt. Az interaktív változatban a bütyök elforgatható, és a lenti számítási példa képletével az új alátétvastagság is kiszámolható.

Számítás. Szelephézag-beállítás cserélhető alátéttel.

Adott: beépített alátét vastagsága $h_{\text{régi}} = 2{,}70\,\text{mm}$, mért szelephézag $h_{\text{mért}} = 0{,}15\,\text{mm}$, előírt szelephézag $h_{\text{előírt}} = 0{,}25\,\text{mm}$.

Keresett: a szükséges új alátétvastagság, ha a hézagot pontosan az előírt középérték közelébe akarjuk állítani.

Képlet: az új alátét vastagsága

$$h_{\text{új}} = h_{\text{régi}} + (h_{\text{mért}} - h_{\text{előírt}}).$$

Behelyettesítés:

$$h_{\text{új}} = 2{,}70\,\text{mm} + (0{,}15 - 0{,}25)\,\text{mm} = 2{,}70\,\text{mm} - 0{,}10\,\text{mm} = 2{,}60\,\text{mm}.$$

Ellenőrzés: a mért hézag 0,10 mm-rel kisebb az előírtnál, ezért a szeleppályát 0,10 mm-rel „lejjebb” kell helyezni, tehát vékonyabb alátét kell. A 2,60 mm-es alátét ezt adja. A beépítés után a hézagot ismét meg kell mérni. ∎

Továbbvitt eredmény. A szelephézag- és alátét-számítás logikája később a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben a mérési tűréshatárok értelmezéséhez is kell.

17.4.5. Változó szelepvezérlés áttekintése

A hagyományos, merev vezérműtengely egyetlen vezérlési diagramot ad. A változó szelepvezérlés a fordulatszám és a terhelés függvényében módosítja a szelepnyitás időzítését, emelkedését vagy időtartamát.

A leggyakoribb megoldások:

1. **Vezérműtengely-állító (cam phaser, „fázisállító”):** a vezérműtengely a lánckerékhez vagy szíjtárcsához képest hidraulikusan elfordul. Jellemzően az alapjárati kis átfedésből nagyobb fordulatszámon nagyobb átfedést hoz létre. A szerkezet részleteivel a Vezérműhajtás alfejezet foglalkozik.
2. **Szelepemelés-váltás:** két különböző bütyökprofil közül hidraulikus csapszeggel váltható. Alacsony fordulaton kis emelkedés és rövid nyitvatartás biztosít stabil járást, magas fordulaton nagy emelkedés ad nagyobb teljesítményt.
3. **Folyamatos emelés-állítás:** a bütyök és a szelep közé iktatott változtatható áttételű közbenső mechanizmus a fojtószelep nélküli terhelésszabályozást is lehetővé teszi.

A változó vezérlés előnye a szélesebb hasznos fordulatszám-tartomány és a kedvezőbb károsanyag-kibocsátás. Diagnosztikája a Rendszerteszter-használat alfejezethez kapcsolódik.

17.4.6. Minőségellenőrzés

A töltéscsere vezérlését a következő eljárásokkal ellenőrizhetjük:

1. **Vezérlési jelek ellenőrzése:** a főtengely és a vezérműtengely jelölését a gyártói rajz szerint állítsuk fedésbe. Az egy foggal elcsúszott vezérlés már jelentős futásképet és teljesítményproblémát okozhat.
2. **Szelephézag mérése:** hideg motornál, hengerenként, a megfelelő főtengely-szöghelyzetben, hézagmérővel. Az értéket a gyártói javítási adathoz hasonlítjuk.
3. **Kompressziómérés:** az alacsony vagy hengerenként eltérő kompresszió utalhat szeleptömítési hibára, szoruló szelepre vagy hibás vezérlésre.
4. **Hengerszivárgás-mérés:** a sűrített levegő szivárgásából megállapítható, hogy a szívó-, kipufogóoldalon vagy a forgattyúház felé távozik-e a levegő.
5. **Hidraulikus emelő ellenőrzése:** kopásra, szennyeződésre, levegősségre utal a hideg vagy meleg motoron jelentkező ketyegés. Az olajnyomás mérése és az olaj állapota fontos.

Figyelem. A kézi főtengelyforgatás előtt a gyújtást ki kell kapcsolni, és a járművet elfordulás ellen biztosítani kell. Szeleprugóval terhelt alkatrészek szerelésekor rugófeszítő célszerszámot kell használni; a kipattanó rögzítőelem szem- és kézsérülést okozhat. A konkrét meghúzási nyomatékok, hézagok és beállítási sorrend gyártói adatok.

17.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy 1,6 literes, hidraulikus emelős benzinmotorral szerelt személyautó tulajdonosa „hidegen erős ketyegésre, melegen alig hallható zajra” panaszkodik. Az autó hidegindítás után a műhelyben valóban fémes, szelephézag-szerű kopogást ad, amely körülbelül fél perc után halkul.

A hibakeresési lánc szerint a tünet lehetséges okai: szennyezett vagy levegős hidraulikus emelő, hidegen nagyobb olajnyomás-igényű kopott emelő, hibás olajvisszafolyás, illetve mechanikus hézag a bütyök és az emelő között. A műhelyben először az olajszintet és az olaj állapotát ellenőrizzük; az olaj sötét, sűrűn szennyezett. Az olajnyomás hidegen és melegen is a gyártói

tartományban van (ellenőrizendő: a pontos érték a javítási adatból). A hengerfejfedél levétele után a bütyökpályák és az emelők kopását szemrevételezzük: egy emelő felületén erős körkörös kopásnyom látható, és kézzel kis erővel benyomható.

A hiba oka a kopott, olajat nem tartó hidraulikus emelő, amely hideg motornál nem tudja a hézagot kitölteni. A javítás az érintett emelő cseréje a gyártói eljárás szerint, majd az olaj és az olajszűrő cseréje. A próbaüzemen hideg motornál már nincs ketyegés, melegen is stabil az alapjárat. A megelőzés a gyártói olajcsere-intervallum betartása; a késedelmes olajcsere az ilyen emelők leggyakoribb oka.

17.4.8. Tipikus hibák

1. **Főtengely- és vezérműtengely-szög összekeverése.** A tanuló a 250° nyitvatartást a vezérműtengely elfordulásának hiszi. Helyes, ha a diagram főtengely-szögben dolgozik, a vezérműtengely szöge ennek fele.
2. **Meleg motoron mért hézag hideg értékhez hasonlítása.** Ha a gyári adat hideg motort ír elő, meleg motoron a hőtágulás miatt más értéket kapunk. Mindig a gyártói feltételt (hideg/meleg) tartsuk be.
3. **Túl szorosra állított szelephézag.** A „minél pontosabb, annál jobb” téves gondolat; a hőtágulás felvétele nélkül a szelep nem zár, és a szelepfészek megég.
4. **Hidraulikus emelő erőltetett állítása.** A hidraulikus emelős rendszert nem szabad hézagmérővel utánállítani; a hibát az olajellátás, a nyomás és az emelő kopásának vizsgálatával kell keresni.

17.4.9. Önellenőrzés

1. A vezérműtengely a főtengelynél fele akkora fordulatszámmal forog. Igaz-e?

2. Mekkora a szívószelep nyitvatartási szöge, ha az előnyitás 15°, az utánzárás 45°?

3. A mért szelephézag 0,30 mm, az előírt 0,20 mm. Vastagabb vagy vékonyabb alátét szükséges?

4. Miért van a felső holtpont környékén szelepösszenyitás?

5. Mi a hibás lépés ebben a leírásban? „A hidraulikus emelős motoron a hideg motor ketyegése után a szerelő hézagmérővel szorosabbra állítja a himbákat.”

17.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a szelepösszenyitás és a nyitvatartási szög fogalmát a vezérlési diagramon.

2. feladat (A). Egy szívószelep 10°-kal a felső holtpont előtt nyit és 40°-kal az alsó holtpont után zár. Számítsa ki a nyitvatartási szöget.

3. feladat (B). Egy DOHC motor szívó oldalán a mért hézag 0,40 mm, a gyári előírás 0,20 mm. A beépített alátét 3,00 mm. Mekkora új alátét szükséges?

4. feladat (B). A főtengely fordulatszáma 2500 1/min, a kipufogószelep nyitvatartási szöge 260°. Számítsa ki a kipufogószelep nyitvatartási idejét.

5. feladat (C). Az ábra szerinti vezérlési diagramon a szívószelep –20°-nál kezd nyitni és 230°-nál zár, a kipufogószelep –230°-nál nyit és 20°-nál zár. Becsülje meg a szelepösszenyitást, és magyarázza el, miért nem nulla.

6. feladat (C). Miért előnyös a DOHC elrendezés egy nagy fordulatszámú szívómotornál az OHV-val szemben?

7. feladat (D). Ügyfél panasza: hideg motoron csattogás, melegen szinte hangtalan, de az alapjárat kissé egyenetlen. A kompresszió minden hengerben jó, az olajnyomás a gyári érték. Mi a következő ellenőrzési lépés, és milyen mérési eredmény valószínű?

17.4.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A vezérműtengely a főtengely fordulatszámának felével forog.
2. $15^\circ + 180^\circ + 45^\circ = 240^\circ$.
3. A hézag 0,30 mm, azaz 0,10 mm-rel nagyobb az előírtnál, ezért vastagabb alátét szükséges. Az új vastagság = régi + (mért – előírt).
4. A futási átöblítéshez: a friss keverék már akkor áramlik, amikor az égéstermék utolsó része távozik; a gázlendület javítja a töltéscserét.
5. A hidraulikus emelős rendszeren nincs hagyományos himba-hézagállítás; a ketyegést az olajellátás, a nyomás és az emelő kopásának vizsgálatával kell keresni.

Feladatok megoldása

1. feladat. A nyitvatartási szög az a főtengely-szög, amely alatt a szelep a nyitás kezdetétől a teljes zárásig nyitva van. A szelepösszenyitás a felső holtpont környéki szögtartomány, ahol a szívó- és kipufogószelep egyszerre nyitva van.

2. feladat. Adott: előnyitás 10°, utánzárás 40°. Képlet: $\vartheta = 10^\circ + 180^\circ + 40^\circ = 230^\circ$. Ellenőrzés: reális 200–280° között. ∎

3. feladat. Adott: $h_{\text{régi}} = 3{,}00\,\text{mm}$, $h_{\text{mért}} = 0{,}40\,\text{mm}$, $h_{\text{előírt}} = 0{,}20\,\text{mm}$. Képlet: $h_{\text{új}} = h_{\text{régi}} + (h_{\text{mért}} - h_{\text{előírt}})$. Behelyettesítés: $3{,}00 + (0{,}40 - 0{,}20) = 3{,}20\,\text{mm}$. Ellenőrzés: a hézag 0,20 mm-rel nagyobb, tehát vastagabb alátét kell. ∎

4. feladat. Adott: $n = 2500\,1/\text{min}$, $\vartheta = 260^\circ$. A főtengely fordulatideje $T = 60/2500 = 0{,}024\,\text{s}$. A nyitási idő $t = (260/360) \cdot 0{,}024 \approx 0{,}0173\,\text{s}$. Ellenőrzés: 260° a teljes 360°-nál kisebb, tehát 0,024 s-nál rövidebb időt kapunk. ∎

5. feladat. A szelepösszenyitás a szívó előnyitása és a kipufogó utánzárása a felső holtpont körül: $20^\circ + 20^\circ = 40^\circ$. Nem nulla, mert a gázdinamika és a szelepek véges nyitási sebessége ezt indokolja.

6. feladat. A DOHC kisebb mozgó tömeget és rövidebb erőátviteli utat ad, így nagyobb fordulatszámon kisebb a szelepúszás és pontosabb a vezérlés. Külön szívó- és kipufogótengellyel a két diagram szabadabban hangolható.

7. feladat. A következő lépés a hengerfejfedél levétele után a hidraulikus emelők és a bütyökpályák szemrevételezése, valamint az emelő kézi ellenőrzése. Valószínűleg kopott, szennyezett vagy levegős hidraulikus emelő található, amely hidegen nem tölti ki a hézagot, ezért ketyeg.

17.4.12. Rövid összefoglaló

A töltéscsere vezérlése a négyütemű motor levegőellátásának és égéstermék-elvezetésének időzítését szabja meg. A vezérlési diagram a szelepek emelkedését mutatja a főtengely-szög függvényében; a szívószelep jellemzően a felső holtpont előtt nyit és az alsó holtpont után zár, a kipufogószelep a munkatérfogat alsó holtpontja előtt nyit és a felső holtpont után zár. A felső holtpont körüli közös nyitási szakasz a szelepösszenyitás, amely a futási átöblítést és a töltésjavítást szolgálja. A vezérműtengely a főtengely fele fordulatszámával forog, ezért a diagramot főtengely-szögben adjuk meg. A szerkezet lehet OHV, OHC vagy DOHC; a korszerű motorokban az OHC/DOHC a jellemző. A szelephézag a hőtágulás felvételére szolgál: túl nagy hézag zajt és késő nyitást, túl kicsi hézag pedig szelepégést okoz. A hézag állítható csavarral, cserélhető alátéttel vagy hidraulikus emelővel. A változó szelepvezérlés a fordulatszám és terhelés szerint módosítja a nyitási időt, a fázist vagy az emelkedést. A diagnosztikában a vezérlési diagram, a szelephézag, a kompressziómérés és a hengerszivárgás-mérés együtt adja meg a motor töltéscsere-állapotát.

Továbbvitt eredmény. A vezérlési diagram és a szelephézag-értelmezés a Vezérműhajtás alfejezetben a szinkron beállításához, a Feltöltés alfejezetben a töltéscsere-hangolásához, a Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezetben a mérési eredmények értékeléséhez szükséges.

17.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a belső égésű motorok töltéscsere-folyamataira vonatkozó általános gépjármű-szerkezettani, termodinamikai és műhelydiagnosztikai ismeretekre épül. Nem tartalmaz önálló jogszabályi vagy ENSZ-EGB-előírás-hivatkozást. A megadott szelephézag-értékek, nyitási szögek, hőmérsékletek és anyagjellemzők tanulási példák; a konkrét javítási műveleteknél mindig a gyártói javítási utasítás és a hatályos műszaki adat az irányadó. Az ellenőrizendő állítások: a szelephézag jellemző tartománya, a szelepülék szöge, a kipufogószelep üzemi hőmérséklete és a hidraulikus emelő belső kialakítása. A szerkezeti elvek leírása a kerettanterv tanulási szintjének megfelelő, nem helyettesíti a gyártói rajz és mérési adatok tanulmányozását.

17.5. Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje

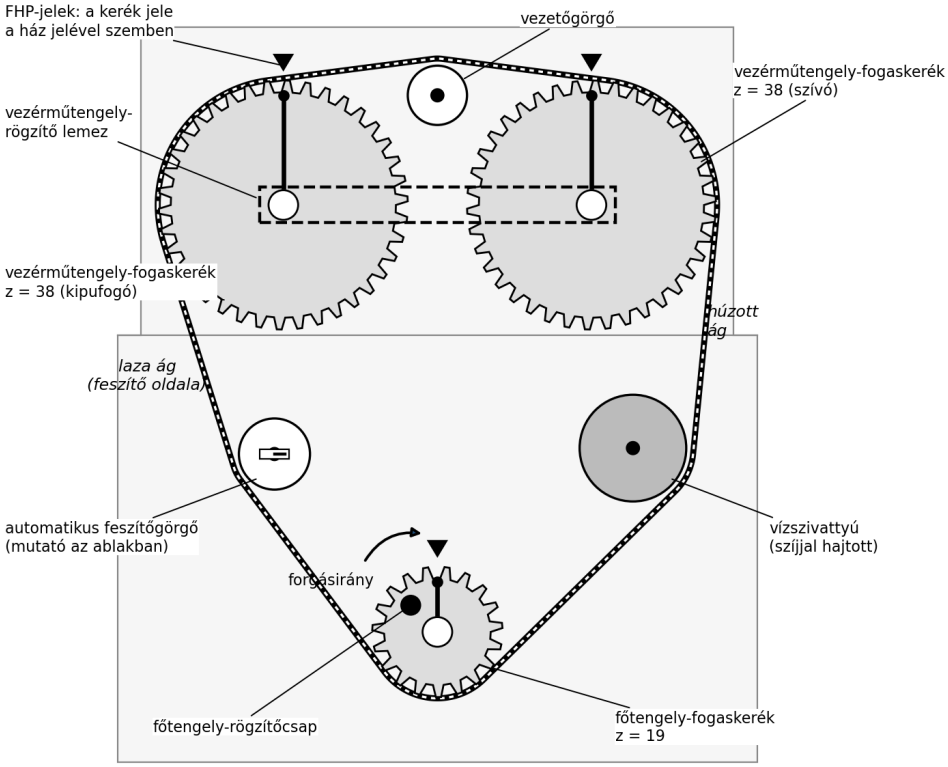
17.5.1. Motiváció

A műhelyben gyakori panasz a halk, de ritmusos ketyegés hideg motornál, a nehéz indítás vagy az, hogy a motor „nem húz” annyira, mint korábban. A tapasztalt szerelő ilyenkor nem azonnal az injektorokra vagy a gyújtásra gondol, hanem először a vezérlés szinkronját ellenőrzi. Ha a főtengely és a vezérműtengely szöghelyzete nem illeszkedik pontosan a gyártói jelöléshez, a szelepnyitás elcsúszik, és a motor teljesítménye, fogyasztása, hidegindítása romlik. Ha pedig egy interferenciás – köznyelven „szelepütős” – motoron elszakad a vezérműszíj, a dugattyú és a szelep találkozhat, ami nagyon drága javításhoz vezet. Ezért a vezérműhajtás szerkezete, csereperiódusa és a csere pontos technológiája az autószerelő alapműveltségének része.

17.5.2. Szemléletes kép

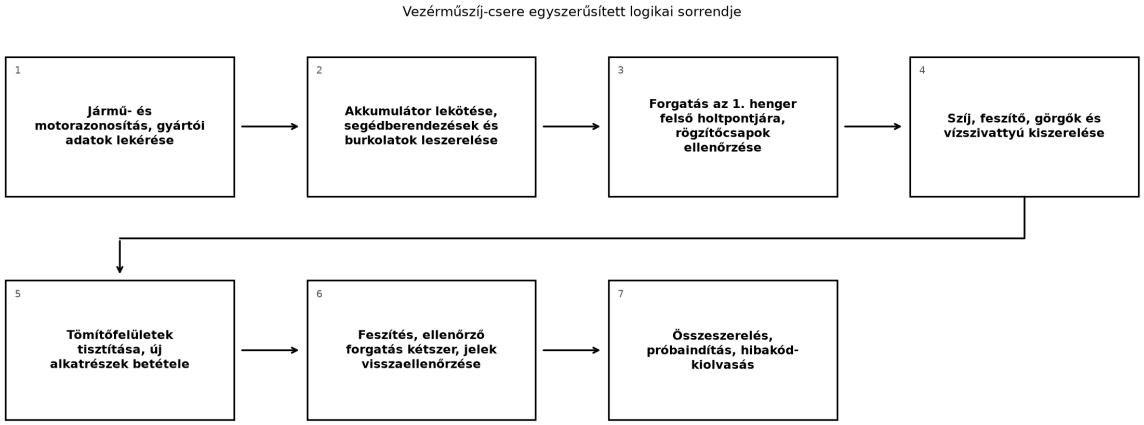
Képzelj el egy négyütemű, soros négyhengeres motort elölről. A főtengelyorr fogaskerékén fogasszíj fut, amely felül a kettő darab vezérműtengely-fogaskerékre tekeredik fel; alul egy feszítőgörgő, felül egy másik vezetőgörgő tartja feszesen a szíjat. A főtengely tárcsáján egy keskeny rovátka

vagy furat van, a hengertömbbel jelölésben; a vezérműtengely-fogaskerekeken szintén jelölések, amelyek a hengerfejjel vagy egy rögzítő idomszerrel hozhatók fedésbe. Amikor a vezérlés „áll”, a főtengely az első henger felső holtpontján áll, és minden jelölés egy vonalba esik. Ezt a képet érdemes megjegyezni: ez a vezérműszíj-csere kiindulópontja.



17.15. ábra. Fogasszíjas DOHC vezérműhajtás jelölései (szemléltető): főtengely-fogaskerék z = 19, két vezérműtengely-fogaskerék z = 38, automatikus feszítőgörgő a laza ágon, vezetőgörgő, szíjjal hajtott vízszivattyú, FHP-jelek és rögzítőpontok

Az ábrán a főtengely az óramutató járásával egyezően forog, ezért a jobb oldali (vízszivattyú felőli) ág a húzott ág, a bal oldali a laza ág: ide kerül az automatikus feszítőgörgő. FHP-n mindhárom kerék jele a ház háromszögjelével szemben áll, a főtengelyt a rögzítőcsap, a vezérműtengelyeket a szaggatottan jelölt rögzítő lemez tartja. Az interaktív változat a gyakorlati útmutató 3., 7., 8. és 9. lépését játssza le; egy kapcsolóval megnézhető, mennyit téved a vezérlés, ha a szíj egy foggal eltolva kerül fel ($360°/38 \cdot 2 \approx 19°$ főtengelyszög).



17.16. ábra. Vezérműszíj-csere egyszerűsített logikai sorrendje - Szemléltető lépéssor; a pontos sorrendet mindig a gyártói javítási utasítás adja meg.

Definíció. A **vezérműhajtás** az a kényszerkapcsolat, amely a főtengely forgását a vezérműtengely(ek)re viszi át úgy, hogy a szelepnyitás minden motorfordulatban a gyártó által meghatározott vezérlési időnek megfelelően történjen. Négyütemű motornál a főtengely két fordulata alatt a vezérműtengely egy fordulatot tesz, ezért a vezérlőhajtás áttétele $i = 2 : 1$.

Definíció. Interferenciás (szelepütő) motor az a belső égésű motor, amelynél a dugattyú felső holtpontja és a teljesen nyitott szelep útja térben átfed egymást. Ha ilyen motornál a vezérműhajtás elszakad vagy elugrik, a dugattyú eltalálhatja a szelepet, és a szelep, a szelepvezető, a dugattyú, sőt a hajtórúd is károsodhat.

17.5.3. Felépítés és működés

A vezérműhajtás három alapvető alakzáró hajtásfajtája használatos:

- **Fogasszíj:** üvegszálas vagy aramid húzószálakkal erősített, elasztomer anyagú szíj, amely a főtengely- és vezérműtengely-fogaskerekekről nem csúszhat le. Csendes, könnyű; a száraz kivitelű szíj olajjal szemben érzékeny, ezért olajszivárgás vagy rossz burkolat tönkreteheti. A száraz fogasszíj nem kenhető, és a gyártó által előírt periódusonként cserélni kell. Egyes (főleg kis lökettérfogatú benzin-) motorokban a fogasszíj a motorolajban fut (olajban futó fogasszíj): itt a gyártói specifikációjú motorolaj és az olajcsere-intervallum betartása létfontosságú; a szíj állapotát (szélesség, repedés, duzzadás) a gyártói ellenőrzési eljárás szerint kell vizsgálni, a leváló szíjtörmelék az olajszivattyú szívószűrőjét eltömítheti, olajnyomáshiányt okozva (ellenőrizendő: gyártói adat és eljárás).
- **Lánc:** acél görgős vagy fogaslánc, amely olajos térben, a motor kenőrendszerére csatlakozva fut. Élettartama általában hosszabb, de a lánc, a lánckerekek és a feszítőrendszer elhasználódnak, a lánc megnyúlik, a feszítő útja elfogyhat, és a lánc megcsörrenhet vagy akár átugorhat.
- **Fogaskerék:** leginkább nagy teljesítményű, vagy régebbi, alsó vezérműtengelyes (OHV) motoroknál, illetve egyes haszonjármű-motorokban. Zajosabb, drágább, de nagyon hosszú élettartamú. Személyautóknál ritka, mert a hengerfejben lévő vezérműtengely távolsága miatt bonyolult közbenső fogaskerék-sorra lenne szükség.

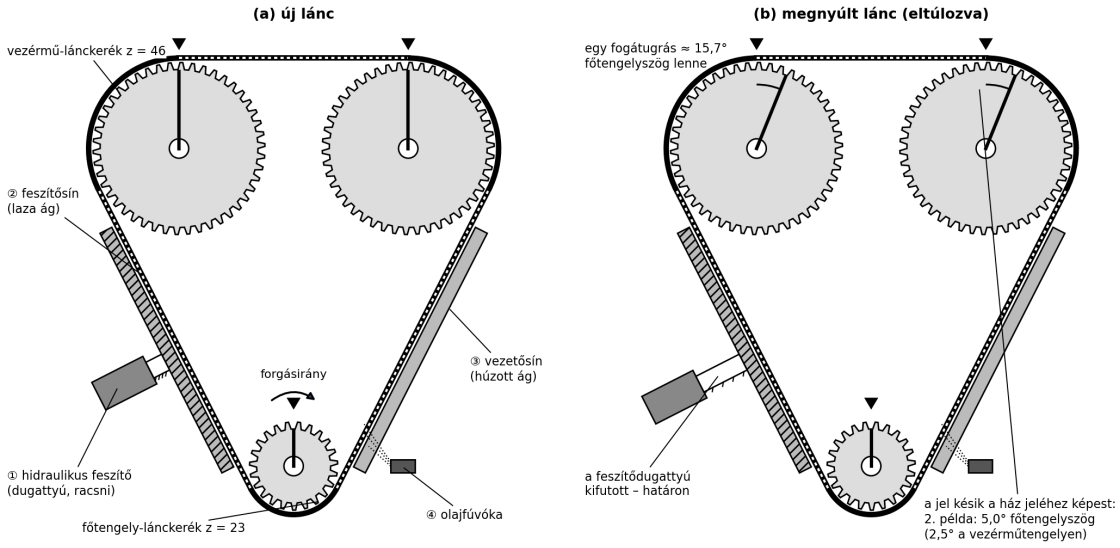
Hajtásfajta	Előny	Hátrány	Jellemző kopási mód
Fogasszíj (száraz kivitel)	csendes, könnyű, olcsó	olajra érzékeny, periódusos csere szükséges	fogkopás, hátszálszakadás, repedés
Lánc	hosszú élettartam, olajos térben fut	zajosabb lehet, feszítőrendszer bonyolultabb	láncnyúlás, lánckerék-fogkopás, feszítő elfáradás
Fogaskerék	nagyon tartós	nehéz, zajos, általában drágább	fogkopás, csapágykopás

Az értékek és az élettartam-jellemzők tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

A fogasszíjas rendszer fontos elemei:

- **Fogasszíj-feszítő görgő:** a szíjág feszességét tartja. Lehet mechanikus, excenteres vagy rugós, illetve automatikus, amely a motornak megfelelő feszítést hosszabb időn át fenntartja.
- **Vezetőgörgő:** a szíj nyomvonalát tereli, csökkenti a szíj rezgését.
- **Hidraulikus feszítő:** láncos hajtásoknál, de egyes szíjhajtásoknál is használják; motorolajnyomással vagy belső rugóval tart fenn előfeszítést.
- **Láncvezető sín:** műanyag vagy fém-elasztomer elem, amely a lánc oldalirányú kilengését és megcsapódását csökkenti.

A láncos hajtásnál a feszítő gyakran racsnis, hidraulikus vagy spirálrugós szerkezet. A feszítő előtolja a láncvezető sínt, ahogy a lánc nyúlik. Ha a feszítő teljesen kifut, a lánc nem feszíthető tovább, és a hajtásban lötyögés, majd esetleges átugrás következik be.



17.17. ábra. Láncos vezérműhajtás (a) új lánccal: ① hidraulikus feszítő, ② feszítősín a laza ágon, ③ vezetősín a húzott ágon, ④ olajfúvóka; (b) megnyúlt lánccal: a feszítő kifutott, a vezérműtengely késik (eltúlozva)

A megnyúlt lánc a húzott ágon hosszabb, ezért a vezérműtengely a főtengelyhez képest késik; a feszítő a laza ágon veszi fel a többlethosszt, amíg a dugattyúja ki nem fut. Az interaktív változatban a láncnyúlás csúszkájával követhető, hogyan nő a szögeltérés, és mikor éri el a 2. példa 5,0°-át, illetve a 6,0°-os példahatárt (egy fogátugrás ≈ 15,7° lenne).

Szabály. A vezérlés jelöléseit mindig a gyártói javítási utasításban megadott módon kell ellenőrizni. A főtengelyt és a vezérműtengely(eke)t a gyártó szerinti rögzítő szerszámmal, csappal vagy zárólemezzel rögzítsük, nem elegendő csak a festett jelek szemrevételezése.

Összefüggés. A négyütemű motor vezérműhajtásának áttétele:

$$i_{\text{vezérlés}} = \frac{n_{\text{főtengely}}}{n_{\text{vezérműtengely}}} = \frac{2}{1} = 2{,}0$$

Fogaskerekes hajtásnál ez a fogszámviszonyból adódik:

$$i = \frac{z_{\text{hajtott}}}{z_{\text{hajtó}}} = \frac{z_{\text{vezérműtengely}}}{z_{\text{főtengely}}}$$

Példa. Ha a főtengely-fogaskerék $z_1 = 19$ fogú, a vezérműtengely fogaskereke pedig $z_2 = 38$ fogú:

$$i = \frac{38}{19} = 2{,}0$$

Ez éppen a négyütemű motor vezérlésének megfelelő áttétel. A fogasszíjnál ugyanez a fogszámarány adja a szinkront.

A vezérműszíj csereperiódusa **mindig gyártói adat**. Tanulási példaként említhető, hogy sok modern személyautónál 90 000 km vagy 5 év, illetve egyes típusoknál 120 000 km vagy 6 év szintű periódus szerepel, de ezt a konkrét jármű dokumentációjából kell kikeresni (ellenőrizendő: gyártói karbantartási adat). A cserénél a vezérműszíj mellett általában a feszítőgörgőt, a vezetőgörgőt, és ha a vízszivattyút a szíj hajtja, akkor a vízszivattyút is cserélni kell, mert a későbbi meghibásodásuk a szíj károsodását okozhatja.

17.5.4. Kidolgozott példák

17.5.4.1. 1. példa: Vezérműhajtás áttétele és fordulatszám

Adott: egy négyütemű motor főtengelye $n_{\text{fő}} = 2\,400$ 1/min fordulatszámon forog. A vezérműtengely-fogaskerék fogszáma 38, a főtengely-fogaskeréké 19.

Keresett: a vezérműtengely fordulatszáma, n_{vez}.

Képlet és behelyettesítés:

$$n_{\text{vez}} = \frac{n_{\text{fő}}}{i} = \frac{n_{\text{fő}}}{\frac{z_{\text{vez}}}{z_{\text{fő}}}} = n_{\text{fő}} \cdot \frac{z_{\text{fő}}}{z_{\text{vez}}}$$

$$n_{\text{vez}} = 2\,400\ \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{19}{38} = 2\,400\ \frac{1}{\text{min}} \cdot 0{,}5 = 1\,200\ \frac{1}{\text{min}}$$

Ellenőrzés: a négyütemű szívómotornál a vezérműtengely fele annyit forog, mint a főtengely, tehát $2\,400/2 = 1\,200$. Az eredmény helyes.

17.5.4.2. 2. példa: Láncnyúlásból adódó vezérlési szögeltérés becslése

Adott: egy láncos vezérlésnél a főtengely és a szívó vezérműtengely között a diagnosztikai rendszer 5,0° főtengely-szögnyi eltérést jelez. A főtengely-fogaskerék 23 fogú, tehát egy fognyi hiba a főtengelyen $360^\circ/23 \approx 15{,}7^\circ$ elfordulásnak felel meg. A vezérműtengely-oldali lánckerék fogosztása $360^\circ/46 \approx 7{,}8^\circ$, de a főtengelyre vetítve ez $2 \cdot 7{,}8^\circ \approx 15{,}7^\circ$.

Keresett: átugrott-e a lánc egy fogat, vagy csak a lánc megnyúlt?

Megoldás:

Ha a lánc egy fogat átugrik, a főtengely és a vezérműtengely közötti eltérés egy fogosztásnyi, azaz körülbelül 15,7°. A mért 5,0° ennél jóval kisebb, ezért az eltérés valószínűleg nem fogátugrás, hanem a lánc nyúlása, a feszítő elhasználódása vagy a lánckerekek kopása miatti játék.

Ellenőrzés: a gyártói diagnosztikai adatok megadják a megengedett szögeltérés határát. Tanulási példaként legyen a megengedett érték 6,0° főtengely-szög (ellenőrizendő: gyártói adat). Ekkor az 5,0° még határon belül van, de már kopásra utal, ezért lánc-, feszítő- és lánckerék-ellenőrzés szükséges.

17.5.5. Előírások

Előírás. A vezérműszíj vagy lánc cseréperiódusát a jármű gyártójának karbantartási utasítása adja meg; ettől eltérni nem szabad. A hatósági műszaki vizsgán a vezérlés állapotát a motor megfelelő működése és a kipufogógáz-értékek ellenőrzése során értékelik, de a vizsgálóállomás nem bontja meg a motort (ellenőrizendő: a hatályos vizsgálati gyakorlat szerint). A beépített alkatrészeknek a gyártói követelményeknek kell megfelelniük; ismeretlen eredetű, hamisított vezérműszíj vagy feszítő használata tilos.

Figyelem. A vezérműhajtás javítása közben a főtengely elforgatása a gyártói rögzítés nélkül a szelep és a dugattyú ütközését okozhatja interferenciás motornál. A főtengelyt csak a gyártó által megadott irányba és módon forgasd, kézzel, gyújtás kikapcsolt állapotban. Elektromos indítóval soha ne forgasd a szerelés ellenőrzéséhez.

17.5.6. Minőségellenőrzés

A vezérműhajtás javítás utáni ellenőrzőlistája:

1. Motor azonosítása, gyártói adatlap és a megfelelő csavarméretű rögzítőszerszámok kiválasztása.
2. A motor hideg, gyújtás kikapcsolt, az akkumulátor negatív saruja le van kötve (ha a gyártó előírja).
3. A főtengely az előírt felső holtponton áll, a rögzítőcsap vagy zárócsavar a helyén rögzíthető.
4. A vezérműtengely(ek) jelölései vagy rögzítő furatai pontosan illeszkednek a hengerfejjel vagy a rögzítő szerszámmal.
5. Az új szíj/lánc feszítése a gyártó szerinti módon, például excenterrel, automatikus feszítővel vagy nyomatékkulccsal beállítva.
6. A feszítőgörgő, vezetőgörgő, láncvezető sín és a vízszivattyú új vagy ellenőrzötten hibátlan.
7. A motor kézzel legalább két teljes főtengely-fordulatot gond nélkül körbeforgatható, nincs ütközés.
8. A jelölések a két fordulat után ismét pontosan egybeesnek.
9. Minden rögzítőcsavar a gyártói nyomatékkal vagy nyomaték+szög eljárással rögzítve (a nyomaték tanulási példa, ellenőrizendő: gyártói adat).

10. Próbaindítás után a motor egyenletesen jár, a diagnosztikai rendszer nem jelez vezérmű- vagy szenzorhibát.

17.5.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy láncos vezérlésű, négyhengeres Otto-motorral szerelt autó tulajdonosa hidegindításkor rövid, fémes csörgést hall, és a motor alapjáraton enyhén egyenetlen. A hibakód-olvasó a vezérműtengely-helyzet és a főtengely-helyzet jeladó közötti korrelációs hibát tárol. A szerelő az élő adatokban megfigyeli, hogy a szívó vezérműtengely célhelyzete és tényleges helyzete üzemmelegen, alapjáraton $3\,^\circ$–$5\,^\circ$ között ingadozik, terhelés alatt pedig a vezérmű-lánc feszessége nem stabil. A láncfeszítő kiszerelése után látszik, hogy a feszítő racsnis szerkezete kopott, a lánc oldalirányú kilengése a vezető sínen megnőtt. A javítás a lánckészlet cseréje: új lánc, lánckerekek, vezetősínek, feszítő és az olajteknő ellenőrzése, mert a kopott feszítődarabkák a szívószűrőbe kerülhetnek. A csere után a vezérlési szögeltérés visszaáll a gyártói megengedett tartományba, a motor egyenletesen jár, a csörgés megszűnik.

17.5.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél: fogasszíj, feszítőgörgők, vezetőgörgők és a szíjjal hajtott vízszivattyú cseréje egy soros, kétszer felülfekvő vezérműtengelyes Otto-motoron.

Jármű- és adatazonosítás: járműazonosító szám (VIN), motorszám, típus, modellév, motorjel. A gyártói javítási adatból: csereperiódus, rögzítőszerszám-készlet, meghúzási nyomatékok, szíjfeszítés, feszítő beállítás.

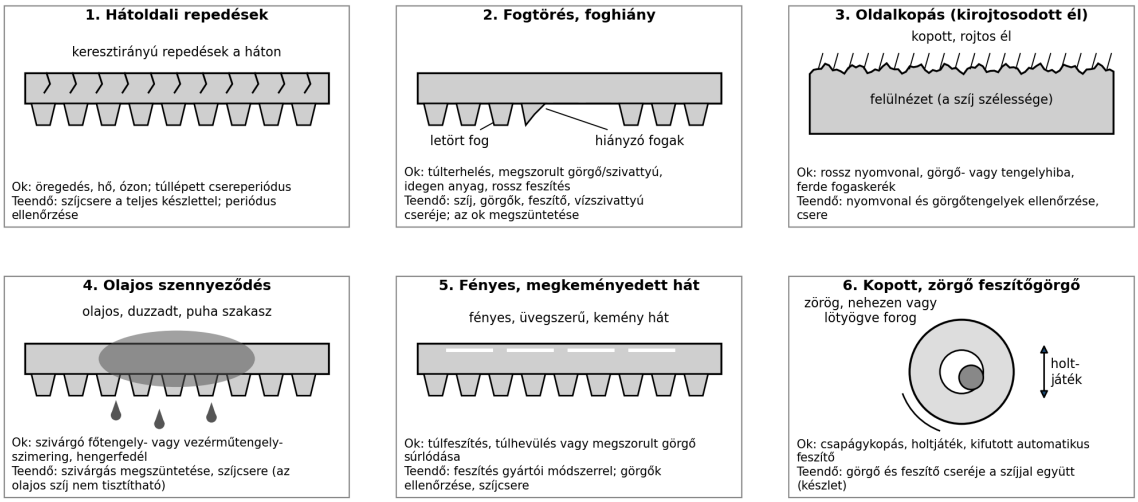
Szükséges szerszámok és anyagok: kéziszerszám-készlet, nyomatékkulcs, rögzítőcsap-készlet a főtengelyhez, vezérműtengely-rögzítő lemez vagy csap, forgatáshoz főtengely-forgató, tömítőanyag, hűtőfolyadék-gyűjtő edény, új vezérműszíj-készlet, vízszivattyú, hűtőfolyadék, tömítések, rongyok, egyéni védőeszközök.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: jármű alá benyúláskor emelő vagy bak biztonságos használata; forró motoron ne kezdj szerelést; hűtőfolyadékot zárt edénybe gyűjtsd, élővízbe vagy talajba ne engedd; a leeresztett folyadékot veszélyes hulladékként kezeld.

17.5.8.1. Munkalépések: vezérműszíj-csere

1. **Előkészítés:** gyújtás ki, kulcs távol, akkumulátor negatív sarujának lekötése a gyártói előírás szerint. A hűtőrendszert nyomásmentesítsd, hűtőfolyadékot engedd le.
2. **Hozzáférő elemek leszerelése:** motorburkolat, légbeömlő cső, segédberendezések szíjai, esetleg a jobb első kerék és kerékjárat bélés, valamint a főtengely-tárcsa burkolata.
3. **Felső holtpont és rögzítés:** forgasd a főtengelyt a gyártói forgásirányban az első henger felső holtpontjára. A főtengely-rögzítő csapnak vagy szerszámnak pontosan illeszkednie kell. A vezérműtengelyek rögzítő furatait a gyártói lemezzel vagy csapokkal rögzítsd.
4. **Régi szíj és részegységek kiszerelése:** jelöld meg a forgásirányt, ha a szíjat ideiglenesen vissza kellene szerelni. Oldd a feszítőt, vedd le a fogasszíjat. Szereld ki a feszítőgörgőt, vezetőgörgőket, majd a vízszivattyút.

5. **Felületek ellenőrzése és tisztítása:** a tömítőfelületek legyenek tiszták, sérülésmentesek. A szíjfogak maradványát ne hagyd a fogaskerekeken. Az olajszivárgást, különösen a főtengely- és vezérműtengely-szimeringek felől, szüntesd meg, mert az olaj tönkreteszi az új szíjat.



17.18. ábra. A kiszerelt fogasszíj és a görgők jellemző hibái, okuk és a teendő (sematikus rajz, fotóval kiegészíthető)

A régi szíjat és görgőket a fenti hibaképekkel vesd össze: az olajos szíj szimeringhibára, az oldalkopás nyomvonal- vagy görgőhibára, a fényes hát túlfeszítésre utal, ezért az okot az új szíj felrakása előtt meg kell szüntetni.

6. **Új alkatrészek beépítése:** új vízszivattyú a gyártói tömítéssel, majd új görgők és feszítő. A feszítőt még ne húzd véglegesen feszesre.

7. **Szíj felhelyezése és feszítése:** az új fogasszíjat a gyártói nyomvonal szerint, a forgásirány jelölésével megegyező irányban helyezd fel. A feszítő beállítását a gyártói utasítás szerint végezd; automatikus feszítőnél az ütközőknek a kijelölt helyzetbe kell kerülniük.

8. **Ellenőrző forgatás:** távolítsd el a rögzítőcsapokat, és a főtengelyt kézzel, a megfelelő szerszámmal forgasd körbe legalább két teljes fordulatot. Ütközést, rendellenes ellenállást észlelve azonnal állj meg.

9. **Jelek visszaellenőrzése:** állítsd vissza a főtengelyt a felső holtpontra, és ellenőrizd, hogy a rögzítőszerszámok ismét pontosan illeszkednek. Ha nem, a vezérlés nem áll jól; ismételd a beállítást.

10. **Összeszerelés:** szereld vissza a burkolatokat, a segédberendezések szíját, a légbeömlőt. A hűtőfolyadékot töltsd fel, légtelenítsd a rendszert.

11. **Próbaindítás és utóellenőrzés:** indítsd a motort, ellenőrizd a hűtőfolyadék-szintet, a szivárgást, a rendellenes zajt. Hibakód-olvasóval győződj meg arról, hogy nincs vezérlési, gyújtási vagy érzékelőhiba.

17.5.9. Tipikus hibák

1. **A főtengely nincs rögzítve.** A szerelő csak a jelölésre hagyatkozik, de a szíj levételekor a főtengely elmozdul. Interferenciás motornál ez veszélyes, és a szelepösszeütközés kockázatát

növeli. Helyes gyakorlat: a rögzítőcsapot mindig használd, és csak az ellenőrző forgatáshoz távolítsd el.

2. **A vízszivattyú vagy a feszítőgörgő megtartása.** A szíjat kicserélik, de a kopott feszítőgörgőt vagy a szíj hajtotta vízszivattyút nem. A régi görgő csapágya később megszorulhat, a szíj elkophat vagy leugorhat. Helyes gyakorlat: a szíjjal együtt a kitben szállított forgó elemeket is cseréld.

3. **Rossz feszítés.** A túl feszes szíj túlterheli a csapágyakat, a túl laza szíj átugorhat. A feszítést a gyártói utasítás szerint, a megfelelő szerszámmal állítsd be; ne „érzésre” döntsd el.

4. **Jelek egy foggal való eltérése.** A szíj felhelyezése után egy foggal arrébb csúszik a vezérműtengely-fogaskerék. A szabad szemmel alig látható eltérés indítási nehézséget, teljesítménycsökkenést és hibakódot okoz. Helyes gyakorlat: a két fordulat után a rögzítőszerszámokkal, ne csak festett jelekkel ellenőrizz.

5. **A régi szíj irányának figyelmen kívül hagyása.** Ha egy használt szíjat ideiglenesen visszaszerelnek, a forgásirány megváltoztatása a szíj belső szerkezetét terhelheti. Új szíjnál is a gyártói nyíl vagy jelölés szerint kell felhelyezni.

17.5.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Négyütemű OHC-motornál a főtengely és a vezérműtengely fordulatszámának aránya $1:2$, ezért a főtengely fordul gyorsabban. Indokold.

2. **Számítás.** A főtengely-fogaskerék 20 fogú, a vezérműtengely-fogaskerék 40 fogú. Mekkora a vezérműtengely fordulatszáma, ha a főtengely $3\,000$ 1/min fordulatszámon forog?

3. **Rajzolvasás.** A fenti folyamatábrán melyik lépésben kell először ellenőrizni, hogy a rögzítőcsapok illeszkednek-e?

4. **Mi a hiba ebben a leírásban?** „A vezérműszíj cseréje után a motort önindítóval forgassuk meg, és ha nem ütközik, a vezérlés jó.”

5. **Igaz vagy hamis?** Láncos vezérlésnél a lánc nem nyúlhat meg, csak a feszítő kopik.

6. **Fogalmak.** Mit jelent az interferenciás motor?

17.5.11. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a vezérműhajtás három alapvető alakzáró hajtásfajtáját, és nevezd meg mindegyik jellemző előnyét.

2. feladat (A) Egy négyütemű motor vezérműtengely-fogaskereke 36 fogú, a főtengely-fogaskerék 18 fogú. Ellenőrizd, hogy az áttétel megfelel-e a négyütemű motor követelményének.

3. feladat (B) Fogasszíjas motoron a főtengely-fogaskerék osztásköre $d_1 = 50\,\text{mm}$, a vezérműtengely-fogaskerék osztásköre $d_2 = 100\,\text{mm}$ (tanulási példa). Igazold, hogy a fordulatszám-áttétel ugyancsak $2:1$, ha a szíj nem csúszik. Melyik szíjhajtási képletet használod?

4. feladat (B) Vezérműlánc-csere után a diagnosztikai rendszer a főtengely és a szívó vezérműtengely között $8{,}5^\circ$ főtengely-szögnyi eltérést mér. A főtengely-fogaskerék 21 fogú. Becsüld meg, hogy a lánc átugorhatott-e egy fogat, ha egy foghiba a főtengelyen $360/21 \approx 17{,}1^\circ$. Indokold.

5. feladat (C) Tegyük fel, hogy egy vezérműszíj 120 000 km megtétele után elszakad. A gyártói csereperiódus példaként 90 000 km vagy 5 év (ellenőrizendő: gyártói adat). Magyarázd el, milyen károk keletkezhetnek interferenciás motornál, és miért nem elegendő a kilométeróra-állás figyelése, ha a jármű keveset fut, de sokat áll.

6. feladat (D) Egy ügyfél autójánál hidegindításkor csörgő hang hallatszik, és a motorellenőrző lámpa világít. A rendszerteszter a vezérműtengely-helyzet és főtengely-helyzet közötti korrelációs hibát, valamint 7,2° főtengely-szögnyi eltérést mutat alapjáraton. A gyártói megengedett határ példaként 5,0° (ellenőrizendő: gyártói adat). A láncfeszítő útja a maximum közelében van. Határozd meg a valószínű okot, és javasold a javítási lépéseket.

17.5.12. Megoldások

17.5.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A főtengely és a vezérműtengely fordulatszámának aránya $2:1$, tehát a főtengely kétszer olyan gyorsan forog, mint a vezérműtengely. Az állítás második fele igaz, de az első arány hibás.
2. $n_{\text{vez}} = 3\,000\ \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{20}{40} = 1\,500\ \frac{1}{\text{min}}$.
3. A „Forgatás az 1. henger felső holtpontjára, rögzítőcsapok ellenőrzése” lépésben.
4. Az önindítóval való forgatás tilos, mert a motort kézzel kell körbeforgatni, és ütközés esetén azonnal meg kell állni. Az önindító nagy erővel kárt okozhat.
5. **Hamis.** A lánc is megnyúlhat a csapok, perselyek és lemezek kopása miatt, és a lánckerekek fogai is kopnak.
6. Olyan motor, amelynél a dugattyú felső holtpontja és a teljesen nyitott szelep útja átfedi egymást, ezért a vezérlés elcsúszásakor vagy szíjszakadáskor a szelep és a dugattyú ütközhet.

17.5.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (megoldás) - Fogasszíj: csendes, könnyű, olcsó, de olajra érzékeny és periódusosan cserélni kell. - Lánc: hosszú élettartamú, olajos térben fut, de feszítőrendszere bonyolultabb. - Fogaskerék: nagyon tartós, de nehéz és zajos.

2. feladat (megoldás)

$$i = \frac{z_{\text{hajtott}}}{z_{\text{hajtó}}} = \frac{36}{18} = 2{,}0$$

A négyütemű motor követelménye $2:1$, tehát az áttétel megfelel.

3. feladat (megoldás)

Szíjhajtásnál az áttétel elméleti értéke az átmérőviszony:

$$i_{\text{elm}} = \frac{d_{\text{hajtott}}}{d_{\text{hajtó}}} = \frac{100}{50} = 2{,}0$$

Mivel a fogasszíj alakzáró, csúszás nincs, ezért a tényleges áttétel is $2:1$. Ez a fordulatszám-viszonyt is meghatározza: $n_{\text{vez}} = n_{\text{fő}}/2$.

4. feladat (megoldás)

Egy foghiba a főtengelyre vetítve:

$$\Delta\varphi_{\text{fog}} = \frac{360^\circ}{21} \approx 17{,}1^\circ$$

A mért 8,5° ennek körülbelül a fele, tehát a lánc valószínűleg nem ugrott át egy teljes fogat, hanem a lánc nyúlása, a feszítő kopása vagy a lánckerekek fogkopása miatt késik a vezérműtengely. A pontos megítéléshez gyártói diagnosztikai határérték szükséges.

5. feladat (megoldás)

Interferenciás motornál a szakadás pillanatában a főtengely tovább forog, a vezérműtengely azonban megáll. Ha valamelyik hengerben a dugattyú felső holtpont közelében van, és a szelep még nyitott, a dugattyú nekiütközhet a szelepnek. A kár jellemzően elgörbült szelepek, sérült szelepvezetők, törött szelephíd, károsodott dugattyú, sőt hajtórúd-görbülés is lehet. A kilométeróra-állás mellett az időt is figyelni kell: a szíj anyaga öregszik, a repedések, a hőciklusok és a páratartalom is károsítják. A keveset futó, de sokat álló autóban a csereperiódus időalapú határa hamarabb elérhető.

6. feladat (megoldás)

Tünet: hidegindítási csörgés, hibakód, 7,2° eltérés, feszítő maximum közelében. **Valószínű ok:** a vezérműlánc és/vagy a lánckerekek, valamint a feszítőrendszer elhasználódott. **Javasolt javítás:** bontás után ellenőrizd a lánc oldalirányú kilengését, a lánckerekek fogkopását, a vezetősínek és a feszítő állapotát. A megbízható javítás a komplett lánckészlet cseréje: lánc, lánckerekek, vezetősínek, feszítő, a gyártói nyomatékokkal és a gyártói rögzítőszerszámok használatával. Végül a motorolaj és az olajszűrő ellenőrzése, mert a kopadék az olajkörbe kerülhet. A javítás után a vezérlési szögeltérésnek a gyártói megengedett tartományba kell kerülnie, és a hibakódot törölni kell.

17.5.13. Rövid összefoglaló

A vezérműhajtás a főtengely és a vezérműtengely közti alakzáró hajtás, és négyütemű motornál az áttétele mindig $2:1$. Három fő fajtája a fogasszíj, a lánc és a fogaskerék. A fogasszíj csendes és olcsó, de olajra érzékeny és periódusos csere szükséges; a lánc hosszabb élettartamú, de a lánc és a feszítőrendszer kopik; a fogaskerék tartós, de zajos és ritkább személyautóknál. A feszítők mechanikus, automatikus vagy hidraulikus kivitelűek lehetnek, a láncos hajtásnál vezetősínek csökkentik a lánc lengését. Az interferenciás motorban a vezérlés elcsúszása vagy a szíj szakadása dugattyú–szelep ütközést okozhat. A szíjcsere során a motort a gyártói jelöléseknek megfelelően kell rögzíteni, a főtengelyt a gyártói forgásirányban, kézzel forgatni, és két teljes fordulat után újra ellenőrizni a jeleket. **Továbbvitt eredmény.** A vezérlési idő beállításának itt tanult módszerét a Hengerfej, szelepek és a vezérlés javítása alfejezetben használjuk a hengerfej-szerelés utáni vezérlés-beállításnál.

17.5.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben használt fizikai és gépészeti alapelvek az áttétel, a fogaskerék- és szíjhajtás elméletéből következnek. A konkrét csereperiódusok, megengedett láncnyúlási szögeltérések, a feszítő-beállítási módok, a rögzítőszerszámok, a meghúzási nyomatékok, valamint a hűtőfolyadék- és tömítési követelmények **gyártói javítási adatok**, ezért a javítás előtt mindig az adott típus dokumentációját kell ellenőrizni. A hatósági műszaki vizsgálatra vonatkozó utalás a hatályos

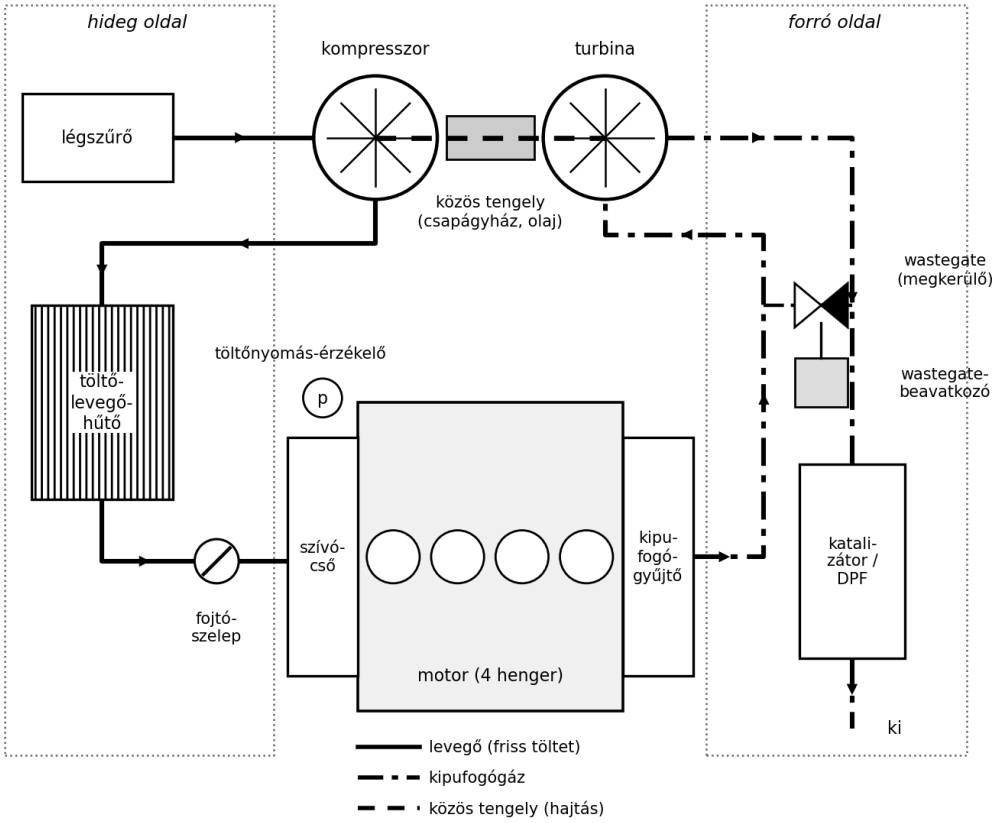
magyar vizsgálati gyakorlat szerint ellenőrizendő. A fenti számpéldák tanulási jellegűek, nem mért értékek.

17.6. Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés

Egy 2,0 literes, turbófeltöltős dízellel szerelt autó azzal a panasszal érkezik a műhelybe, hogy gyengébb lett, és a motorhiba-lámpa világít. A rendszerteszter P0299 kódot mutat: „töltőnyomás túl alacsony”. Mielőtt a tanuló drága turbót cserélne, meg kell értenie, hogy a hiba éppúgy lehet a nyomóoldali légcső repedése, a szabályozószelep vagy a töltőlevegő-hűtő tömítésének hibája. Ez a fejezet a feltöltés elvétől elvezet a szerkezeti felépítésig és az üzemeltetési tanulságokig.

17.6.1. Szemléletes kép: a turbófeltöltő levegő- és kipufogógáz-útja

A turbófeltöltőt egyszerűsítve így ábrázolhatjuk: a légszűrőből érkező levegő a kompresszorba kerül, ahol a nyomása megnő, majd a töltőlevegő-hűtőn át a motor hengereibe jut. A hengerekből távozó kipufogógáz viszont a turbina kerekét forgatja meg, mielőtt a kipufogórendszerbe távozna; a turbina és a kompresszor közös tengelyen van, ezért a kipufogógáz energiája hajtja a sűrítést. Az alábbi vázlaton a folytonos vonal a levegő, a pont-vonalas a kipufogógáz útját, a szaggatott vonal a turbinát és a kompresszort összekötő közös tengelyt (a hajtáskapcsolatot) jelöli.



17.19. ábra. A turbófeltöltő levegő- és kipufogógáz-útja: hideg ág (légszűrő → kompresszor → töltőlevegő-hűtő → fojtószelep → szívócső), forró ág (gyűjtőcső → turbina, wastegate-megkerülővel → katalizátor/DPF); a turbina és a kompresszor közös tengelyen (szaggatott)

Az ábra jól mutatja, hogy a turbófeltöltőnek két fő szekciója van: a **hideg oldal** (kompresszor, töltőlevegő-hűtő) és a **forró oldal** (turbina, kipufogóoldal), amelyeket egy vékony tengely köt össze.

17.6.2. A feltöltés célja és alapelve

Definíció. A feltöltés olyan eljárás, amellyel a motor hengereibe a szívólöket alatt a környezeti nyomásnál nagyobb nyomású levegőt (vagy keveréket) juttatunk, így ugyanakkora hengertérfogatba több oxigén kerül, és nagyobb tüzelőanyag-mennyiség égethető el, növelve a középnyomást és a teljesítményt.

Szívómotorban a hengerbe jutó levegő tömegét alapvetően a henger térfogata, a szívócső áramlási veszteségei és a szívószelep-időzítés határozza meg. A környezeti nyomásnál nagyobb (jellemzően 1,5–2,5 bar abszolút; ellenőrizendő) töltőnyomással a beszívott levegő tömegét megnöveljük, ezért az effektív középnyomás is megnő.

Összefüggés. Jó közelítéssel az effektív középnyomás és a teljesítmény arányos a hengerbe jutó levegő tömegével, feltéve, hogy a tüzelőanyag-ellátás és az égés hatásfoka nem romlik. A beszívott levegő tömegét az ideális gáztörvényből számolhatjuk:

$$p = \rho R_{\text{levegő}} T, \quad \text{azaz} \quad \rho = \frac{p}{R_{\text{levegő}} T},$$

ahol p a levegő abszolút nyomása, T az abszolút hőmérséklete, $R_{\text{levegő}} \approx 287\,\text{J/(kg K)}$ a levegő gázállandója, ρ a sűrűsége.

A feltöltött négyütemű motor p–V diagramjában a szívóütem alatt a hengerben uralkodó nyomás magasabb, mint a szívómotornál, ezért a diagram területe, azaz az egy ciklus alatt végzett munka nagyobb. Ezzel együtt a csúcsnyomás és a kipufogógáz-hőmérséklet is nő, ezért a feltöltött motorok szelepeit, dugattyúját, tömítéseit és hűtőrendszerét nagyobb hő- és nyomásigénybevételre tervezik, a sűrítési arányt pedig gyakran alacsonyabbra veszik.

Töltési elvek. A feltöltéshez szükséges mechanikai energiát többféle forrásból vehetjük:

- **kipufogógáz-turbófeltöltés**: a kipufogógáz entalpiáját hasznosítja, amely szívómotornál részben veszendőbe menne;
- **mechanikus feltöltés**: a kompresszort a főtengely hajtja;
- **dinamikus (rezonancia-) feltöltés**: a szívócső akusztikai nyomáshullámait használja fel;
- **Comprex**: a kipufogógáz nyomáshullámát közvetlenül a szívólevegőre viszi át.

A gyakorlatban legelterjedtebb a kipufogógáz-turbófeltöltő.

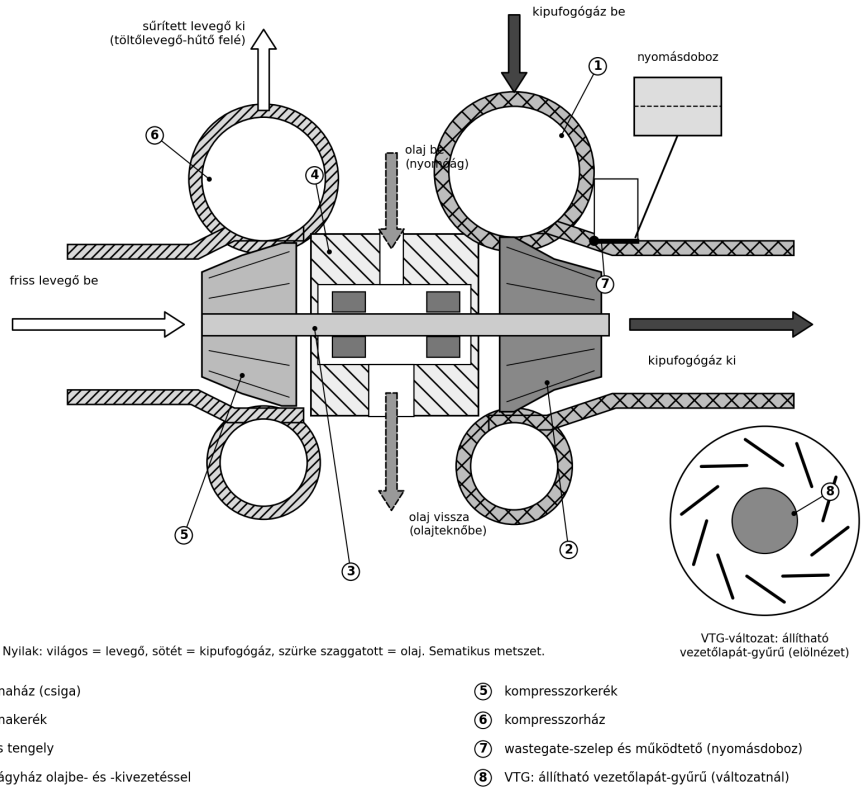
17.6.3. Kipufogógáz-turbófeltöltés elve, szerkezete

A kipufogógáz-turbófeltöltő (turbocharger; a műhelyben egyszerűen „turbó”) a kipufogógáz energiáját két lépésben hasznosítja. A kipufogógáz először a turbinaházba érkezik, ahol a turbinakerék lapátjain expandál, és megforgatja a tengelyt. A tengely másik végén a kompresszorkerék található, amely a légszűrőből szívott légköri levegőt felgyorsítja, majd a diffúzorban a sebességből nyomást állít elő. A sűrített levegő a töltőlevegő-hűtőbe, onnan pedig a szívószelepekhez jut.

Szerkezeti részek:

- **turbinaház**: kipufogógáz-ellenálló, nagy hőmérsékletet tűrő öntöttvas vagy öntött acél; a kipufogócső csatlakozik hozzá;

- **turbinakerék**: nagyon nagy fordulatszámon, például 60 000–200 000 1/min (ellenőrizendő: gyártói adat) tartományban forog, hőálló ötvözetből készül;
- **kompresszorház**: általában alumíniumöntvény, benne a kompresszorkerék;
- **közös tengely**: a turbinakerék és a kompresszorkerék közötti erőátvitel;
- **csapágyazás**: rendszerint lebegő gyűrűs siklócsapágy, amelyet a motorolaj ken; egyes modern turbóknál golyóscsapágy is előfordul;
- **szabályozóelem**: a maximális töltőnyomást korlátozó wastegate (kipufogóoldali megkerülő szelep) vagy változtatható geometriájú lapátrendszer;
- **töltőlevegő-hűtő**: a sűrítés közben felmelegedett levegő hőmérsékletének csökkentésére.



17.20. ábra. A turbófeltöltő sematikus hosszmetszete: ① turbinaház (csiga), ② turbinakerék, ③ közös tengely, ④ csapágyház olajbe- és -kivezetéssel, ⑤ kompresszorkerék, ⑥ kompresszorház, ⑦ wastegate-szelep és működtető (nyomásdoboz), ⑧ VTG-változat állítható vezetőlapát-gyűrűje (betét)

A metszeten a friss levegő tengelyirányban érkezik a kompresszorkerékre, és a csigaházból sugárirányban, sűrítve távozik; a kipufogógáz a turbinacsigán át a kerék kerülete felől lép be, és tengelyirányban távozik. A csapágyházba felülről érkezik a nyomóolaj, alul széles csatornán folyik vissza. Az interaktív változatban a levegőoldal, a gázoldal és az olajkör külön is megjeleníthető, és a wastegate nyitott állapota is megnézhető.

A turbófeltöltő tengelyének nagy fordulatszáma és a forró oldala miatt a kenés és a hűtés életfontosságú. A csapágyazásba a motor kenőköréből érkezik az olaj; a kipufogóoldali hőterhelés miatt modern motoroknál a motor leállítása után elektromos hűtőszivattyú keringteti a hűtőfolyadékot.

17.6.3.1. Töltőnyomás-szabályozás wastegate-tel

A kipufogógáz energiája a motor terhelésével és fordulatszámával nő, ezért szabályozás nélkül a turbó nagy terhelésnél túl nagy nyomást állítana elő. A klasszikus megoldás a **wastegate** (kipufogóoldali megkerülő szelep): amikor a töltőnyomás eléri az előírt értéket, a szelep a kipufogógáz egy részét közvetlenül a turbina mellett elvezeti a kipufogórendszerbe, így a turbina teljesítménye és a kompresszor nyomása korlátozódik.

A wastegate-et a motorvezérlő elektromos vagy pneumatikus szeleppel működteti. A vezérlő a tényleges töltőnyomást töltőnyomás-érzékelővel figyeli, és a beavatkozóval a kért és a mért nyomás különbségét szabályozza. A nyitott wastegate tipikusan légtömegáram- és töltőnyomás-csökkenést, a beragadt, zárt wastegate viszont túltöltést okozhat. A túltöltést a diagnosztika P0234 jellegű kóddal és motorvédelmi üzemmóddal érzékelteti.

Előírás. A gyártói töltőnyomás-értékek mindig abszolút vagy túlnyomás formában vannak megadva; javítás előtt mindig az adott jármű értékét kell kiválasztani a gyártói javítási adatbázisból. Az itt szereplő példák tanulási célúak.

A töltőlevegő-hűtő (charge air cooler, intercooler) feladata a sűrített levegő hőmérsékletének csökkentése, mert a kompresszió a levegőt melegíti. A hűtő két szempontból előnyös: a hidegebb levegő sűrűbb, így nagyobb oxigénmennyiség jut a hengerbe, és a hidegebb töltet csökkenti a kopogás hajlamát Otto-motoroknál. A töltőlevegő-hűtő gyakran levegő–levegő hőcserélő, de dízelmotoroknál víz–levegő változat is előfordul.

17.6.4. Turbófeltöltés dinamikai problémái és fejlett megoldások

A turbófeltöltő fő hátránya a **turbólyuk** (turbo lag): kis fordulatszámon és kis kipufogógáz-áramnál a turbina lassan gyorsul, így a töltőnyomás csak késve nő a fojtószelep hirtelen nyitásakor. Ennek csökkentésére több szerkezeti megoldás terjedt el.

Változtatható geometriájú turbó (VGT). A VGT turbinaház beömlő részén a motorvezérlő által mozgatott, állítható terelőlapátok vannak. Kis kipufogógáz-áramnál a lapátok szűkítik a keresztmetszetet, ezért a gáz sebessége a turbinakeréknél nagyobb lesz, és a turbina gyorsabban felpörög. Nagy terhelésnél a lapátok nyitnak, a nagyobb gázáram pedig akadály nélkül expandál. A VGT így a turbólyukat jelentősen csökkenti, de a lapátok hőtől és kokszolódástól beragadhatnak, ezért a kipufogógáz és a vezérmű időzítése, az olajfogyasztás és az égés minősége befolyásolja az élettartamát.

Kétfokozatú (tandem vagy soros) feltöltés. Nagy teljesítménysűrűségnél egyetlen turbó nem fed le elég széles fordulatszám-tartományt. A két turbót gyakran sorba kötik: egy kisebb turbó a kis gázáramú, egy nagyobb a nagy gázáramú tartományban hatékony. A két turbó átváltása a motor vezérlőrendszerével szabályozott. Egyes elrendezésekben a hengersorokat külön turbók táplálják (párhuzamos két turbó), vagy a turbinaház két külön csatornával rendelkezik (twin-scroll), ami a kipufogógáz-lüktetést jobban kihasználja.

Elektromos rásegítés. A turbótengelyre épített villanymotor kis fordulatszámon meghajthatja a kompresszort, így szinte azonnal felépül a töltőnyomás. A rendszer nagyobb villamos teljesítményt igényel, ezért 48 V-os fedélzeti hálózattal vagy hibrid hajtással kombinálják; egyes megoldások a kipufogógáz többletenergiáját generátorként vissza is termelik (ellenőrizendő: a konkrét rendszer gyártói adatai).

17.6.5. Comprex, mechanikus feltöltők és dinamikus feltöltés

Comprex (nyomáshullám-feltöltő). A Comprex egy cellás dobra hasonlító forgórészt használ, amely a kipufogógáz nyomáshullámát közvetlenül a szívólevegőre viszi át. A kipufogógáz és a friss levegő nem keveredik, a dobban a nyomáshullámok hatnak a levegőre. A rendszer nagyon gyors válaszú, de a szerkezet bonyolultsága és az érzékenysége miatt ma már ritkán fordul elő. A régi járműveken találkozhatunk vele, ezért a diagnosztikánál a gyártói adatot kell követni.

Mechanikus feltöltők. A mechanikus feltöltő a kompresszort közvetlenül a főtengelyről, ékszíjjal vagy lánccal hajtja, ezért nincs turbólyuk. Két elterjedt típusa:

- **Roots-feltöltő**: két, ellentétes irányban forgó, azonos méretű, ívelt vagy egyenes forgórész között a levegő a ház mentén a nyomóoldalra szorul. A sűrítés nagy része a nyomóoldalon következik be, ezért a hatásfoka közepes;
- **csavarkompresszor**: két, egymásba kapcsolódó csavarfelületű forgórész között a gáztér a forgás közben folyamatosan csökken, így belső sűrítés jön létre, jobb hatásfokkal.

A mechanikus feltöltő a hajtási teljesítmény egy részét elvonja, ezért fogyasztásnövelő lehet; általában elektromágneses tengelykapcsolóval kiiktatható, amikor nincs szükség feltöltésre.

Dinamikus (rezonancia-) feltöltés. A szívócsőben a levegő oszcillál: amikor a szívószelep zár, a levegőoszlop tehetetlensége nyomáshullámot indít, amely a csővégen visszaverődik. Ha a csőhosszt és a fordulatszámot úgy hangolják, hogy a visszavert nyomáshullám a szívóütem végén, a szívószelep zárása előtt érkezzen a szelephez, akkor a többletnyomás további levegőt juttat a hengerbe, és a henger töltési foka megnő. Ez nem igazi sűrítő, hanem rezonanciahatás. A gyártók változtatható hosszúságú szívócsövekkel vagy átkapcsolható rezonanciatartályokkal szélesítik a kedvező fordulatszám-tartományt.

17.6.6. Kidolgozott példa számítás: a töltőlevegő-hűtő hatása a levegősűrűségre

Egy feltöltött motor a kompresszor után **1,8 bar abszolút nyomást** állít elő. A töltőlevegő-hűtő nélkül a hőmérséklet **120 °C**, a hűtővel pedig **60 °C** lenne. Hány százalékkal nő a beszívott levegő sűrűsége a hűtő hatására?

A levegő sűrűsége:

$$\rho = \frac{p}{R_{\text{levegő}} T}.$$

A nyomás állandó: $p = 1{,}8\,\text{bar abs.} = 1{,}8 \cdot 10^5\,\text{Pa}$, $R_{\text{levegő}} = 287\,\text{J/(kg K)}$.

- Hűtő nélkül: $T_1 = 120\,^\circ\text{C} = 393\,\text{K}$.

$$\rho_1 = \frac{1{,}8 \cdot 10^5}{287 \cdot 393} = 1{,}596\,\text{kg/m}^3.$$

- Hűtővel: $T_2 = 60\,^\circ\text{C} = 333\,\text{K}$.

$$\rho_2 = \frac{1{,}8 \cdot 10^5}{287 \cdot 333} = 1{,}883\,\text{kg/m}^3.$$

A sűrűség növekedése:

$$\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \cdot 100 = \frac{1{,}883 - 1{,}596}{1{,}596} \cdot 100 \approx 18\%.$$

A hűtő tehát mintegy 18%-kal nagyobb oxigéntömeg bevitelét teszi lehetővé, ezért a teljesítmény is hasonló arányban növekedhet. A példa jól mutatja, miért nem szabad a töltőlevegő-hűtőt kiiktatni.

17.6.7. Kidolgozott példa számítás: a feltöltött motor teljesítményének becslése

Adott: egy négyütemű motor teljes lökettérfogata $V_H = 0{,}002\,\mathrm{m}^3$ (2,0 liter), fordulatszáma $n = 4000\,1/\mathrm{min}$. Szívó üzemmódban az effektív középnyomás $p_{\mathrm{e,sz}} = 9\,\mathrm{bar} = 9 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$, feltöltéssel $p_{\mathrm{e,f}} = 14\,\mathrm{bar} = 1{,}4 \cdot 10^6\,\mathrm{Pa}$.

Keresett: az effektív teljesítmény mindkét esetben.

Képlet: négyütemű motornál, ha n-et 1/min-ben adjuk meg,

$$P_{\mathrm{e}} = \frac{p_{\mathrm{e}} V_H n}{120}.$$

Szívó üzemmódban:

$$P_{\mathrm{e,sz}} = \frac{9 \cdot 10^5 \cdot 0{,}002 \cdot 4000}{120} = 60\,000\,\mathrm{W} = 60\,\mathrm{kW}.$$

Feltöltéssel:

$$P_{\mathrm{e,f}} = \frac{1{,}4 \cdot 10^6 \cdot 0{,}002 \cdot 4000}{120} = 93\,333\,\mathrm{W} = 93{,}3\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: a feltöltött teljesítmény 56%-kal nagyobb, ami összhangban van azzal, hogy a középnyomás 9-ről 14 barra nőtt. A 2,0 literes dízel 93 kW értéke reális. Az adatok tanulási példák.

Hibás gondolatmenet: ha a töltőnyomást **túlnyomásként** kezeljük abszolút helyett, a sűrűségszámítás téves lesz. Például ha a 1,8 bar túlnyomást 1,8 bar abszolút nyomásnak vesszük, a kiszámolt sűrűség alacsonyabb, mint a valós, ami hibás teljesítménybecsléshez vezet. A motorirányítás mindig abszolút nyomásban adja a töltőnyomás-érzékelő jelét.

17.6.8. Minőségellenőrzés: mit mérünk a turbófeltöltőn?

- **Töltőnyomás-érzékelő élő adata** rendszerteszterrel: a mért töltőnyomást a kért töltőnyomással hasonlítjuk össze; nagy eltérésnél szivárgást vagy szabályozási hibát keresünk (ellenőrizendő: gyártói tűrés).
- **VGT aktuátor mozgatása** a diagnosztikai műszerrel: a lapátoknak elakadás nélkül kell mozogniuk; a mért mozgatási áram vagy nyomás a gyártói tartományban legyen.
- **Tengelyjáték-ellenőrzés**: lehűlt, álló motornál, levett csövekkel a tengely axiális és radiális játékát mérőórával mérjük, és a gyártói határral vetjük össze (ellenőrizendő: gyártói adat). Lebegő perselyes csapágyazásnál kis, kézzel érezhető radiális játék normális; hibára a kerék beütésének nyoma a házon, a lapátsérülés és az olajosodás utal.

- **Nyomóoldali légcsövek és a töltőlevegő-hűtő szivárgásvizsgálata**: levegőnyomás alá helyezve a rendszert, szappanos vízzel keressük a buborékokat.
- **Olajellátás vizsgálata**: a turbó csapágyazásához vezető olajvezeték szűkülete vagy kokszosodása a csapágy károsodását okozza.

17.6.9. Valós életbeli alkalmazás – hibakeresési eset

Ügyfélpanasz: a dízel autó gyenge, emelkedőn nem húz, és a motorhiba-lámpa világít.

Tünet rögzítése: a motor alapjáraton stabilan jár, nagy fordulatszámon azonban nincs átütő ereje, a kipufogóból enyhe fekete füst és füttyhang hallatszik.

Hipotézisek: a fekete füst miatt a levegőellátás kevesebb, mint amit a motorirányítás a befecskendezéshez feltételez. Lehet nyomóoldali szivárgás, beragadt wastegate vagy VGT, sérült töltőlevegő-hűtő, esetleg a kompresszorkerék károsodása.

Mérés és vizsgálat: a rendszerteszterrel kiolvasott hibakód **P0299 – töltőnyomás túl alacsony** (a szám csak példa, ellenőrizendő: a konkrét jármű kódja). Élő adatban a kért töltőnyomás 2500 1/min terhelésnél 2,2 bar abszolút, a mért töltőnyomás viszont csak 1,45 bar abszolút. A VGT aktuátor mozgatása szabályos, a tengelyhézag a gyártói határ alatt van. A nyomóoldali rendszer szivárgásvizsgálatánál a töltőlevegő-hűtő kimenő oldalán lévő egyik tömlőbilincs alól erős levegőszivárgás hallható, a tömlő felülete olajpárás.

Ok: a nyomóoldali cső tömítése a hőterhelés miatt elöregedett, a bilincs nem zárt tökéletesen, ezért a sűrített levegő egy része elveszett, a motor fekete füstöt és hibakódot produkált.

Javítás: a hibás tömlő és tömítés cseréje, a bilincs megfelelő nyomatékkal történő meghúzása (ellenőrizendő: gyártói nyomaték), majd a rendszer ismételt szivárgásvizsgálata. A hibakód törlése, a readiness-értékek ellenőrzése.

Ellenőrzés: próbaút után a mért töltőnyomás 2,2 bar abszolút értéket ér el, a füst és a hiba megszűnt.

Továbbvitt eredmény. A turbófeltöltő működését, a töltőnyomás-szabályozást és a tipikus hibákat a Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája alfejezetben használjuk tovább, ahol a rendszerteszteres élő adatokat, a szivárgásvizsgálatot és a VGT működtetését részletes mérési lépésként gyakoroljuk.

17.6.10. Üzemeltetési tudnivalók és tipikus hibák

Figyelem. A turbófeltöltő forró oldala járó motor után hosszú ideig 200 °C fölé hevülhet; a kipufogóoldali alkatrészek érintése égési sérülést okoz. **A kompresszor szívó- vagy nyomócsövét levéve a motort beindítani tilos:** a nagy fordulatú kompresszorkerék ujjat, ruhát, rongyot, szerszámot szív be (súlyos csonkolásos sérülés, a turbó szétroncsolódása). A turbótengely játékát és a lapátokat csak álló, lehűlt motornál, kulcs nélkül vagy levett akkumulátorsaruval vizsgáld. Járó motor forgó részei közelében laza ruha, ékszer és kesztyű nem lehet. A forró oldalhoz csak a gyártói várakozási idő és lehűlés után szabad hozzányúlni.

Kenés, hűtés, olajminőség. A turbó tengelyét a motorolaj keni, és a forró oldal hőjének egy részét is elvezeti. Használjunk kizárólag a gyártói specifikációnak megfelelő olajat és olajcsere-periódust (ellenőrizendő: a motor előírása). A szennyezett vagy elhasználódott olaj kokszot rak le a csapágyban, ami a tengely megfogásához vezethet. Indítás után ne terheljük hidegen a turbót, és leállítás előtt adjunk időt a hőmérséklet csökkenésére; modern járműveken ezt az elektromos hűtőszivattyú is segíti.

Tipikus hibák:

- **szennyezett légszűrő vagy sérült szívócső**: a por és idegen tárgy a kompresszorkereket erodálja, kiegyensúlyozatlanságot, tengelytörést okoz;
- **olajhiány vagy kokszosodott olajvezeték**: a csapágy megfut, a tengely radiális hézaga megnő, olajszivárgás és kék füst jelenik meg;
- **wastegate vagy VGT szabályozási hiba**: alacsony töltőnyomás, túltöltés, rángatás, motorhiba-jelzés;
- **töltőlevegő-oldali szivárgás**: a fenti esethez hasonlóan alacsony töltőnyomás, fekete füst, sípoló hang;
- **túl magas kipufogógáz-hőmérséklet**: a turbina- és a kompresszorkerék anyaga hőkárosodást szenved, a hegesztési varratok megrepedhetnek.

Környezetvédelem. A turbófeltöltőn át szivárgó motorolaj a kipufogógázba jutva kék füstöt okozhat, és károsítja a katalizátort vagy a részecskeszűrőt. A szivárgó olajat, hűtőfolyadékot és a kipufogógáz-utókezelés alkatrészeit veszélyes hulladékként kell gyűjteni. A katalizátor, a DPF, az EGR vagy más kibocsátáscsökkentő rendszer eltávolítása és hatástalanítása tilos (ellenőrizendő: hatályos környezetvédelmi és közúti jogszabály).

17.6.11. Tipikus hibák feladatmegoldás közben

- A túltöltést a töltőlevegő-hűtő hibájának tulajdonítja a tanuló. Valójában a túltöltés leggyakoribb oka a beragadt, zárt wastegate vagy VGT lapát.
- A töltőnyomás értéket abszolút és túlnyomás összekeverése. A diagnosztikai eszköz általában abszolút nyomást mutat; a kézi mérőműszer lehet relatív. Mindig ellenőrizni kell a mért érték jellegét.
- Turbócsere után a tanuló nem keresi meg a régi turbó tönkremenetelének okát (olajellátás, légszűrő, idegen tárgy), ezért az új turbó is hamar tönkremegy. A sérült légszűrő vagy az olajhiány a következő turbót is tönkreteheti.

17.6.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a wastegate a kompresszor oldali túlnyomást engedi le.
2. Miért növeli a töltőlevegő-hűtő a motor teljesítményét?
3. Számítsa ki a levegő sűrűségét 2,0 bar abszolút nyomáson és 70 °C hőmérsékleten ($R_{\text{levegő}} = 287\,\text{J/(kg K)}$).
4. Melyik feltöltőtípusnak nincs turbólyukja: a kipufogógáz-turbófeltöltő vagy a mechanikus Roots-feltöltő?
5. Hiba esetén a rendszerteszter élő adata 2,5 bar kért töltőnyomást, de csak 1,6 bar mért töltőnyomást mutat. Mi a két legvalószínűbb ok?

17.6.13. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a feltöltés fogalmát, és írja le a kipufogógáz-turbófeltöltő két fő oldalát.

2. feladat (A). Egy turbófeltöltő kompresszora után a levegő nyomása 1,9 bar abszolút, hőmérséklete 65 °C. Számítsa ki a levegő sűrűségét, ha $R_{\text{levegő}} = 287\,\text{J/(kg K)}$.

3. feladat (B). Magyarázza el, hogyan csökkenti a VGT a turbólyukat, és milyen szerkezeti elemet mozgat a motorvezérlő.

4. feladat (B). Miben különbözik a Roots-feltöltő a csavarkompresszortól a sűrítés módjában, és hogyan kapcsolódik a hajtásuk a motorhoz?

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a turbófeltöltőt, a mechanikus feltöltőt és az elektromos rásegítésű turbót a válaszidő és a hatásfok szempontjából. Melyiket választaná egy főként városban használt, kis lökettérfogatú benzinmotorhoz, és miért?

6. feladat (D). Egy autó rendszerteszterrel P0234 – túltöltés hibakódot mutat. A mért töltőnyomás 2,7 bar abszolút, a kért 1,8 bar abszolút. A szívó- és nyomóoldalon nincs szivárgás. Mely alkatrészeket ellenőrizné először, és milyen mérésekkel? (A feladat a turbófeltöltő későbbi diagnosztikáját készíti elő.)

17.6.14. Megoldások

17.6.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A wastegate a kipufogógáz egy részét a turbina megkerülésével vezeti el, ezért a turbina hajtását csökkenti. A kompresszor oldali nyomást a motorvezérlő szabályozza, nem a wastegate vezeti le közvetlenül.
2. A töltőlevegő-hűtő csökkenti a sűrített levegő hőmérsékletét, ezáltal nő a sűrűsége és a hengerbe jutó oxigén tömege. Otto-motoroknál a hidegebb töltet a kopogás hajlamát is csökkenti.
3. $T = 70\,^{\circ}\mathrm{C} = 343\,\mathrm{K}$, $p = 2{,}0 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$, $\rho = \frac{2{,}0 \cdot 10^5}{287 \cdot 343} = 2{,}03\,\mathrm{kg/m^3}$.
4. A mechanikus Roots-feltöltőnek nincs turbólyukja, mert a kompresszort a főtengely közvetlenül hajtja.
5. A legvalószínűbb okok: (1) nyomóoldali szivárgás a légcsöveken vagy a töltőlevegő-hűtőn; (2) a wastegate vagy a VGT szabályozója beragadt, és a turbina nem éri el a kért nyomást.

17.6.14.2. Feladatok – megoldások

1. feladat. A feltöltés olyan eljárás, amellyel a hengerbe a környezeti nyomásnál nagyobb nyomású levegőt juttatunk, így több oxigén kerül az égéstérbe, és nagyobb középnyomás, teljesítmény érhető el. A kipufogógáz-turbófeltöltő két oldala: a **forró oldal** (turbina, kipufogóoldal) és a **hideg oldal** (kompresszor, töltőlevegő-hűtő). A két oldalt a közös tengely köti össze.

2. feladat. $T = 65\,^{\circ}\mathrm{C} = 338\,\mathrm{K}$, $p = 1{,}9 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$.

$$\rho = \frac{p}{R_{\text{levegő}} T} = \frac{1{,}9 \cdot 10^5}{287 \cdot 338} = 1{,}96\,\mathrm{kg/m^3}.$$

Ellenőrzés: 1,9 bar és kb. 65 °C levegő sűrűsége 1,9–2,0 kg/m³ körüli, tehát reális.

3. feladat. A VGT turbinaház beömlőjénél a motorvezérlő által mozgatott, állítható terelőlapátok helyezkednek el. Kis kipufogógáz-áramnál a lapátok szűkítik a turbina előtti keresztmetszetet, ezért a gáz sebessége a turbinakeréknél megnő, és a turbina gyorsabban pörög fel, így csökken a turbólyuk. Nagy terhelésnél a lapátok nyitnak, hogy a nagy gázáram akadálytalanul expandáljon.

4. feladat. A Roots-feltöltőben két, ellentétes irányban forgó, azonos méretű forgórész között a levegő a ház mentén a nyomóoldalra szorul, a sűrítés nagy része a nyomóoldalon jön létre. A csavarkompresszorban két, egymásba kapcsolódó csavarfelületű forgórész közötti gáztér a forgás alatt folyamatosan csökken, így belső sűrítés történik, jobb hatásfokkal. Mindkettő mechanikusan,

a főtengelyről ékszíjjal vagy lánccal hajtható, és gyakran elektromágneses tengelykapcsolóval kiiktatható.

5. feladat. A turbófeltöltő a kipufogógáz energiáját hasznosítja, ezért a hajtási vesztesége kicsi, de a válaszideje a kipufogógáz-áram miatt lassabb (turbólyuk). A mechanikus feltöltő a főtengelyről kap hajtást, ezért nincs turbólyukja, de állandó hajtási teljesítményt emészt, ami rontja a hatásfokot. Az elektromos rásegítésű turbó a turbófeltöltő jó hatásfokát ötvözi a gyors villamos válasszal, de nagy villamos teljesítményt igényel. Városi használatú, kis lökettérfogatú benzinmotorhoz, ahol a gyors gázreakció és a jó hatásfok egyaránt fontos, a kis wastegate-es (esetleg twin-scroll vagy 48 V-os elektromos rásegítésű) turbó a jellemző választás; a VGT benzinmotoron a magas kipufogógáz-hőmérséklet miatt ritka és drága (ellenőrizendő: konkrét gyártói megoldások); a klasszikus mechanikus feltöltő a válaszidejével jó, de rosszabb fogyasztásával kompromisszumos.

6. feladat. Elsőként a **wastegate** működését ellenőriznénk: a rendszerteszterrel mozgatjuk a beavatkozót, és megfigyeljük, mozog-e a szelep. Ezután a **VGT lapátokat** vizsgálnánk: a beavatkozó teszt során a lapátok elakadásmentes mozgását figyeljük. Ellenőriznénk a **töltőnyomás-érzékelő** élő jelét is, hogy nem téves jelet ad-e. Ha a szabályozó elemek stimmelnek, a szívó- és nyomóoldali szivárgást is ki kell zárni, de a feladat szerint nincs szivárgás. A hiba tipikusan beragadt, zárt wastegate vagy VGT lapát. Javítás után a kért és mért töltőnyomásnak ismét össze kell hangolódnia, és a hibakódot törölni kell.

17.6.15. Rövid összefoglaló

A feltöltés a hengertérfogat azonos mérete mellett növeli a beszívott levegő tömegét, ezzel a középnyomást és a teljesítményt. A kipufogógáz-turbófeltöltő a kipufogógáz energiáját hasznosítja: a kipufogógáz a turbinát, a közös tengelyen át a kompresszort hajtja, a sűrített levegő a töltőlevegő-hűtőbe, majd a hengerekbe jut. A töltőnyomást klasszikusan wastegate vagy változtatható geometriájú lapátrendszer szabályozza. A VGT csökkenti a turbólyukat, a kétfokozatú és elektromos rásegítésű rendszerek további dinamikai javulást hoznak. A Comprex, a Roots- és csavarkompresszor, valamint a rezonancia-feltöltés eltérő energiaforrású megoldások. Az üzemeltetésben kritikus a gyártói olajminőség, a légszűrő állapota, a hűtés és a leállítás előtti hőfok-csökkentés. A leggyakoribb hibák: szivárgás a nyomóoldalon, elégtelen kenés, kokszosodás, a wastegate/VGT beragadása, idegen tárgy okozta kompresszorkerék-sérülés. **Továbbvitt eredmény:** a turbófeltöltő felépítését, a töltőnyomás-szabályozást és a tipikus hibákat a Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája alfejezetben töltőnyomás-mérés, szivárgásvizsgálat és beavatkozó tesztek során alkalmazzuk.

17.6.16. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a stabil műszaki alapokra épül, jogszabályi vagy szabvány hivatkozást nem igényelt. A gyártói nyomás-, hőmérséklet- és hézagértékek, valamint a megadott hibakódok tanulási példák; a konkrét jármű javítása előtt a gyártói javítási adatbázist kell használni. Az alábbi tételeket jelöltem ellenőrizendőként: turbina fordulatszám-tartománya, töltőnyomás-értékek, kipufogógáz-hőmérséklet, tengelyhézag-tűrések, olajspecifikáció, hibakódok, valamint a kibocsátáscsökkentő rendszerek tilalmára vonatkozó hatályos szabályozás.

18 Motorok hűtése és kenése

18.1. A motor hűtése

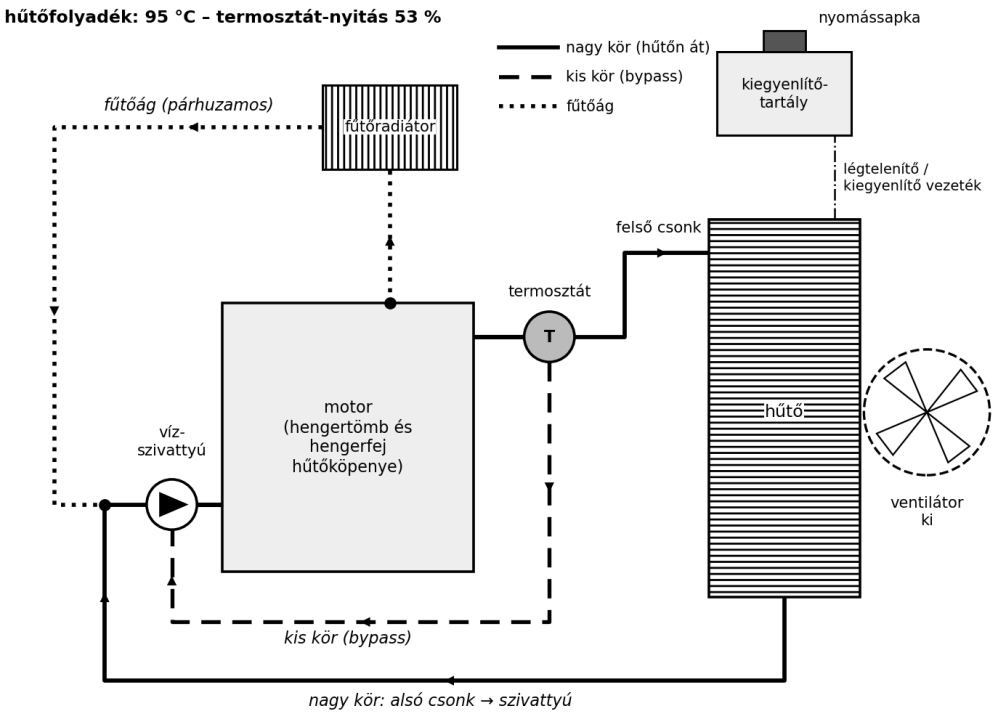
A motor megfelelő üzemi hőmérsékletét a hűtőrendszer tartja fenn. Ha a rendszer hibás, túlmelegedés vagy tartósan hideg motor jelentkezik, amely károsíthatja a motort, növelheti a fogyasztást és a károsanyag-kibocsátást.

18.1.1. Motiváció

Az ügyfél azt mondja, hogy a hőmérő mutatója menet közben a piros mezőbe emelkedik, és a fűtés is gyengén melegít. A motor ellenőrző lámpája is kigyulladt. Mielőtt hozzákezdenél, meg kell értened, hogyan áramlik a hűtőfolyadék, mely elemek szabályozzák a hőmérsékletet, és mi történik, ha a termosztát, a ventilátor vagy a hűtő hibás. Ez az alfejezet a hűtőrendszer felépítését és működését tanítja, hogy a hibát biztonságosan be tudd határolni.

18.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy folyadékhűtésű motort. A vízszivattyú a hengerblokk és hengerfej hűtőköpenyébe nyomja a folyadékot. Hideg motornál a termosztát zárva tart, így a folyadék a bypass járaton át közvetlenül visszajut a szivattyú szívóoldalára – ez a **kis kör**. Amikor a hűtőfolyadék elérte a nyitási hőmérsékletet, a termosztát megnyílik, és a forró folyadék a felső csövön át a hűtőbe áramlik. A hűtő lamellái között a menetszél vagy a ventilátor által áramoltatott levegő lehűti, majd az alsó csonkon visszafelé halad a szivattyúhoz – ez a **nagy kör**. Az alábbi vázlat ezt az áramlási utat mutatja: a két kör a termosztátnál ágazik el, és mindkettő a szivattyú szívóoldalán záródik.



18.1. ábra. A hűtőfolyadék köre: a termosztátnál elágazó kis kör (bypass, szaggatott) és nagy kör (a hűtőn át, folytonos), párhuzamos fűtőág (pontozott), kiegyenlítőtartály nyomássapkával; a vonalvastagság 95 °C-nál a termosztát részleges nyitását mutatja (szemléltető)

Az ábra arra emlékeztet, hogy a hűtőkör zárt rendszer, és a termosztát nyitásával fokozatosan kapcsolódik a hűtő a körbe: a kis és a nagy kör nem egymás után, hanem egymás mellett, elágazásként működik, az átmeneti tartományban egyszerre. Az interaktív változatban a hőmérséklet-csúszkával követhető, mikor nyit a termosztát és mikor indul a ventilátor. A fűtőradiátor gyakran párhuzamos ág, amely a termosztát állásától függetlenül kaphat folyadékot, így hideg motornál is fűthet, amikor a termosztát még zárva van (a pontos bekötést a gyártói rajz adja meg).

18.1.3. Definíció és feladat

Definíció. A motor hűtőrendszere azoknak a szerkezeti elemeknek az összessége, amelyek a belső égésű motorban keletkező fölösleges hőt a környezetbe vezetik, és ezzel az égéstér, a hengerfej, a dugattyú, a szelepek és a kenőolaj hőmérsékletét a megengedett üzemi tartományban tartják.

A hűtés feladata kettős: - **Nem hűtheti túl** a motort, mert hideg motornál nő a belső súrlódás, a fogyasztás, a hengerfal kopása és a károsanyag-kibocsátás (különösen hidegindítás után). - **Nem engedheti túlmelegedni** a motort, mert a túl magas hőmérséklet károsítja a kenőolajfilmet, a hengerfejtömítést, a hengerfejet, a dugattyúgyűrűket és a turbófeltöltőt.

18.1.4. A léghűtés és a folyadékhűtés összehasonlítása

Léghűtés esetén a henger és a hengerfej külső felületén hűtőbordák növelik a hőleadó felületet. A motor által hajtott ventilátor vagy a menetszél levegőt áramoltat a bordák között. Előnye az egyszerű felépítés, a kis tömeg, nincs fagyveszély, nincs vízszivárgás. Hátránya a nagyobb zaj, az

egyenetlen hőmérséklet-eloszlás, a gyengébb utastéri fűtés és a korlátozott teljesítmény-növelési lehetőség. Léghűtést főként régi járműveken, kismotorokon és egyes motorkerékpárokon találsz.

Folyadékhűtés esetén zárt körben keringő hűtőfolyadék veszi át a hőt. A folyadékhűtés egyenletesebb hőmérsékletet biztosít, jobban terhelhető, hatékonyabb fűtést tesz lehetővé, ezért a mai személygépkocsik és haszongépjárművek döntő többségében ezt alkalmazzák.

Az alábbi táblázat összefoglalja a fő különbségeket.

Szempont	Léghűtés	Folyadékhűtés
Hőleadó közeg	levegő	hűtőfolyadék + levegő
Hőmérséklet eloszlás	egyenetlenebb	egyenletesebb
Fagyveszély	nincs	fagyálló folyadék szükséges
Utastéri fűtés	nehézkes	hatékony
Zaj és tömeg	zajosabb, könnyebb	halkabb, nehezebb

Az értékek és jellemzések tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / adott járműtípus).

18.1.5. A folyadékhűtés elemei és működése

18.1.5.1. Vízszivattyú

A vízszivattyú jellemzően centrifugálszivattyú, amelyet a motor ékszíjjal, lapos szíjjal vagy fogasszíjjal hajt. A járókerék a folyadékot a hengerblokk és a hengerfej hűtőköpenyébe nyomja. A szivattyú tengelytömítése a hűtőfolyadék kifolyását akadályozza; a tömítés kopása szivárgást okoz. A szivattyú csapágyazása kopáskor zörög, a tengely lötyög, ami a lapátok kavitációjához és csökkent keringéshez vezet.

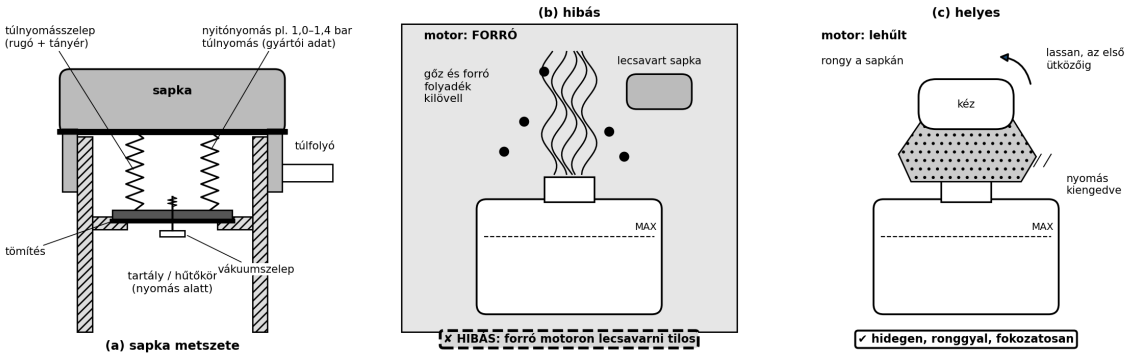
18.1.5.2. Hűtő és a levegőoldali hőleadás

A hűtő keresztáramú hőcserélő: vékony alumínium csövek és lamellák alkotják, a folyadék a csövekben, a levegő a lamellák között áramlik. A forró folyadék a hűtő felső csonkjába érkezik, lehűlve az alsó csonkon távozik. A hűtő hatékonysága függ a levegő sebességétől, a lamellák tisztaságától és a belső elszennyeződéstől.

18.1.5.3. Kiegyenlítőtartály és nyomásszelep

A kiegyenlítőtartály a hűtőfolyadék hőtágulását veszi fel, és a rendszer feltöltését, szintellenőrzését szolgálja. A tartályon MIN–MAX jelölés mutatja a hideg és meleg motor melletti megengedett szinttartományt. A tartály vagy a hűtő sapkája két szelepet tartalmaz: - **Nyomásszelep**: a rendszert túlnyomás alatt tartja, ezzel megemeli a hűtőfolyadék forráspontját. Például 1,0–1,4 bar túlnyomás mellett a forráspont kb. 120–127 °C (ellenőrizendő: a jármű gyártói adata). Ha a nyomás túl magas, a szelep a gőzt vagy folyadékot a tartályba engedi. - **Vákuumszelep**: lehűléskor, ha a rendszerben vákuum keletkezik, levegőt enged vissza, hogy a csövek ne rogyjanak össze.

Figyelem. Meleg motoron a hűtőrendszer nyomás alatt áll. A sapkát forró motornál lecsavarni **tilos**, mert a kilépő gőz és forró folyadék súlyos égési sérülést okoz. Mindig várd meg, amíg a motor lehűl, vagy a gyártói leeresztő eljárást használd.



18.2. ábra. A kiegyenlítőtartály sapkája túlnyomás- és vákuumszeleppel (a); hibás nyitás forró motoron (b) és helyes nyitás lehűlt motoron, ronggyal, fokozatosan (c)

A metszeten látszik, hogy a túlnyomásszelep rugója a tömített tányért a tartály nyakára szorítja, ezért a rendszer csak a nyitónyomás felett enged a túlfolyóba. Ha forró motoron levesszük a sapkát, a nyomás hirtelen megszűnik, a túlhevített folyadék azonnal felforr és kilövell. Helyesen: lehűlt motoron, ronggyal letakarva, előbb csak az első ütközőig fordítjuk a sapkát, megvárjuk a nyomás kiegyenlítődését, és csak utána vesszük le.

18.1.5.4. Fűtőhőcserélő

A fűtőradiátor az utastéri fűtés hőcserélője. A motor hűtőkörébe csatlakozik, és a forró hűtőfolyadék leadja hőjét az utastérbe áramló levegőnek. A fűtési teljesítményt a fűtőszelep vagy a levegőoldali keverőcsappantyú szabályozza. Eltömődött fűtőradiátor esetén a fűtés gyenge, a motornál a hűtőkörben mégis normális lehet a hőmérséklet.

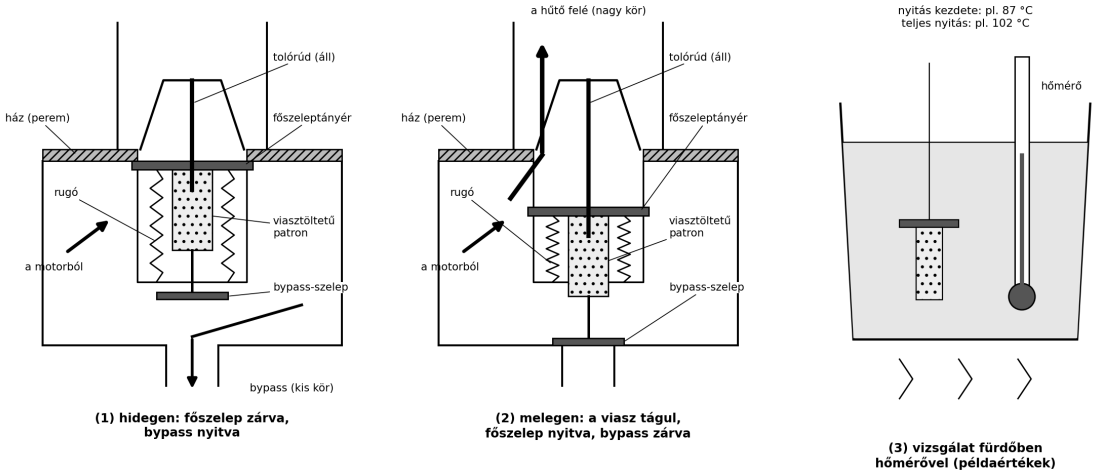
18.1.6. Hűtésintenzitás szabályozása

18.1.6.1. Táguló anyagos termosztát

Definíció. A termosztát olyan hőmérséklet-érzékelő szelep, amely a hűtőfolyadék hőmérséklete alapján nyitja vagy zárja a hűtő felé vezető ágat.

A leggyakoribb termosztát viaszos kapszulás szerkezet. A viasz melegítésre megolvad és kitágul, a dugattyút kinyomja, a szeleptányér megemelkedik, és a folyadék a hűtő felé áramolhat. A nyitási hőmérséklet jellemzően 80–95 °C, a teljes nyitás pedig 100–105 °C (ellenőrizendő: a jármű gyártói adata). Hideg motornál a termosztát zárva tart, és a folyadék a bypass ágon áramlik, így a motor gyorsan melegszik.

Hiba. Ha a termosztát **zárva marad**, a motor túlmelegszik, mert a folyadék nem jut a hűtőbe. Ha **nyitva ragad**, a motor lassan melegszik, a fűtés hideg marad, a fogyasztás és a kopás megnő.



18.3. ábra. Viaszos termosztát metszete hidegen (1: főszelep zárva, bypass nyitva) és melegen (2: a viasz tágul, a patron a rögzített tolórúdon elmozdul, a főszelep nyit, a bypass zár); vizsgálat fürdőben hőmérővel (3)

A tolórúd a házhoz rögzített kengyelen áll; a táguló viasz ezért a patront és vele a főszeleptányért mozdítja el a rugó ellenében, a patron alján lévő bypass-szelep pedig közben lezárja a kis kört. A „zárva marad” hiba azt jelenti, hogy a tányér melegen sem mozdul (túlmelegedés), a „nyitva ragad” hiba, hogy hidegen sem zár (lassú melegedés, hideg fűtés).

18.1.6.2. Jelleggörbés termosztát

A korszerű motoroknál a termosztát viaszos eleme mellett elektromos fűtőszál is található. A motorvezérlő a fűtéssel a termosztát nyitási hőmérsékletét a terheléshez igazítja: részterhelésen magasabb, akár 100–105 °C hűtőfolyadék-hőmérsékletet enged, mert ez csökkenti a belső súrlódást és a fogyasztást; nagy terhelésnél hamarabb nyit, hogy a motor hűvösebb maradjon. A fűtőszál szakadása vagy a vezérlő hibája téves hőmérséklet-szabályozást okoz.

18.1.6.3. Viszkó-tengelykapcsoló

A viszkó-tengelykapcsoló a mechanikusan hajtott hűtőventilátort kapcsolja a motor fordulatszámához. Házában szilikonolaj található. Hideg motornál a bimetall hőmérséklet-érzékelő a szelepet zárva tartja, így az olaj nem kapcsolja össze a hajtótengelyt a ventilátorral, a lapátok csak kis fordulatszámon forognak. Meleg levegő hatására a bimetall nyit, az olaj kitölti a munkateret, és a ventilátor a motor fordulatszámával közel azonos sebességgel forog, nagyobb levegőszállítást biztosítva. A viszkó-tengelykapcsoló hibája jellemzően az, hogy nem zár, ezért a ventilátor alapjáraton vagy araszoláskor nem hűt megfelelően.

18.1.6.4. Elektromos ventilátor

Az elektromos ventilátor a hűtő mögött vagy előtt helyezkedik el, és az ECU vagy egy hőmérséklet-kapcsoló relén keresztül indítja. Kétfokozatú működés is gyakori: alacsony fordulatot kapcsol a hűtőfolyadék meghatározott hőmérséklete, magas fordulatot pedig a magasabb hőmérséklet vagy a klímakompresszor nyomása. A ventilátor motorja, a relé, a biztosíték, a hőmérséklet-érzékelő

és a vezérlőegység hibája egyaránt okozhat túlmelegedést, különösen városi araszoláskor és álló helyzetben.

18.1.7. Hőmenedzsment korszerű motorokon

A modern hőmenedzsment rendszer a hűtést aktívan szabályozza, hogy a motor gyorsabban melegedjen fel, és üzemszerűen a lehető legjobb hatásfokon működjön. Jellemző elemei: - **Elektromos vízszivattyú**, amely nem függ a motor fordulatszámától, hideg motornál kis térfogatáramot szállít, meleg motornál pedig a hűtési igényhez igazodik. - **Fűtött termosztát** a fent leírt módon. - **Hűtőrács-aktív zsalu**, amely hideg motornál zárva tartja a levegő útját, csökkentve a légellenállást és gyorsítva a felmelegedést. - **Megosztott hűtőkör**, amelyben a hengerfej és a hengerblokk különböző hőmérsékletű folyadékot kap; a hengerfej hűvösebb, hogy a sűrítési viszony magasabb lehessen, a blokk melegebb, hogy kisebb legyen a súrlódás. - **Fűtés-hőtároló**, amely leállítás után tárolja a hőt, és hidegindításkor gyorsabban melegíti a motort vagy az utasteret.

18.1.8. Hűtőfolyadék fajtái és keverése

A hűtőfolyadék alapja leggyakrabban etilénglikol vagy propilénglikol, amelyet desztillált vízzel kevernek. A glikol fagyáspontcsökkentő és forráspontnövelő hatású. A gépjárművekhez való hűtőfolyadék adalékokat is tartalmaz, például korróziógátlót, habzásgátlót és kenőanyagot a vízszivattyú tömítéséhez.

A keverési arány jellemzően 33–60% glikol (ellenőrizendő: a jármű gyártói előírása). A gyakorlatban a következő (térfogatszázalékos, etilénglikol–víz keverékre vonatkozó) értékek támpontok; a pontos fagyáspontot a hűtőfolyadék gyártói adatlapja adja (ellenőrizendő): - 33% glikol: fagyáspont kb. -20 °C, - 40% glikol: fagyáspont kb. -25 °C, - 50% glikol: fagyáspont kb. -37 °C. Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a hűtőfolyadék gyártói adatlapja).

Környezetvédelem. A glikolos hűtőfolyadék mérgező, különösen etilénglikol esetén. Tilos a talajra, csatornába vagy élővízbe önteni. A leengedett hűtőfolyadékot zárt edényben kell gyűjteni, és veszélyes hulladékként kell leadni. Az állatokat is veszélyezteti, mert a glikol édes ízű.

18.1.9. Kidolgozott példák

Számítás. Egy benzinmotor effektív teljesítménye 60 kW, effektív hatásfoka 30%. Mennyi hőt kell a hűtőrendszernek elvezetnie, ha közelítőleg a bevitt tüzelőanyag-energia 30%-a jut a hűtőfolyadékba?

Adott: $P_e = 60\,\mathrm{kW}$, $\eta_e = 0{,}30$.
Keresett: $\dot{Q}_{\mathrm{hűtő}}$.

Képlet: a bevitt hőteljesítmény $\dot{Q}_{\mathrm{be}} = \frac{P_e}{\eta_e}$.
Behelyettesítés: $\dot{Q}_{\mathrm{be}} = \frac{60\,\mathrm{kW}}{0{,}30} = 200\,\mathrm{kW}$.

A hűtő hőleadása: $\dot{Q}_{\mathrm{hűtő}} = 0{,}30 \cdot \dot{Q}_{\mathrm{be}} = 0{,}30 \cdot 200\,\mathrm{kW} = 60\,\mathrm{kW}$.

Ellenőrzés. Az eredmény azt jelenti, hogy a motor által leadott mechanikai teljesítménnyel azonos nagyságrendű hőt kell a hűtőnek eltávolítani; ez megfelel a gyakorlati tapasztalatnak (a maradék hő a kipufogógázzal és a sugárzással távozik). A pontos megoszlás a motor terhelésétől és a gyártói hőmenedzsment-kialakítástól függ.

Gyakorlati példa. Egy termosztát vizsgálata: helyezd a termosztátot vízfürdőbe, és fokozatosan melegítsd. Mérd a hőmérsékletet, amikor a szeleptányér mozdulni kezd. A nyitás kezdete példaként 87 °C (ellenőrizendő: a termosztáton beütött érték és a gyártói adat). A teljes nyitást vízfürdőben a gyártói eljárás szerint, a nyitási hőmérséklet fölötti, de 100 °C alatti hőmérsékleten, előírt idő után mért szelepemelkedéssel ellenőrizzük (az előírt emelkedés gyártói adat; ellenőrizendő). Ha a termosztát már szobahőmérsékleten nyitva van, cserélni kell. Ha a nyitási hőmérséklet felett néhány fokkal sem mozdul, szintén hibás. Forró vízzel fogóval, védőkesztyűben és védőszemüvegben dolgozz (égési, leforrázási veszély).

18.1.10. Minőségellenőrzés

A hűtőrendszer ellenőrzésekor az alábbi pontokat vizsgáld, a gyártói javítási adatokhoz képest:

1. **Hűtőfolyadék szintje** hideg és meleg motornál a kiegyenlítőtartály MIN–MAX jelölése között legyen.
2. **Fagyáspont és keverési arány** refraktométerrel vagy sűrűségmérővel; a gyártói előírt tartományba essen.
3. **Nyomáspróba** hűtőrendszer-vizsgálóval: a próbanyomás értéke például 1,0–1,4 bar (ellenőrizendő). A nyomásnak 5–10 percig nem szabad jelentősen csökkennie.
4. **Termosztát működése** vízfürdős vizsgálattal.
5. **Ventilátor kapcsolása** hőmérséklet-emelkedésre vagy diagnosztikai beavatkozó teszttel.
6. **Tömörség** szemrevételezéssel, UV-festékes szivárgáskereséssel vagy nyomáspróbával.
7. **A hűtő tisztasága** kívül lamellákat, belül elszennyeződést ellenőrizve.

18.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy autó városi araszolás után túlmelegedett, a hőmérő a piros mezőbe ért. A vezető lehúzódott, leállította a motort. A műhelyben a következő hibakeresési láncot hajtottuk végre.

- **Tünet:** alapjáraton és lassú haladáskor a hűtőfolyadék hőmérséklete 110 °C fölé emelkedik, az elektromos hűtőventilátor nem indul.
- **Hipotézisek:** ventilátormotor hiba, ventilátorrelé hiba, biztosíték, hőmérséklet-érzékelő, vezérlőegység vagy vezetékszakadás.
- **Mérés és vizsgálat:** a diagnosztikai műszer beavatkozó tesztjével a ventilátort nem lehetett bekapcsolni. A ventilátor csatlakozójánál a tápfeszültség nem jelent meg. A biztosíték ép volt. A relé vezérlő oldalán a kapcsolási jel megérkezett, de a munkaérintkező nem zárt. A relé ellenállásmérése szakadást mutatott a tekercsen.
- **Ok:** a ventilátorrelé tekercse szakadt, ezért a ventilátor nem kapott tápfeszültséget.
- **Javítás:** új, gyártói specifikációjú relé beszerelése, a csatlakozó érintkezők tisztítása és a rendszer ellenőrzése.
- **Ellenőrzés:** beavatkozó teszttel a ventilátor mindkét fokozatban beindult; próbaúton a hűtőfolyadék hőmérséklete a gyártói tartományban maradt.
- **Megelőzés:** a hűtőventilátor működését minden időszakos szerviznél célszerű ellenőrizni.

18.1.12. Tipikus hibák

1. **Forró motoron a hűtősapkát lecsavarni.** A nyomás alatti rendszer hirtelen gőzt és forró folyadékot lövell ki, súlyos égést okozva. Helyes: várj a lehűlésre, vagy a gyártói leeresztő eljárást alkalmazd.

2. **Tiszta víz használata hűtőfolyadék nélkül.** Ez korróziót, fagyáskor a blokk megrepedését és a vízszivattyú tömítésének károsodását okozza. Helyes: mindig a gyártói előírás szerinti glikolos hűtőfolyadékot használd, a megadott keverési arányban.
3. **A termosztát elhagyása vagy nyitva beragadt termosztáttal való közlekedés.** A motor lassan melegszik, a fogyasztás és a kopás megnő. Helyes: a hibás termosztátot cseréld ki, ne hagyd ki.
4. **A ventilátor és a relé ellenőrzése nélkül a teljes hűtőrendszer cseréje.** A túlmelegedés gyakori oka a vezérlés hibája, nem pedig a hűtőé. Helyes: tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás sorrendben dolgozz.

18.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: hideg motornál a termosztát zárva van, és a hűtőfolyadék a bypass ágon kering.

2. Igaz vagy hamis: a kiegyenlítőtartály sapkájának nyomásszelepe csökkenti a forráspontot.

3. Számold ki gyorsan: ha a motor effektív teljesítménye 80 kW, effektív hatásfoka 40%, mennyi a bevitt hőteljesítmény?

4. Mi a hiba az alábbi leírásban? „A hűtő alsó csonkjához csatlakozik a forró folyadék, és a felső csonkon távozik a lehűlt folyadék.”

5. Sorold fel a túlmelegedés három lehetséges okát, amely a hűtőrendszerhez köthető.

18.1.14. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a motor hűtőrendszerét, és nevezd meg a folyadékhűtés négy fő elemét.

2. feladat (A)
Egy hűtőfolyadék keverék 40% glikolt tartalmaz. Mekkora a várható fagyáspontja a fenti közelítő táblázat alapján? Miért fontos ez télen?

3. feladat (B)
Rajzold le szövegesen a hűtőfolyadék útját kis és nagy körben, a vízszivattyútól indulva. Nevezd meg a termosztát szerepét mindkét körben.

4. feladat (B)
Egy motor effektív teljesítménye 45 kW, effektív hatásfoka 0,32. A bevitt hőteljesítmény 30%-át a hűtőfolyadék vezeti el. Számold ki a hűtő hőleadását. Ellenőrizd a nagyságrendet.

5. feladat (C)
Miért káros a motorra nézve, ha a termosztát tartósan nyitva marad? Magyarázd el a hatását a fogyasztásra, a kopásra és a fűtésre, és írd le, hogyan ellenőriznéd a termosztátot.

6. feladat (D)
Egy autó hideg időben autópályán nem éri el az üzemi hőmérsékletet (a mutató a skála alsó harmadában marad), a fűtés langyos; városban, araszolva a mutató lassan normálisra kúszik. A hűtőfolyadék szintje rendben, a ventilátor nem forog, a hűtő felső csöve a hidegindítás után néhány perccel már langyos. Milyen hibára gyanakszol? Milyen mérésekkel igazolnád, és hogyan javítanád?

18.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok
1. Igaz. A termosztát zárva tart, így a folyadék a bypass ágon visszajut a szivattyúhoz.
2. Hamis. A nyomásszelep növeli a forráspontot.
3. $\dot{Q}_{\text{be}} = 80\,\text{kW}/0{,}40 = 200\,\text{kW}$.
4. Felcserélték a csonkokat: a forró folyadék a felső csonkon jut be, és lehűlve az alsón távozik.
5. Például: hűtőfolyadékhiány, termosztát zárva marad, elektromos ventilátor nem működik.

1. feladat (A)
A hűtőrendszer azoknak az elemeknek az összessége, amelyek a motor fölösleges hőjét a környezetbe vezetik, és az üzemi hőmérsékletet fenntartják. Négy fő elem: vízszivattyú, hűtő, termosztát, kiegyenlítőtartály (vagy fűtőhőcserélő).

2. feladat (A)
40% glikolnál a fagyáspont kb. -25 °C (tanulási példa, ellenőrizendő: a hűtőfolyadék gyártói adatlapja). Télen ezért nem fagy meg a hűtőfolyadék, a motorblokk nem reped meg.

3. feladat (B)
A vízszivattyú a hengerblokk és hengerfej hűtőköpenyébe nyomja a folyadékot. Hideg motornál a termosztát zárva tart, a folyadék a bypass járaton át visszajut a szivattyú szívóoldalára (kis kör). Meleg motornál a termosztát nyit, a forró folyadék a felső csövön a hűtőbe áramlik, lehűl, és az alsó csövön visszajut a szivattyúhoz (nagy kör). A termosztát szerepe, hogy a motort gyorsan felmelegítse, majd a hűtőt bekapcsolja.

4. feladat (B)
Adott: $P_e = 45\,\text{kW}$, $\eta_e = 0{,}32$.
Keresett: $\dot{Q}_{\text{hűtő}}$.
Képlet: $\dot{Q}_{\text{be}} = \frac{P_e}{\eta_e}$.
Behelyettesítés: $\dot{Q}_{\text{be}} = \frac{45\,\text{kW}}{0{,}32} \approx 140{,}6\,\text{kW}$.
Hűtő hőleadás: $\dot{Q}_{\text{hűtő}} = 0{,}30 \cdot 140{,}6\,\text{kW} \approx 42{,}2\,\text{kW}$.
Ellenőrzés: a motor teljesítményével összemérhető hőt kell elvezetni, a nagyságrend reális.

5. feladat (C)
A nyitva maradt termosztát miatt a motor lassan melegszik fel; a fűtés hideg marad, a fogyasztás nő, a hengerfal kopása fokozódik, különösen hidegindítás után. A vizsgálat: termosztát kivétele után vízfürdőben melegítve a szelepnek csak a nyitási hőmérsékleten szabad mozdulnia; ha szobahőmérsékleten nyitva van, cserélni kell.

6. feladat (D)
Valószínű, hogy a termosztát nyitva ragadt: a folyadék már hideg motornál is a hűtőn át kering, ezért a felső hűtőcső a motorral együtt, korán melegszik, a motor pedig a hűtőn átáramló sok levegő miatt autópályán túlhűl. Igazolás: hidegindítás után infrahőmérővel vagy a diagnosztikai műszer élő adatával mérjük a hűtőfolyadék és a felső hűtőcső hőmérsékletét; ha a hőmérséklet lassan emelkedik, és a felső cső már hamar a motorral együtt melegszik, a termosztát hibás. Javítás: új termosztát beszerelése, hűtőfolyadék feltöltése, légtelenítés, próbaút.

18.1.16. Rövid összefoglaló

A motor hűtőrendszere a fölösleges hőt a környezetbe vezeti, és az üzemi hőmérsékletet fenntartja. A folyadékhűtés zárt körben keringő, glikolos hűtőfolyadékot használ; a vízszivattyú a hengerblokk és hengerfej hűtőköpenyébe nyomja a folyadékot. Hideg motornál a termosztát zárva tart, és a folyadék a bypass ágon kering (kis kör). A termosztát nyitásakor a folyadék a hűtő felső csonkján

át a levegő által hűtött hűtőbe áramlik, majd az alsó csonkon a szivattyúhoz tér vissza (nagy kör). A hűtésintenzitást táguló anyagos termosztát, viszkó-tengelykapcsoló, elektromos ventilátor és korszerű motorokon fűtött termosztát, elektromos vízszivattyú és aktív zsalu szabályozza. A kiegyenlítőtartály nyomásszelepe megemeli a forráspontot. **Továbbvitt eredmény.** A hűtőkör felépítését, a folyadék útját és a hűtőfolyadék kiválasztását használjuk a(z) A motor kenése, olajszűrés, olajhűtés és a levegő- és tüzelőanyag-szűrők, az Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés és a(z) A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása alfejezetekben.

18.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: járműgyártói javítási utasítások és hűtőfolyadék-specifikációk, hűtőfolyadék-gyártói adatlapok, gépjármű-szerviz kézikönyvek. Ellenőrizendő: a termosztát nyitási hőmérséklet-tartományai, a hűtőrendszer próbanyomás-értéke, a fagyáspont-táblázat, a glikol keverési arányok, a viszkó-tengelykapcsoló és az elektromos ventilátor kapcsolási értékei, valamint a hőmenedzsment-rendszerek gyártói adatai.

18.2. A motor kenése, olajszűrés, olajhűtés és a levegő- és tüzelőanyag-szűrők

18.2.1. Miért kell ezt tudnod a műhelyben?

Az ügyfél kétféle panasszal érkezhet: „a műszerfalon kigyulladt az olajnyomás-lámpa”, vagy „a motor kopog, és mintha lassan forogna a lendkerék”. A másik járművön a levegőszűrő annyira eltömődött, hogy a motor füstöl és gyenge, a dízel pedig télen nem indul, mert a tüzelőanyag-szűrőben kivált a paraffin. Ha nem tudod végiggondolni, merre megy az olaj a szivattyútól a csapágyakig, miért nyit a nyomáshatároló, miért van a szűrőn megkerülő szelep, és mi a különbség a nedves- és szárazkarteres kenés között, akkor csak találgatsz – és az olajnyomás-hiány motorfelújítással végződhet. Ez az alfejezet a kenőrendszer **feladat → felépítés → működés → jellemző hibák → ellenőrzés/javítás** láncát tanítja meg, és hozzáveszi a levegő- és tüzelőanyag-szűrőket is, mert ezek a motor üzemanyag- és levegőellátásának „tüdője” és „veséje”.

18.2.2. Szemléletes kép: az olaj útja a nyomóolajozásban

Képzeld el a motort melegen, járó motorral. Az olaj az olajteknőből a szívókosáron át egy fogaskerekes szivattyúba jut. A szivattyú nyomást épít, az olaj átpréselődik az olajszűrőn, majd – ha van – az olajhűtőn. A fő kenőcsatornából furatok vezetnek a főtengelycsapágyakhoz, onnan a hajtókarok furatain át a hajtórúd-csapágyakhoz, továbbá a vezérműtengely-csapágyakhoz, a szelepemelőkhöz, a turbófeltöltő csapágyazásához és gyakran a dugattyúhűtő olajfúvókákhoz. A szivattyú és a szűrő után a felesleges mennyiséget a nyomáshatároló szelep engedi vissza. A levegőszűrő a szívócsonk előtt, a tüzelőanyag-szűrő pedig a befecskendezőrendszer előtt ül.



18.4. ábra. A nyomóolajozású kenőrendszer olajútja - Szemléltető vázlat; az egyes motorok felépítése eltérhet, a gyártói rajz a mérvadó.

Az ábra a sorrendet mutatja, de a valós motoron az olajnyomás a szűrő előtt és után is mérhető, a szűrőházon gyakran nyomáskapcsoló vagy nyomásjeladó ül. A jármű alatt az olajteknő leeresztőcsavarjánál engeded le az olajat, a szűrő pedig általában a hengertömb oldalán, felülről vagy alulról hozzáférhető.

18.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **kenés** a súrlódó felületek közötti közvetlen fém–fém érintkezés csökkentése azzal, hogy a felületek közé folyékony vagy szilárd kenőanyagot juttatunk. A motorban a kenőanyag a motorolaj, amely a súrlódást **folyadéksúrlódásra** csökkenti, ha teljes kenőfilm alakul ki.

Összefüggés. A folyadéksúrlódásos (hidrodinamikus) kenés lényege, hogy a forgó tengelycsap és a csapágy közé az olajék önműködően felépül: a csap húzza be az olajat a szűkülő résbe, és ott az olajnyomás annyira megnő, hogy a fémfelületeket szétválasztja. A hidrodinamikai nyomás nagysága nem a szivattyú által előállított rendszernyomástól függ, hanem a fordulatszámtól, a csapágyhézagtól és az olaj viszkozitásától; a szivattyú csak a szükséges olajmennyiséget szállítja és a hozzáfolyást biztosítja.

Összefüggés. A kenőrendszer nyomása a szivattyú szállításából, a csapágyak és egyéb fogyasztók fojtási ellenállásából, az olaj viszkozitásából és a hőmérsékletből adódik. Hideg olajnál a viszkozitás nagy, ezért a nyomás is magas; a nyomáshatároló szelep ilyenkor lefúvat, és az olajat visszavezeti a szivattyú szívóoldalára vagy az olajteknőbe. Meleg motornál a viszkozitás csökken, ezért az olajnyomás alacsonyabb lesz, de a teljes kenőfilm kialakulásához még elegendőnek kell lennie.

Definíció. A **motorolaj viszkozitási osztálya** a hideg- és melegfolyási viselkedést írja le. A SAE-osztály két számból áll: az első a téli hidegfolyást (pl. `5W`), a második a meleg, 100 °C-os viszkozitást jelöli (pl. `30`, `40`). A `W` a *winter* rövidítése. A tényleges kenési képességet a viszkozitáson túl az additívek, a hőstabilitás és a motorra vonatkozó gyártói ACEA- vagy gyári specifikáció határozza meg.

Megjegyzés. A korábbi alfejezetben A motor hűtése már láttuk, hogy az olaj hűtőfunkciót is ellát. Ezt most a kenőrendszerbe integrálva, az olajhűtőnél fejtjük ki.

18.2.4. Kenési rendszerek

18.2.4.1. Frissolaj-kenés és keverékolajozás

A **frissolaj-kenés** (régi lassújárású motorok, egyes állómotorok) az olajat egyszer átvezeti a kenőhelyeken, majd elégeti vagy kivezeti. A mai járműmotoroknál nem alkalmazzuk, csak ipari gépeken fordul elő. A **keverékolajozás** (egyben kenés és üzemanyag) a kétütemű Otto-motorok hagyományos kenésmódja: az olajat a benzinhez keverik (pl. 1:50), a forgattyús házban kiülepedő köd keni a csapágyakat. A modern, külön olajadagolós kétüteműek ezt adagolószivattyúval oldják meg. A keverékolajozás hátránya a pontatlan adagolás és a nagyobb füstképződés.

18.2.4.2. Szivattyús nyomóolajozás

A mai négyütemű motorok alapsémája a **nyomóolajozás**: olajszivattyú szívja a olajat a teknőből, nyomás alatt eljuttatja a kenőhelyekre, majd az olaj visszafolyik a teknőbe. A rendszer részei:

- **olajszívó kosár** – a szivattyú előtt, nagy nyílású, a durva szennyeződést és a habot visszatartja;
- **olajszivattyú** – fogaskerekes, rotoros vagy változó szállítású lamellás (szabályozott);
- **nyomáshatároló szelep** – megvédi a rendszert a hidegindításnál fellépő túlnyomástól;
- **olajszűrő** – a szivattyú után, általában cserélhető csavaros szűrőbetét vagy patron;
- **megkerülő (bypass) szelep** – ha a szűrő eltömődik vagy hideg az olaj, a csapágyak akkor is kapjanak olajat;
- **olajnyomás-érzékelő/ kapcsoló** – a vezetőt vagy a motorvezérlőt figyelmezteti;
- **olajhűtő** – hőterheléses motorokon, a hűtőrendszerrel vagy levegővel hűtött;
- **visszafolyó furatok és permetező fúvókák** – dugattyúhűtéshez.

18.2.4.3. Szárazkarteres kenés

A **szárazkarteres kenést** sportmotorokon, egyes terepjárókon és nagy dőlésszögű üzemre tervezett motoroknál használják. Az olajteknő nem tárol nagy mennyiségű olajat; egy vagy több szívószivattyú (ún. **olajvisszaszívó szivattyú**) a teknőből folyamatosan egy külön olajtartályba nyomja az olajat. A nyomószivattyú innen szív, így a rendszer erős oldaldőlésnél vagy nagy hosszgyorsulásnál is mindig olajat kap, és az olajteknő alacsonyra építhető. A motor szellőztetése és az olajleválasztás ebben az esetben még fontosabb.

18.2.5. Olajszivattyúk

A motorolaj-szivattyú jellemzően belső fogaskerekes vagy rotoros kivitelű. A **külső fogaskerekes szivattyú** két egymásba kapcsolódó fogaskerékből áll; az egyik fogaskerék a szivattyútengelyre, a másik a házban szabadon fut. A szívóoldalon a fogak üresedése beszívja az olajat, a nyomóoldalon a fogak egymásba tolódása kinyomja. A **belső fogaskerekes (gerotor) szivattyúnál** egy belső, külső fogazatú rotor egy külső, belső fogazatú gyűrűben forog; a fogüregek térfogata váltakozik, és így szállít. A **szabályozott olajszivattyú** (változó szállítású lamellás vagy állítható gerotor) a motorvezérlő parancsára a szállított mennyiséget a tényleges igényhez igazítja, így csökkenti a hajtási teljesítményveszteséget.

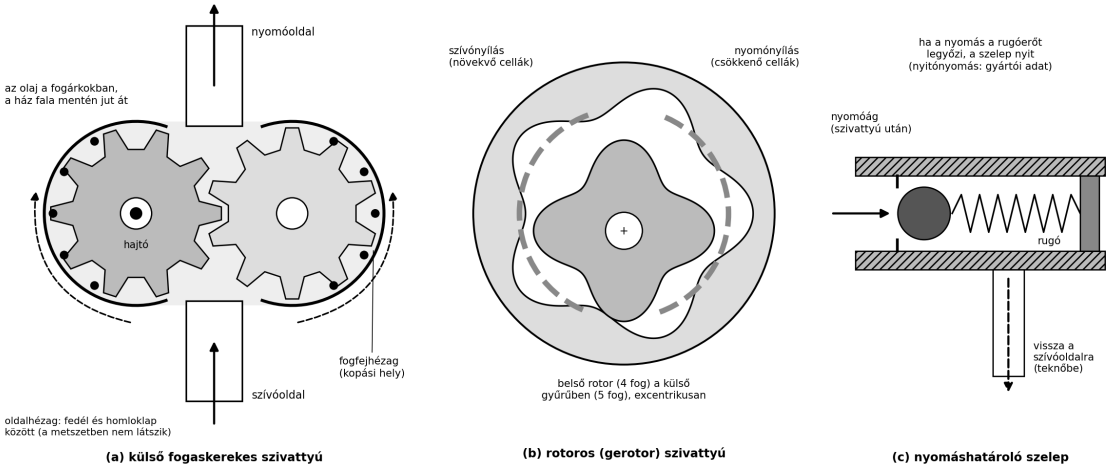
Összefüggés. Egy fogaskerekes szivattyú elméleti szállítása közelítőleg a fajlagos geometriai szállítás és a fordulatszám szorzata. Ha a fajlagos szállítás V_g (m³/fordulat), és a szivattyú fordulatszáma n (1/s), akkor az elméleti térfogatáram:

$$\dot{V}_{\text{elm}} = V_g \cdot n$$

A tényleges szállítás ennél a szivárgási veszteség miatt kisebb:

$$\dot{V} = \eta_v \cdot V_g \cdot n$$

ahol η_v a volumetrikus hatásfok, jellemzően 0,8–0,9 körül, elkopott szivattyúnál kisebb.



18.5. ábra. Olajszivattyúk metszete: külső fogaskerekes szivattyú a szívó- és nyomóoldallal, az olaj útjával és a fogfejhézaggal (a), rotoros (gerotor) szivattyú (b), nyomáshatároló szelep a nyomóoldalon (c)

A külső fogaskerekes szivattyúban az olaj nem a két kerék között, hanem a fogárkokban, a ház fala mentén jut át a szívóoldalról a nyomóoldalra; a középen egymásba kapcsolódó fogak kiszorítják a nyomóoldalra. A rotoros szivattyúban a belső rotor eggyel kevesebb fogú, mint a külső gyűrű, ezért a cellák térfogata forgás közben a szívónyílásnál nő, a nyomónyílásnál csökken. A fogfej- és az oldalhézag kopása növeli a belső visszaszivárgást, így csökkenti η_v-t. Az interaktív változatban a fordulatszám, a fajlagos szállítás és a volumetrikus hatásfok csúszkával állítható, a szállított olajmennyiség a fenti képlettel azonnal kiszámolódik.

18.2.6. Olajszűrés és olajhűtés

Az olajszűrő a szivattyú nyomóoldalán, a főcsatorna előtt helyezkedik el. A gyártók általában **teljes átfolyású (full-flow)** szűrőt alkalmaznak, azaz a szivattyú által szállított teljes olajmennyiség áthalad rajta. A szűrőbetét pórusmérete és a szűrőfelület úgy van méretezve, hogy a hidegindításnál fellépő nagy viszkozitású olaj is átjusson rajta; ettől függetlenül párhuzamosan egy **megkerülő szelepet** építenek be. Ha a szűrő eltömődik vagy a hideg olaj ellenállása túl nagy, a megkerülő szelep kinyit, és szűretlen olaj jut a csapágyakhoz. Ez jobb, mint a kenőolaj hiánya, de rendszeres hideg rövidtávú üzemnél a szűretlen üzem fokozza a kopást.

Az **olajhűtő** feladata, hogy a nagy hőterhelésű motorokban (turbómotorok, dízelek, sportmotorok) az olajhőmérsékletet a megengedett tartományban tartsa. Két fő kivitel van:

- **víz-olaj hőcserélő** – a hűtőrendszerbe kötött, kompakt, a motor felmelegedését gyorsítja, mert hidegindításkor az olajtól is kap hőt;

- **levegő-olaj hűtő** – a hűtőrács előtt vagy alatt, a menetszél hűti az olajat; nagynyomású rendszerekben termosztátszeleppel is kombinálják.

18.2.7. Olajnyomás- és olajszint-érzékelők

A műszerfali **olajnyomás-kapcsoló** egy küszöbkapcsoló: amíg a rendszernyomás eléri a kapcsolási nyomást (jellemzően 0,2–0,5 bar – ellenőrizendő: gyártói adat), a kapcsoló zárja vagy nyitja az áramkört, és a műszerfalon kialszik a lámpa. Ha a nyomás a küszöb alá esik, a lámpa kigyullad. A **nyomásjeladó** folyamatos jelet ad, így a rendszer a pontos értéket is kiírhatja vagy a motorvezérlő felhasználhatja (pl. változó olajszivattyú szabályozásához). Az **olajszint-érzékelő** a teknőben méri a szintet; lehet egyszerű kapcsoló, hőmérséklet- és szintfüggő ellenállás, vagy ultrahangos/kapacitív jeladó. A szintellenőrzés fontos, mert a nyomáskapcsoló csak a nyomás elvesztését jelzi, a túl alacsony szintből adódó habzást és rossz kenést már nem feltétlenül időben.

18.2.8. Levegő- és tüzelőanyag-szűrők

A **levegőszűrő** a szívórendszer első eleme. Feladata, hogy a beszívott levegőből eltávolítsa a port, homokot, virágport és egyéb szilárd szennyeződést, mielőtt az a hengerbe jutna. A szűrőbetét lehet papír (cellulóz, szintetikus), habanyag vagy olajfürdős (régi járműveken). A szűrő eltömődése növeli a szívási ellenállást, csökkenti a töltési fokot, a teljesítményt és növeli a fogyasztást. A modern motoroknál a szívócsőben **légtömeg- vagy szívócsőnyomás-érzékelő** érzékeli a csökkent légáramot, ezért a motorvezérlő az eltömődött szűrővel is kompenzálhat bizonyos határig, de a papírbetétet a gyártói ciklus szerint cserélni kell.

A **tüzelőanyag-szűrő** az üzemanyag-rendszerben a szivattyú előtt vagy után, a befecskendezők előtt helyezkedik el. Benzinmotoroknál gyakran a tankban, a tüzelőanyag-modulban van; dízelmotoroknál a nagy nyomású szivattyú és a common rail előtti kisnyomású körben külön álló csavaros vagy patronos szűrő. Feladata a mechanikai szennyeződés és – dízelnél – a víz kiválasztása. A **vízleválasztó** az alján gyűjti a vizet, amit a gyártói intervallum szerint le kell engedni; a dízelben lévő víz a befecskendezőrendszer károsodását okozza. Télen a dízelszűrőben a paraffinkiválás miatt **téli dízel** vagy **szűrőfűtés** szükséges; a hideg szűrő eltömődése indítási nehézséget okoz.

18.2.9. Számítási példák

1. Számítás (olajszivattyú szállítása).
Adott: egy fogaskerekes olajszivattyú fajlagos szállítása $V_g = 10\,\mathrm{cm}^3$, a szivattyú fordulatszáma $n = 4000\,1/\mathrm{min}$, a volumetrikus hatásfok $\eta_v = 0{,}85$.
Keresett: az elméleti és a tényleges térfogatáram.
Megoldás:

$$n = \frac{4000}{60}\,\mathrm{s}^{-1} = 66{,}7\,\mathrm{s}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\mathrm{elm}} = V_g \cdot n = 10 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^3 \cdot 66{,}7\,\mathrm{s}^{-1} = 6{,}67 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^3/\mathrm{s} = 0{,}667\,\mathrm{l/s}$$

$$\dot{V} = \eta_v \cdot \dot{V}_{\mathrm{elm}} = 0{,}85 \cdot 0{,}667 = 0{,}567\,\mathrm{l/s} \approx 34\,\mathrm{l/min}$$

Ellenőrzés. A percenkénti 34 liter valósághű egy közepes személyautó-motor szivattyújára, és az egység is liter/perc. A tényleges érték fordulatszámtól, viszkozitástól és kopástól függ, ezért a mérés a műhelyben nyomásmérővel történik. ∎

2. Számítás (olajnyomás által kifejtett erő).
Adott: egy hidraulikus szelepemelő dugattyúátmérője $d = 24\,\text{mm}$, az olajnyomás $p = 3\,\text{bar}$.
Keresett: mekkora erőt fejt ki az olaj a dugattyúra.
Megoldás:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0{,}024\,\text{m})^2}{4} = 4{,}52 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2$$

$$p = 3 \cdot 10^5\,\text{Pa} = 3 \cdot 10^5\,\text{N/m}^2$$

$$F = p \cdot A = 3 \cdot 10^5 \cdot 4{,}52 \cdot 10^{-4} = 135{,}6\,\text{N}$$

Ellenőrzés. Az eredmény nagyságrendileg helyes: egy ujjnyi átmérőjű dugattyúra 3 bar nyomás kb. 136 N erőt ad. Az ilyen számítást használjuk hidraulikus tömítések, feszítők és szelepemelők méretezésénél. ∎

18.2.10. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista olaj- és szűrőrendszer vizsgálatához

1. **Olajszint ellenőrzése** – meleg motor leállítása után, a gyártói várakozási időt betartva, a nívópálcát kihúzva, letörölve, visszahelyezve olvassuk le. A szintnek a min–max jel között kell lennie. Túltöltés ugyanolyan hiba, mint alultöltés.
2. **Olajnyomás mérése** – a nyomáskapcsoló helyére szerelt kalibrált nyomásmérővel (vagy diagnosztikai műszerrel). Meleg motoron, alapjáraton jellemzően 0,5–1,5 bar, emelt fordulatszámon (pl. 3000–4000 1/min) 3–5 bar – **ellenőrizendő: gyártói adat**. Az értéknek stabilnak kell lennie, és nem szabad a gyártói minimális küszöb alá esnie.
3. **Olajszűrő ellenőrzése** – ránézésre nem szabad szivárognia; a szűrőcsere előtt a régi szűrőt nem szabad csak kézzel megítélni a belső állapotáról. Ha a megkerülő szelep nyitva volt hosszabb ideig, a szűrő fémrészecskéket is tartalmazhat, ezt felvágás után (ha elérhető) lehet értékelni.
4. **Levegőszűrő** – a betétet fényforrás felé tartva ellenőrizhető a pórusok szennyezettsége; erősen szennyezett vagy olajos betét cserélendő. A szűrőház tömítése és a csatlakozó tömlők repedésmentessége is ellenőrzendő.
5. **Tüzelőanyag-szűrő** – dízelnél a vízleeresztő csavart a gyártói intervallumban nyitni kell; ha a leeresztett anyag víz vagy szennyezett, a szűrő cseréje indokolt. A szűrő után a kisnyomású tüzelőanyag-nyomás ellenőrzése (pl. 0,5–5 bar, típusfüggő – ellenőrizendő) a szivattyú és a szűrő állapotát is jellemzi.

18.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Hibakeresési eset.
Tünet: 1,6 literes, közvetlen befecskendezésű, turbós benzinmotorral szerelt autó műszerfalán kigyullad az olajnyomás-lámpa, és a motor halkan kopogó hangot ad. A vezető azonnal leállítja, és vontatva hozza a műhelybe.

Hipotézisek: (1) alacsony olajszint, (2) hibás olajnyomáskapcsoló vagy annak vezetéke, (3) eltömődött olajszívó kosár, (4) kopott olajszivattyú, (5) nyitva ragadt nyomáshatároló szelep, (6) belső csapágykopás.

Mérés/vizsgálat: a nívópálca olajszintet mutat a max jel felett kissé; az olaj híg, erős benzinre emlékeztető szagú. A nyomáskapcsoló csatlakozóján multiméterrel a kapcsoló ellenállása meleg motornál is zárva marad (a lámpa joggal ég). A nyomásmérővel alapjáraton 0,3 bar, 3000 1/min-nél 1,1 bar – a gyártói minimum (ellenőrizendő) alatt. A motorvezérlő hibakódjai között P0520 vagy P0521 olajnyomás-érzékelő/kapcsoló tartományhiba – ellenőrizendő a típus szerint.

Ok: a közvetlen befecskendezés hibás injektor-befecskendezése miatt a hengerfalra jutó benzin az olajteknőbe került, az olajat felhígította, a viszkozitás lecsökkent. Az alacsony viszkozitás miatt a szivattyú nem tudott megfelelő nyomást építeni.

Javítás: injektor-ellenőrzés, a hibás injektor cseréje, olaj- és szűrőcsere, a nyomásmérővel és diagnosztikai műszerrel végzett újbóli ellenőrzés. Az olajcsere után a kopogást újra ellenőrizzük; ha megmarad, vagy az olajnyomás a gyártói minimum alatt marad (ellenőrizendő: gyártói adat), a régi olajszűrő felvágásával (fémforgács, csapágyfém keresése) és az olajteknő bontásával a csapágyakat meg kell vizsgálni. A javítás után hideg- és melegjáratáson is nyomon követni kell az olajszintet és a szagot. ∎

18.2.12. Gyakorlati útmutató: olaj- és szűrőcsere, olajnyomás-ellenőrzés

Cél: a motorolaj és az olajszűrő tervezett cseréje, a levegő- és tüzelőanyag-szűrő állapotának ellenőrzése, valamint az olajnyomás ellenőrzése a javítás után.

Jármű- és adatazonosítás: alvázszám, motorszám, a pontos olajspecifikáció (SAE-viszkozitás, ACEA/gyártói jóváhagyás) és a töltetmennyiség a gyártói javítási adatból, a szűrőtípus a járműkatalógusból.

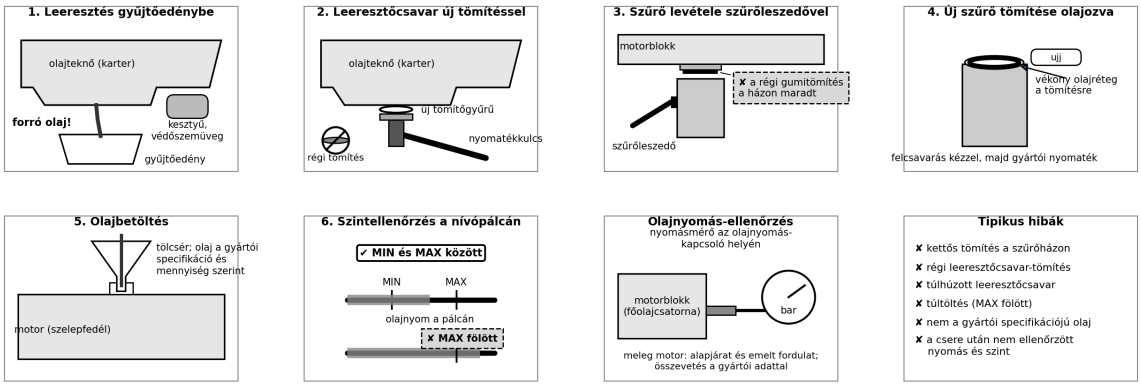
Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: olajleeresztő kulcs vagy bit, szűrőleszedő, nyomatékkulcs, gyűjtőedény, tölcsér, rongy, új olajszűrő, friss motorolaj, levegőszűrő, tüzelőanyag-szűrő (ha cseréljük), olajnyomásmérő, multiméter, lefolyótálca, veszélyes hulladékgyűjtő, egyéni védőeszköz (nitril- vagy vegyszerálló kesztyű, védőszemüveg, zárt munkaruha).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Emelés és alátámasztás: jármű alá csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn, vagy bakra támasztva szabad bemenni; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos. A forró motorolaj és a kipufogó részek égési sérülést okozhatnak; a klíma csöveit és a kipufogórendszert forrón ne közelítsd meg.

Környezetvédelem. A fáradt olaj, a használt szűrő, az olajos rongy és a kifolyt üzemanyag veszélyes hulladék; külön gyűjtőedénybe, nyilvántartva kell gyűjteni, és csak engedéllyel rendelkező átvevőnek átadni. Hűtőfolyadékot, olajat vagy üzemanyagot csatornába, talajba juttatni tilos.

Munkalépések:

1. Melegítsd a motort üzemi hőmérsékletre, hogy az olaj hígabb legyen és a szennyeződés felvegye; majd állítsd le, és várd meg a gyártói várakozási időt (ellenőrizendő) az olaj leülepedéséhez.
2. Emeld meg a járművet a gyártói emelési pontokon, támaszd alá bakokkal; húzd be a rögzítőféket, és használj kerékéket.
3. Helyezz gyűjtőedényt az olajleeresztő csavar alá; oldd ki a csavart, és engedd le az olajat. A leeresztőcsavar tömítését (réz, acél vagy O-gyűrű) a gyártói előírás szerint cseréld.
4. Szedd le az olajszűrőt; a szűrő környékére szerelt hővédő vagy fröccsenővédő elemeket a gyártói utasítás szerint távolítsd el. A régi tömítési felületet tisztítsd meg.
5. Az új szűrő tömítését vékonyan kend be friss motorolajjal, majd kézzel csavard fel; a végső meghúzást a gyártói nyomatékra (pl. 15–25 Nm – ellenőrizendő) vagy a ráírt előírás szerint végezd. Ne húzd túl.
6. Cseréld ki a levegőszűrőt, ha a betét elérte a gyártói ciklust vagy szennyezett. A tüzelőanyag-szűrőt – főleg dízelnél – a gyártói eljárás szerint, a rendszer légtelenítésével együtt cseréld.
7. Töltsd be a friss motorolajat a gyártói töltetmennyiség szerint. Indítsd a motort, ellenőrizd a szűrőház és a leeresztőcsavar tömítettségét; az olajnyomás-lámpának néhány másodpercen belül ki kell aludnia.
8. Nyomásmérővel ellenőrizd az olajnyomást meleg motornál alapjáraton és emelt fordulatszámon; a mért értékeket hasonlítsd a gyártói adathoz.
9. Állítsd le a motort, várd a leülepedést, majd ellenőrizd a szintet a pálcán; szükség szerint töltsd fel a max jelig.
10. Rögzítsd a cserét a munkalapon és a szervizkönyvben: kilométerállás, olaj- és szűrőtípus, mért olajnyomás, megjegyzések.



18.6. ábra. Az olaj- és szűrőcsere fő lépései (3–5., 7–9. lépés), az olajnyomás ellenőrzése és a tipikus hibák: kettős tömítés, régi leeresztőcsavar-tömítés, túltöltés (sematikus)

A képsor a munkalépések sorrendjét és a három leggyakoribb szerelési hibát mutatja: a szűrőházon maradt régi gumitömítést (kettős tömítés), az újra felhasznált leeresztőcsavar-tömítést és a MAX jel fölé töltött olajat.

Tipikus hibák a munkavégzés során: túltöltés, a szűrő tömítésének beragadása a szűrőházba (kettős tömítés), a leeresztőcsavar túlhúzása, nem megfelelő olaj használata, a csere után nem ellenőrzött nyomás, a szűrő kinyitása a megkerülő szelep megfigyelése nélkül.

18.2.13. Tipikus hibák

1. **Túltöltött olajszint.** Ha a nívópálca a max jel fölé mutat, a forgattyús tengely az olajat habosíthatja, a hab a szivattyúba kerülve nyomásesést okoz; a felesleg a szellőztetőbe juthat,

és égéstér lerakódáshoz vezethet. A helyes gyakorlat: a szintet a gyártói eljárás szerint, sík talajon, meleg motornál, a megfelelő várakozási idő után ellenőrizni.

2. **A „tele olajszűrőm van, tehát jó a kenés” tévhit.** A szűrő a szivattyú után van; ha a szivattyú vagy a szívókosár hibás, a szűrőhöz kevés olaj jut. Az olajnyomást nem a szűrő töltöttsége, hanem a nyomásmérő vagy a diagnosztikai élő adat mutatja.
3. **A megkerülő szelep tartós nyitva maradásának figyelmen kívül hagyása.** Rövid, hideg utakon a szelep nyithat; ha a szűrő eltömődött, a szűretlen olaj folyamatosan kering. A tünet szinte láthatatlan, csak a betét felvágása vagy a szűrőnyomás-különbség mérése mutatja. A gyártói ciklusú szűrőcsere elmulasztása a csapágykopás felgyorsulásához vezet.
4. **Dízelszűrőnél a vízleeresztés elhanyagolása.** A dízelben lévő víz nem csak a szűrőben marad; a nagynyomású szivattyúban és a befecskendezőkben korróziót, kavitációt és meghibásodást okoz. A vízleeresztő csavart a gyártói intervallumban, gyűjtőedénybe kell nyitni.
5. **Levegőszűrő kifúvatása sűrített levegővel.** A papírbetétet sűrített levegővel „tisztítani” felszakíthatja a pórusokat, és a szűrő kifelé sem lesz megbízható. A helyes gyakorlat a gyártói ciklus szerinti csere; kis szennyezésnél a betétet kifelé irányuló porszívóval lehet kíméletesen portalanítani, de a biztonságot a csere adja.

18.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a nyomóolajozású rendszerben az olajnyomást csak a szivattyú szállítása határozza meg? Indokold!
2. Mi a szerepe a megkerülő szelepnek, és mi történik, ha eltömődött szűrőnél kinyit?
3. Egy olajszivattyú fajlagos szállítása 12 cm^3, fordulatszáma 3000 1/min, volumetrikus hatásfoka 0,82. Mennyi a tényleges szállítás?
4. Miért kell dízelmotoroknál télen a tüzelőanyag-szűrőt fűteni vagy téli gázolajat használni?
5. Nívópálcás szintellenőrzésnél miért kell megvárni a motor leállítását és az olaj visszafolyását?
6. Mi a különbség az olajnyomás-kapcsoló és az olajnyomás-jeladó között?

18.2.15. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a nyomóolajozású kenőrendszer fő elemeit, és jelöld, hogy az olaj merre halad.

2. feladat (A). Számítsd át a 0,8 bar értéket kPa-ra és MPa-ra, és állapítsd meg, hogy alapjárati olajnyomásként ez magas vagy alacsony.

3. feladat (B). Egy hidraulikus szelepemelő dugattyúátmérője 18 mm, az olajnyomás 2,5 bar. Számítsd ki a dugattyúra ható erőt. Mennyivel változik az erő, ha a nyomás 1,5 bar-ra csökken?

4. feladat (B). Fogaskerekes szivattyú elméleti szállítása 0,8 l/s 5000 1/min fordulatszámnál. Mekkora a fajlagos szállítás cm^3/fordulatban? (Feltételezzük, hogy a volumetrikus hatásfok nem szerepel, az elméleti szállítást használjuk.)

5. feladat (C). Műszerfalon olajnyomás-lámpa csak hideg motornál ég, melegen kialszik. Adj lehetséges okokat és magyarázd meg, miért hőmérsékletfüggő a jelenség. Milyen méréssel dönthető el, hogy a kapcsoló hibás vagy a nyomás valóban alacsony?

6. feladat (D). Az ügyfél dízel autója télen nehezen indul, majd a motor bemelegedése után a teljesítmény visszatér, de a szűrő mellett a csatlakozóból gázolajszivárgás látható. Milyen tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás láncot javasolsz?

18.2.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az olajnyomás a szivattyú szállításából, a csapágyak és fojtások ellenállásából, az olaj viszkozitásából és a hőmérsékletből együttesen adódik. A szivattyú szállítása önmagában nem határozza meg a nyomást; például elkopott csapágyaknál ugyanakkora szállítás mellett is alacsony nyomás áll be.
2. A megkerülő szelep akkor nyit, ha a szűrő ellenállása túl nagy (hideg, sűrű olaj vagy eltömődött szűrő). Ilyenkor szűretlen olaj jut a csapágyakhoz, ami jobb, mint a kenés hiánya, de hosszabb távon fokozott kopást okoz.
3. Térfogatáram $= \eta_v \cdot V_g \cdot n$. $n = 3000/60 = 50\,\mathrm{s^{-1}}$; $V_g = 12 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m^3}$. Elméleti: $12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 0{,}0006\,\mathrm{m^3/s} = 0{,}6\,\mathrm{l/s}$. Tényleges: $0{,}82 \cdot 0{,}6 = 0{,}492\,\mathrm{l/s}$.
4. A dízelgázolaj hidegben paraffint választ ki, amely eltömi a szűrőt és gátolja az üzemanyag-áramlást. A téli dízel adalékokat tartalmaz, a szűrőfűtés pedig melegíti az üzemanyagot, így megakadályozza a kristályosodást.
5. A motor leállítása után a csapágyakból és a kenőjáratokból az olaj lassan visszafolyik a teknőbe. Ha túl korán mérünk, a szint a pálcán hamisan alacsony lehet, és túltöltjük a rendszert.
6. Az olajnyomás-kapcsoló egy küszöbkapcsoló, amely a gyártói kapcsolási nyomásnál (pl. 0,3 bar – ellenőrizendő) zár/nyit, és a műszerfali lámpát kapcsolja. A nyomásjeladó folyamatos, a nyomással arányos jelet ad, amelyet a műszer vagy a motorvezérlő mérni, kijelezni és szabályozásra használni tud.

Feladatok megoldásai

1. feladat
Az olaj útja: olajteknő → olajszívó kosár → olajszivattyú → nyomáshatároló szelep (túlnyomás esetén visszafúvat) → olajszűrő (ha eltömődött, megkerülő szelep nyit) → olajhűtő (ha van) → fő kenőcsatorna → főtengelycsapágyak, hajtórúd-csapágyak, vezérmű, turbófeltöltő, dugattyúhűtő fúvókák → visszafolyás a teknőbe.

2. feladat
$0{,}8\,\mathrm{bar} = 0{,}8 \cdot 100\,\mathrm{kPa} = 80\,\mathrm{kPa}$; $0{,}8\,\mathrm{bar} = 0{,}08\,\mathrm{MPa}$ (mert $1\,\mathrm{bar} = 100\,\mathrm{kPa} = 0{,}1\,\mathrm{MPa}$). Meleg motoron alapjáraton ez jellemzően alacsonynak számít, de még lehet a gyártói minimum értékén belül; a pontos határértéket a gyártói adat adja meg.

3. feladat
$A = \pi \cdot (0{,}018\,\mathrm{m})^2/4 = 2{,}545 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m^2}$ (az átmérőt kell a $\pi d^2/4$ képletbe írni, nem a sugarat).
$p_1 = 2{,}5 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$, így $F_1 = p_1 \cdot A = 2{,}5 \cdot 10^5 \cdot 2{,}545 \cdot 10^{-4} \approx 63{,}6\,\mathrm{N}$.
$p_2 = 1{,}5 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$, így $F_2 = 1{,}5 \cdot 10^5 \cdot 2{,}545 \cdot 10^{-4} \approx 38{,}2\,\mathrm{N}$.
A változás $\Delta F \approx 25{,}4\,\mathrm{N}$ (40 %-kal kisebb erő, a nyomással arányosan).

4. feladat
Az elméleti szállítás: $\dot{V}_{\mathrm{elm}} = 0{,}8\,\mathrm{l/s}$, $n = 5000\,\mathrm{1/min} = 5000/60 = 83{,}33\,\mathrm{1/s}$.
A fajlagos szállítás:
$V_g = \dot{V}_{\mathrm{elm}}/n = 0{,}8/83{,}33 = 0{,}0096\,\mathrm{l} = 9{,}6\,\mathrm{cm^3}$.
Ellenőrzés: $9{,}6 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m^3}$ szorozva 83,33 1/s-sel $0{,}0008\,\mathrm{m^3/s} = 0{,}8\,\mathrm{l/s}$, tehát helyes.

5. feladat
Hidegen az olaj viszkózusabb, ezért egy ép rendszerben a nyomás hidegen magasabb, melegen alacsonyabb. Ha a lámpa éppen hidegen ég és melegen kialszik, a jelenség nem a kopott csapágyak tipikus képe (az melegen, alapjáraton jelentkezne). Lehetséges okok: (a) a nyomáskapcsoló hibás vagy a csatlakozója, vezetéke testzárlatos, és a hőmérséklet-változás miatt a kontaktus változik;

(b) a kapcsoló mérőfuratát hideg, sűrű olaj, lerakódás vagy iszap részben eltömi, így a kapcsoló nem érzékeli a tényleges nyomást; (c) hideg, sűrű olajnál az olajszívó szűrő vagy a nyomáshatároló szelep akadozik (beragad nyitva), ezért a nyomás valóban alacsony, a melegedéssel az olaj hígul és a hiba megszűnik; (d) a szükségesnél nagyobb viszkozitású, nem a gyártói előírásnak megfelelő olaj. Döntő mérés: cseréld ki a kapcsolót, vagy szerelj fel kalibrált nyomásmérőt a kapcsoló helyére; hasonlítsd össze a hideg- és melegmotornál mért értékeket a gyártói küszöbértékkel.

6. feladat
Tünet: hidegindítási nehézség, majd melegben javulás, látható szivárgás a szűrő csatlakozójánál.
Hipotézisek: eltömődött dízelszűrő, a szűrő körüli tömítés hibás szivárgása, a csatlakozó repedése vagy laza szorítása, paraffinkiválás a szűrőben, esetleg a szűrőház fűtése hibás.
Mérés/vizsgálat: a szűrő előtti és utáni kisnyomású tüzelőanyag-nyomás ellenőrzése; a szivárgás rögzítése, a csatlakozó nyomatékának és tömítésének ellenőrzése; a szűrő leengedése (ha van vízleeresztő), a kifolyó anyag megfigyelése; a szűrőcsere után a rendszer légtelenítése.
Ok: a szűrő részben eltömődött a hidegben kivált paraffintól; a szivárgás a csatlakozó tömítésének elöregedéséből vagy laza szerelésből adódik.
Javítás: szűrőcsere a gyártói előírás szerint, téli dízel használata, a fűtés ellenőrzése, a tömítés és csatlakozó cseréje, a rendszer légtelenítése és próbaindítás hideg motornál.
Ellenőrzés: hidegindítás több ciklusban, nyomásmérés a kisnyomású körben, szivárgásmentesség, diagnosztikai műszerrel az üzemanyagnyomás-értékek és hibakódok ellenőrzése.
Tanulság: a szűrőt nem csak kilométerre, hanem üzemanyag-minőségre és évszakra tekintettel is cserélni kell; a szivárgás baleset- és tűzveszélyes.

18.2.17. Rövid összefoglaló

A motor kenésének célja a súrlódó felületek szétválasztása, a kopás csökkentése, a hő elvezetése és a szennyeződések elszállítása. A négyütemű motorok alaprendszere a szivattyús nyomóolajozás: az olajszivattyú (fogaskerekes, rotoros vagy szabályozott) az olajat a teknőből a szűrőn, adott esetben az olajhűtőn át a főcsatornába nyomja. A nyomáshatároló szelep a túlnyomást, a szűrő megkerülő szelepe a szűrő eltömődésekor a kenés fenntartását szolgálja. A szárazkarteres rendszer külön tartályból, több szivattyúval biztosítja a kenést extrém dőlésszögnél is. Az olajnyomást kapcsolóként vagy jeladóként figyelemmel kísérjük; a túl alacsony nyomás csapágykárosodást okoz. A levegőszűrő védi a hengereket a por és homok okozta kopástól, a tüzelőanyag-szűrő – különösen dízelnél – a befecskendezőrendszert védi a szennyeződéstől és a víztől. A gyakorlati munka során a gyártói olajspecifikáció, a nyomatékok, a szint- és nyomásértékek, valamint a veszélyes hulladékok elkülönített kezelése mindig kötelező.

Továbbvitt eredmény. A kenőrendszer felépítése, az olajszivattyú típusai, a szűrő és a nyomáshatároló szerepe, az olajnyomás mérése és a tipikus hibák – ezt használjuk a(z) A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása alfejezetben, ahol a tényleges szétszerelést, ellenőrzést és javítást végezzük.

18.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások és kenési táblázatok – ellenőrizendő: az adott motor olajnyomás-értékei, szűrőtípusai, meghúzási nyomatékok, töltetmennyiségek.
- A motorolajok SAE viszkozitási osztálya és a gyártói jóváhagyások – ellenőrizendő: a hatályos SAE J300 és a gyártói specifikációk.
- A hulladékkezelésre vonatkozó jogszabályok – ellenőrizendő: a veszélyes hulladékokkal kapcsolatos hatályos hazai és uniós rendeletek pontos megnevezése.

- A levegő- és tüzelőanyag-szűrők csereperiódusai és a téli dízelre vonatkozó előírások – ellenőrizendő: a járműgyártói karbantartási ütemterv és a hazai üzemanyag-szabvány előírásai.

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

19 Otto-motorok tüzelőanyag-ellátása és keverékképzése

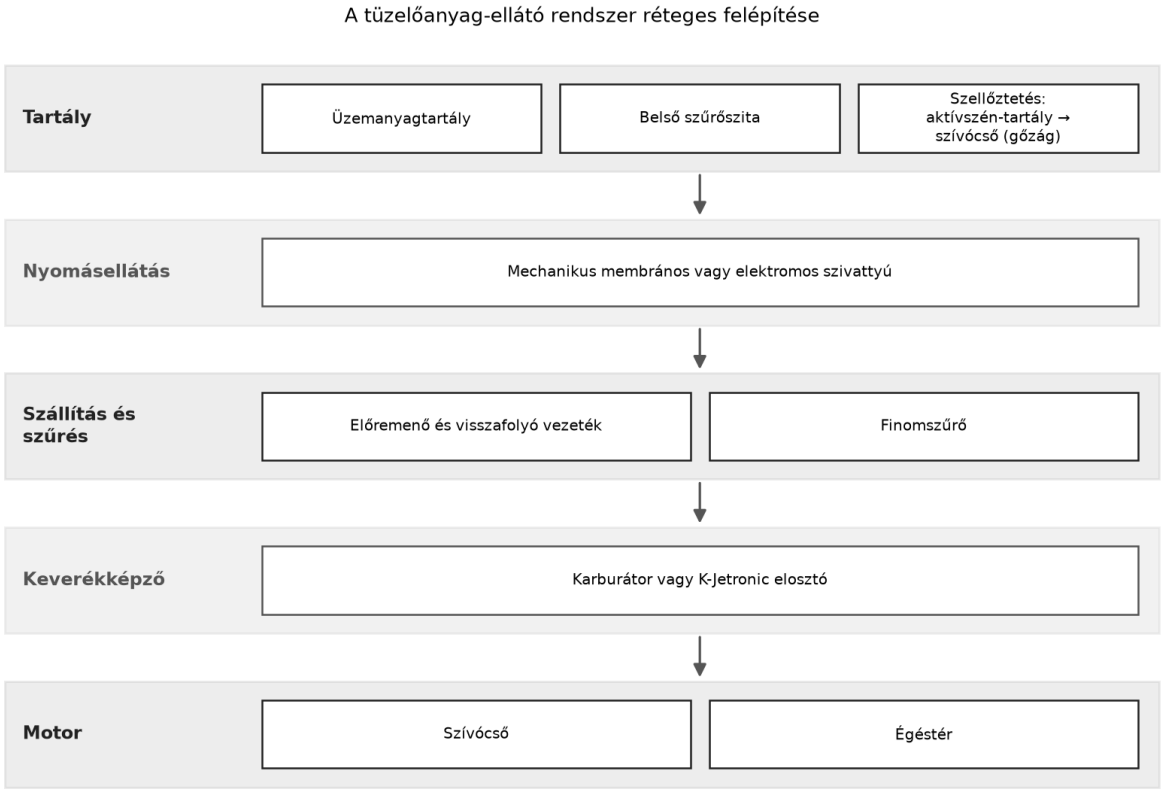
19.1. Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken)

19.1.1. Motiváció

Egy 1990-es évekbeli, benzines autó hidegen nehezen indul, meleg motornál időnként lefullad, és a műhelyben enyhe benzingőz-szagot érezni. A tulajdonos szerint „már megint a karburátor". Mielőtt bármit szétszednénk, tudnunk kell, hogyan jut el a benzin a tartálytól a motorig, milyen részegységek milyen hibái okozhatják ezeket a tüneteket, és hogyan működtek azok a keverékképző rendszerek, amelyek a mai elektronikus befecskendezés előfutárai voltak. Ez a tudás a modern Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek alfejezet megértésének alapja is.

19.1.2. Szemléletes kép: a tüzelőanyag-ellátó rendszer rétegábrája

Képzeljük el, ahogy a benzin útját követjük a jármű hátuljától a motorig. A tartály alsó részén szitaszűrő, fölötte szivattyú, majd fém- és műanyag csővezetékek, a motortérben finomszűrő, végül a keverékképző (karburátor vagy mechanikus befecskendező elosztó) és a szívócső következik. A régi autókon a benzingőzt egyszerűen a légkörbe eresztették, a modernebb rendszerekben aktívszén-tartály köti meg.



19.1. ábra. A tüzelőanyag-ellátó rendszer réteges felépítése - Sematikus rétegábra; a nyilak fentről lefelé a benzin fő (folyadék) áramlási irányát jelzik. A szellőztetés gőzága (aktívszén-tartály → szívócső) nem része a folyadékútnak.

A rétegek fentről lefelé: a tartály (a szellőztetés gőzágával), a nyomásellátás (szivattyú), a szállítás és szűrés, a keverékképző, végül a motor. A benzin előremenő ága a tartályból a szivattyún és a finomszűrőn át a keverékképzőbe jut; a szabályozott rendszerekben a felesleg visszafolyik a tartályba.

19.1.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Karburátor (carburettor; „karbi”). Olyan mechanikus keverékképző szerkezet, amely a beszívott levegő áramlási energiájával porlasztja és méri a benzint, és a benzin–levegő keveréket a motor szívócsövébe juttatja.

Definíció. Légviszony (λ, lambda). A ténylegesen beszívott levegő tömegének és a betáplált tüzelőanyag tökéletes elégetéséhez elméletileg szükséges levegőtömegnek az aránya. Benzin esetén a sztöchiometrikus levegőigény $L_{\mathrm{st}} \approx 14{,}7$ kg levegő / kg benzin.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_B \cdot L_{\mathrm{st}}}$$

Definíció. K-Jetronic. A Bosch cég folyamatos (nem szakaszos) mechanikus-hidraulikus benzinbefecskendező rendszere (csak a szivattyú és a melegedésszabályozó fűtése villamos). A beszívott levegő mennyiségét egy emelőtárcsás légmennyiségmérő érzékeli, és mechanikusan

vezérli a tüzelőanyag-elosztó adagolódugattyúját. A KE-Jetronic ennek elektronikus lambda-szabályozással kiegészített változata.

Továbbvitt eredmény. A motor különböző üzemállapotokban (hidegindítás, alapjárat, részterhelés, teljes terhelés, gyorsítás) más és más λ-t igényel. A karburátor ezt mechanikus-hidraulikus elemekkel, a K/KE-Jetronic mechanikusan és elektronikusan közelíti. Ezt az üzemállapotonkénti keverékképzési táblázatot (lásd az Üzemállapotok keverékigénye szakaszt) használjuk a Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek alfejezetben, amikor a modern befecskendező rendszerek jelleggörbéit tanuljuk.

19.1.4. A tüzelőanyag-ellátó rendszer elemei

19.1.4.1. Tartály, vezetékek és szűrők

Feladat a benzin biztonságos tárolása, szűrése és eljuttatása a keverékképzőhöz. A tartály lehet acél vagy műanyag; belsejében terelőlemezek csökkentik a benzin hullámzását, alján szitaszűrő védi a szivattyút a durva szennyeződéstől. A finomszűrő a motortérben vagy a tartálynál helyezkedik el, pórusmérete jellemzően 5–10 mikrométer körüli (ellenőrizendő: gyártói adat).

A szállító vezetékek nyomásálló acél- vagy többrétegű műanyag csövek. A karburátoros és mechanikus befecskendezős rendszerekben gyakran van **visszafolyó ág**, amely a felesleges benzint a tartályba vezeti vissza. Ez megakadályozza a benzin felforrósodásából adódó gőzzárat, és állandó áramlást biztosít a szivattyúnak.

19.1.4.2. Tartályszellőztetés és aktívszén-tartály

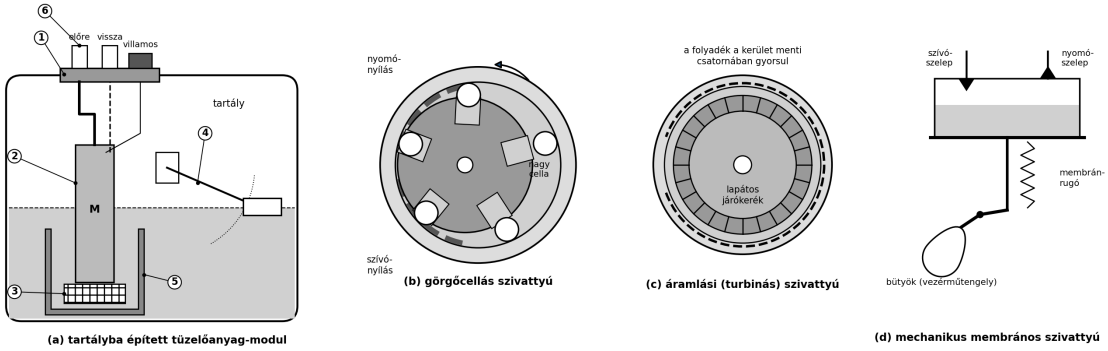
A benzin párolgása miatt a tartályban nyomáskülönbség alakulna ki, ezért szellőztetni kell. A korai járműveken a tartályt egyszerűen a légkörbe szellőztették, ami jelentős párolgási emissziót okozott. A modernebb rendszerekben a **aktívszén-tartály (EVAP tartály)** aktív szén felületén megköti a benzingőzt, majd amikor a motor jár, egy mágnesszelep szabályozottan a szívócsőbe engedi a gőzt, hogy az elégjen. Az EVAP-rendszer részletes diagnosztikáját az Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok alfejezet tárgyalja (ellenőrizendő: az alfejezet ténylegesen tárgyalja-e az EVAP-diagnosztikát).

19.1.5. Tüzelőanyag-szivattyúk

Mechanikus membrános szivattyú. Régi karburátoros járműveken a vezérműtengely bütyke mozgatja a membránt; rugó nyomja a membránt, ami a szívó- és nyomószelepeken keresztül szállítja a benzint. Nyomása alacsony, jellemzően 0,1–0,3 bar (ellenőrizendő: gyártói adat). Előnye az egyszerűség, hátránya, hogy a motor indítása előtt nem szállít, és meleg motornál gőzzárra hajlamos.

Elektromos szivattyúk. A mai és a korszerűbb régi rendszerekben a szivattyú a tartályban vagy a tartály közelében van. Két gyakori kivitel:

- **Görgőcellás szivattyú:** a körházban excentrikusan forgó tárcsa hornyaiban görgők futnak; a cellák térfogata a fordulat során változik, így szív és nyom. Nagyobb nyomást és egyenletes szállítást ad, de érzékeny a szennyeződésre.
- **Áramlási (turbinás) szivattyú:** járókerék lapátjai a folyadékot gyorsítják; csendesebb és kisebb, elsősorban tartálymodulos rendszerekben használják.



19.2. ábra. Tartályba épített tüzelőanyag-modul: ① szerelőfedél csatlakozókkal, ② elektromos szivattyú, ③ előszűrő, ④ lengőkaros szintjeladó úszóval, ⑤ terelőedény, ⑥ előremenő és visszafolyó csatlakozás (a); görgőcellás (b), áramlási/turbinás (c) és mechanikus membrános szivattyú (d) – sematikus

A tartálymodulban a szivattyú egy terelőedényben áll, így kanyarban és kevés üzemanyagnál sem szív levegőt; a szintjeladó úszója lengőkaron át egy ellenállást állít. A görgőcellás szivattyúban a tárcsa excentrikusan áll a házban: a két görgő közötti cella a szívónyílásnál nő, a nyomónyílásnál csökken – az interaktív változat ezt forgás közben mutatja. A membrános szivattyú membránját a bütyök emelőkaron át húzza le (szívás), a rugó nyomja vissza (szállítás).

Az elektromos szivattyú nyomása a rendszertől függ: karburátoros rendszerekben jellemzően 0,2–0,4 bar, mechanikus befecskendezésnél (K-Jetronic) 5 bar körüli (ellenőrizendő: gyártói adat). A nyomást nyomáskorlátozó szelep tartja fenn; a felesleg a visszafolyó ágon távozik. A modern rendszerekben az elektronikus vezérlő az **igény szerinti szabályozást** (pl. a szivattyú fordulatszámának változtatását) is alkalmazza, hogy ne melegítse feleslegesen a benzint és csökkentse az energiafogyasztást.

19.1.6. Üzemállapotok keverékigénye

A motor különböző üzemállapotokban más légviszonyt igényel. Az alábbi értékek tájékoztatók, gyártónként és típusonként eltérnek (ellenőrizendő: gyártói adat).

Üzemállapot	Igényelt λ (tájékoztató)	Karburátor-rendszer	K-Jetronic megoldás
Hidegindítás	a hengerbe jutó tényleges keverékre nézve kb. 0,2–0,6 (ellenőrizendő)	szívató	hidegindító szelep, alacsony vezérlőnyomás
Bemelegedés	kb. 0,8–0,95	szívató / automata szívató	melegedésszabályozó
Alapjárat	kb. 1,0 (régen 0,9–1,0)	alapjárati rendszer	alapjárati keverékcsavar
Részterhelés	kb. 1,0–1,1	főfúvóka-rendszer	tüzelőanyag-elosztó
Teljes terhelés	kb. 0,85–0,95	dúsító rendszer	teljes terhelési dúsítás
Gyorsítás	rövid ideig dús	gyorsítószivattyú	az emelőtárcsa átmeneti túllendülése
Tolóüzem	nincs vagy szegény keverék	–	–

19.1.7. A karburátor felépítése és működése (régi járművön ezt találod)

A karburátor egy légtorokból (Venturi-cső), főfúvókából, fojtószelepből és az üzemállapot szerinti kiegészítő rendszerekből áll. A beszívott levegő a szűkített torokban felgyorsul, nyomása csökken, és a főfúvókából benzint szív; a nagy légsebesség apró cseppekre porlasztja a tüzelőanyagot.

Úszóház és úszószint. A benzint az úszóházban úszó tűszelep tartja állandó szinten. A hibás tűszelep túlfolyást és dús keveréket okoz. A gyártók az úszószintet pontos milliméterben adják meg, például 24–26 mm a fedél síkjától (ellenőrizendő: a konkrét típus javítási adata).

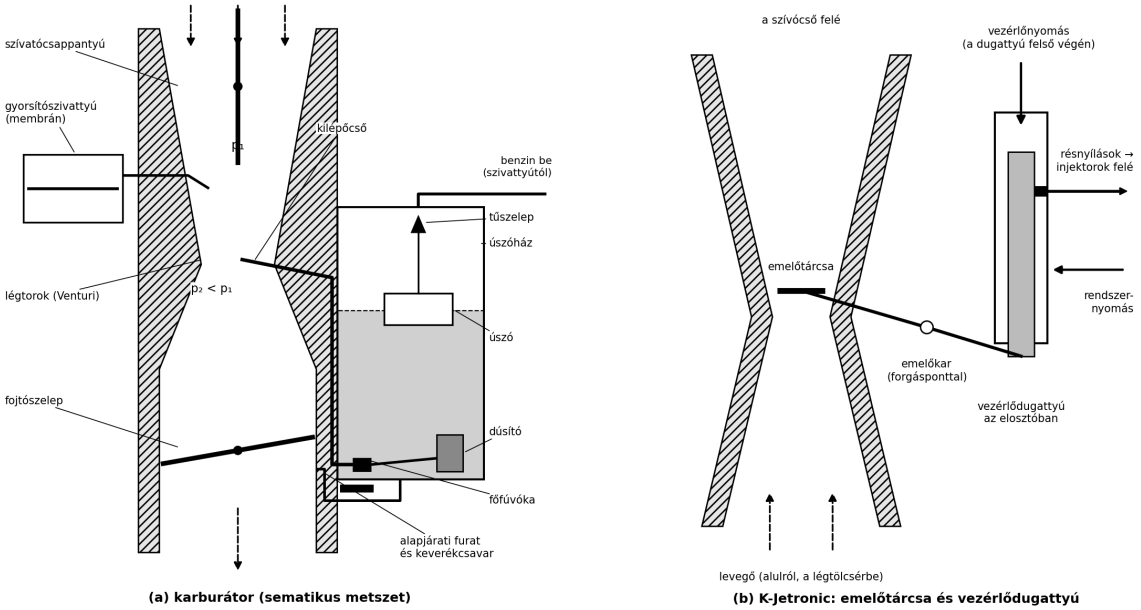
Alapjárati rendszer. Amikor a fojtószelep majdnem zárva van, a torokban kicsi a légsebesség, ezért a főfúvóka nem elegendő. Az alapjárati fúvóka a fojtószelep éle mögött, a nagy vákuumú zónába nyílik, és az alapjárati levegő- és keverékszabályzó csavarral állítható.

Hidegindító (szívató) rendszer. Hideg motoron a benzin rosszul párolog, ezért a keveréket dúsítani kell. A kézi vagy automatikus szívató egy plusz levegő- vagy üzemanyag-csatornát nyit, vagy a fojtószelepet résnyire nyitja, amíg a motor fel nem melegszik.

Főfúvóka-rendszer. A főfúvóka a részterhelési és teljes terhelési tartományban méri a benzint. A fúvóka furatát a gyártó a motor légfogyasztásához illeszti; a karburátor típusától függően a tű és a fúvóka együtt változtatja a szabad keresztmetszetet.

Gyorsító rendszer. Amikor a vezető hirtelen nyitja a fojtószelepet, a levegő azonnal megnő, de a benzin tehetetlensége miatt a keverék pillanatra szegényebbé válna. A mechanikus gyorsítószivattyú ilyenkor egy kis benzinlöketet fecskendez a torokba.

Dúsító rendszer. Teljes terhelésen a teljesítmény és a kopogás elkerülése érdekében a keveréket dúsítani kell (λ kb. 0,85–0,95). A dúsítótű vagy a vákuumvezérelt dúsító ilyenkor extra benzint adagol.



(a) karburátor (sematikus metszet) **(b) K-Jetronic: emelőtárcsa és vezérlődugattyú**

Szaggatott nyíl: levegő; folytonos vonal: benzin. Az úszószint és a nyomások gyártói adatok (ellenőrizendő).

19.3. ábra. A karburátor sematikus metszete a fő rendszerekkel (a) és a K-Jetronic emelőtárcsás, vezérlődugattyús elve (b)

A metszeten a levegő felülről halad lefelé: a szívatócsappantyú után a légtorok szűkületében a sebesség nő, a nyomás csökken ($p_2 < p_1$), és a kilépőcsőből a főfúvókán át mért benzin porlad.

Az úszóház a tűszeleppel állandó szintet tart, az alapjárati furat a fojtószelep éle mögé nyílik, a gyorsítószivattyú a torokba fecskendez, a dúsító teljes terhelésen ad többletbenzint. A (b) rész a következő szakasz K-Jetronicját mutatja: a levegőáram az emelőtárcsát emeli, a kar a vezérlődugattyút tolja, a résnyílásokon folyamatosan jut benzin az injektorokhoz. Az interaktív változat üzemállapotonként (hidegindítás, alapjárat, részterhelés, teljes terhelés, gyorsítás) emeli ki a működő rendszert.

19.1.8. K- és KE-Jetronic (történeti rendszer)

A K-Jetronic folyamatos befecskendezéssel a szívószelep elé porlasztja a benzint, tehát nem szakaszos adagolás. A beszívott levegő egy torokban lévő **emelőtárcsát** mozgat; a tárcsa helyzete az elosztóban lévő **vezérlődugattyút** állítja, amely a hengerenkénti réseken át folyamatosan engedi a benzint az injektorokhoz.

A rendszerben két jellemző nyomást mérünk:

- **Rendszernyomás:** a tüzelőanyag-elosztó bemenő nyomása, jellemzően 4,5–5 bar (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Vezérlőnyomás:** a vezérlődugattyú felső végére ható, a melegedésszabályozó által beállított nyomás, amely az emelőtárcsa erejével ellentétes ellenerőt ad, így a dugattyú mozgását finoman igazítja (ellenőrizendő: Bosch K-Jetronic dokumentáció). Hideg motornál alacsonyabb (pl. 1–2 bar), melegedéskor nő (pl. 3,5 bar), így a keverék a bemelegedési szakaszban dúsabb marad (ellenőrizendő: gyártói adat).

A KE-Jetronic annyiban több, hogy elektronikus vezérlőegység és lambda-szonda segítségével szabályozza a keverékarányt, így képes háromutas katalizátor mellett működni; a melegedésszabályozó helyett elektrohidraulikus nyomásállító módosítja a differenciálnyomást, ezért a klasszikus hideg/meleg vezérlőnyomás-mérés itt nem alkalmazható (ellenőrizendő: gyártói eljárás).

19.1.9. Kidolgozott példák

19.1.9.1. 1. példa: Légviszony és tüzelőanyagáram

Adott: egy Ottomotor szívó levegőjének tömegárama $\dot{m}_L = 200\,\mathrm{kg/h}$ (teljes terhelés), a sztöchiometrikus levegőigény $L_{\mathrm{st}} = 14{,}7$, a kívánt légviszony $\lambda = 0{,}86$.
Keresett: a szükséges benzin tömegáram $\dot{m}_B$.

Képlet: $\lambda = \dot{m}_L / (\dot{m}_B \cdot L_{\mathrm{st}})$, átrendezve:

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{m}_L}{\lambda \cdot L_{\mathrm{st}}}$$

Behelyettesítés:

$$\dot{m}_B = \frac{200\,\mathrm{kg/h}}{0{,}86 \cdot 14{,}7} = \frac{200}{12{,}642} \approx 15{,}8\,\mathrm{kg/h}$$

Ellenőrzés: $\lambda = 200/(15{,}8 \cdot 14{,}7) \approx 0{,}86$, tehát a számítás konzisztens. A benzin $\rho \approx 0{,}74\,\mathrm{kg/l}$ sűrűséggel a térfogatáram $Q_B \approx 15{,}8/0{,}74 \approx 21{,}4\,\mathrm{l/h}$. (Összehasonlításul: alapjáraton egy 1,5–2 literes motor légárama kb. 8–12 kg/h.)

19.1.9.2. 2. példa: Szükséges tüzelőanyag-tömegáram teljesítményből

Adott: egy karburátoros motor effektív teljesítménye $P_e = 60\,\text{kW}$; a motor effektív hatásfoka $\eta_e = 0{,}28$; a benzin fűtőértéke $H_u = 43\,\text{MJ/kg} = 43\,000\,\text{kJ/kg}$.
Keresett: a szükséges benzin tömegáram $\dot{m}_B$.

Képlet: $P_e = \eta_e \cdot \dot{m}_B \cdot H_u$, átrendezve:

$$\dot{m}_B = \frac{P_e}{\eta_e \cdot H_u}$$

Behelyettesítés:

$$\dot{m}_B = \frac{60\,\text{kW}}{0{,}28 \cdot 43\,000\,\text{kJ/kg}} = \frac{60}{12\,040} \approx 0{,}00498\,\text{kg/s}$$

Átváltva kg/h-ra: $0{,}00498 \cdot 3600 \approx 17{,}9\,\text{kg/h}$.

Ellenőrzés: a motor percenként kb. 0,3 kg benzint fogyaszt; $\rho \approx 0{,}74$ kg/l sűrűséggel ez kb. 24 l/h. Teljes terhelésen, nagy sebességnél (pl. 150 km/h körül) ez kb. 16 l/100 km, ami teljes gázon reális. 90 km/h-s egyenletes haladáshoz csak kb. 15–20 kW kell, ott a fogyasztás ennek töredéke, ezért a 60 kW-ot nem szabad tartós utazósebességű állapotnak tekinteni.

19.1.10. Minőségellenőrzés (karburátor és K-Jetronic)

Ellenőrzőlista:
- Szivárgásvizsgálat: tartály, vezetékek, csatlakozók, szivattyú, karburátor/elosztó. - Úszószint mérése a karburátor fedelének síkjától, a gyártói adat szerint. - Alapjárati fordulatszám és CO-tartalom beállítása, a gyártói értékre (modern műszerrel, de a keverékszabályzó csavarral csak a megengedett tartományon belül). - Főfúvóka és lassújárati fúvóka furatának, tűjének kopás-, eltömődés-ellenőrzése. - Szivattyú szállítási nyomása és a nyomáskorlátozó érték ellenőrzése nyomásmérővel. - K-Jetronicnál a rendszernyomás és a vezérlőnyomás mérése (KE-Jetronicnál a gyártói eljárás szerint); a hideg/meleg vezérlőnyomás-eltérés ellenőrzése.

19.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Eset: 1988-as, karburátoros autó hidegen nehezen indul, melegen járó motorral időnként leáll, és benzinszagot érezni. A vizsgálat: hidegen a szívató zár, de a hőmérséklet-függő szabályzó nem nyit tökéletesen; melegen a túlzott alapjárat miatt a keverék dús. Az úszószint ellenőrzésekor kiderül, hogy a tű nem zár rendesen, ezért az úszóház túlfolyik. **Ok:** elhasználódott tűszelep és meghibásodott szívató termosztát. **Javítás:** tűszelep és úszó cseréje, úszószint beállítása, szívató termosztát cseréje, majd alapjárati CO-beállítás. **Ellenőrzés:** hideg- és melegindítás, próbaút. A tanulság: a tünetet megelőzően mindig a rendszer elemeit kell szisztematikusan ellenőrizni.

19.1.12. Gyakorlati útmutató

Cél: karburátor úszószintjének ellenőrzése és az alapjárati keverék beállítása.

Jármű és adatazonosítás: alvázszám, motorkód, a gyártói karburátortípus / beállítási adatok kikeresése.

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: csavarhúzók, kulcsok, úszószintmérő, nyomásmérő, fordulatszámmérő, gázelemző, kipufogógáz-elszívó, tömítőkészlet, tiszta rongy, tűzvédelmi eszközök.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. A benzin és a benzingőz rendkívül tűzveszélyes. Munkavégzés előtt győződjünk meg a helyiség szellőzéséről, távolítsunk el minden nyílt lángot és hőforrást, tilos a dohányzás. A kiömlött benzint azonnal itassuk fel, és veszélyes hulladékként kezeljük.

Munkalépések: 1. Gyújtás ki, akkumulátor negatív sarujának lekötése a gyártói előírás szerint. 2. Elektromos szivattyúnál a szivattyú biztosítékának vagy relének kivétele és a maradéknyomás leengedése; mechanikus szivattyúnál a motor hideg, a benzinvezeték lefogása vagy dugózása gyűjtőedény fölött. 3. A karburátor fedelének óvatos bontása, az úszószint megmérése. 4. A tűszelep és az úszó állapotának ellenőrzése; kopás esetén csere. 5. Az úszószint beállítása (az úszónyelv igazításával a gyártói méretre), majd új tömítéssel a fedél visszaszerelése. 6. **Figyelem.** Járó motornál a kipufogóvégre kipufogógáz-elszívót csatlakoztatunk (a CO színtelen, szagtalan, halálos gáz). Laza ruhát, kezet tartsunk távol a hűtőventilátortól (leállított motornál is bekapcsolhat) és a szíjhajtástól; a kipufogócsonk és a karburátor környéke forró. Indítás, melegedés, alapjárati fordulatszám és CO-érték beállítása a gyártói adat szerint. 7. Próbaút, tömítettség-ellenőrzés, dokumentálás.

Tipikus hibák: az úszószint mérése ferde karburátorral; a keverékszabályzó csavar túlhúzása, ami sérült ülést és szegény keveréket okoz; a benzinnyomás alatti bontás.

19.1.13. Tipikus hibák

1. **Hibás légviszony-számítás:** a tanuló felcseréli a számlálót és a nevezőt. Helyesen $\lambda = \dot{m}_L/(\dot{m}_B \cdot L_{\text{st}})$, nem pedig a benzináram a levegőé.
2. **Karburátor szerelésekor benzinnyomás alatt bontás:** a szivárgó benzin tűzveszélyt okoz. Mindig nyomásmentesíteni kell, és a gyártói eljárást követni.
3. **K-Jetronicnál a vezérlőnyomás mérésének elhagyása:** csak a rendszernyomás mérése nem elegendő, mert a keverékarányt a vezérlőnyomás hideg/meleg váltása is befolyásolja.

19.1.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A K-Jetronic szakaszosan, hengerenként adagolja a benzint. Indokold!
2. Számítsd ki a benzin tömegáramát, ha $\dot{m}_L = 8\,\text{kg/h}$, $\lambda = 1{,}05$, $L_{\text{st}} = 14{,}7$.
3. Mi a szerepe a visszafolyó ágnak a tüzelőanyag-rendszerben?
4. Melyik karburátor-rendszer felelős a hirtelen fojtószelep-nyitáskor fellépő pillanatszegény keverék kiküszöböléséért?
5. Miért alacsonyabb hideg motornál a K-Jetronic vezérlőnyomása?

19.1.15. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg a definíciókat: karburátor, légviszony, aktívszén-tartály.

2. feladat (A) Számítsd ki a benzin tömegáramát $\lambda = 1{,}1$ mellett, ha a levegő tömegárama $15\,\mathrm{kg/h}$ és $L_{\mathrm{st}} = 14{,}7$.

3. feladat (B) Egy karburátoros motor teljesítménye $45\,\mathrm{kW}$, hatásfoka 0,25, a benzin fűtőértéke $43\,\mathrm{MJ/kg}$. Mennyi benzinre van szüksége óránként?

4. feladat (B) Egészítsd ki a mondatot: „A K-Jetronic működésekor a beszívott levegő mozgatja a … , amely egy … segítségével állítja a vezérlődugattyút, az elosztó pedig a … keresztül folyamatosan adagolja a benzint az injektorokhoz.” Miért van szükség a vezérlőnyomás hideg/meleg korrekciójára?

5. feladat (C) Hasonlítsd össze a karburátor és a K-Jetronic előnyeit/hátrányait a keverékarány szabályozásának pontossága szempontjából. Legalább három szempontot írj.

6. feladat (D) Ügyfélpanasz: hideg motor nehezen indul, melegen lefullad, erős benzingőz szag. Sorold fel a lehetséges okokat a tüzelőanyag-ellátó rendszer és a karburátor szempontjából, és írd le, milyen mérésekkel döntöd el, hogy az úszóház vagy a hidegindító rendszer a hibás.

19.1.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok 1. Hamis. A K-Jetronic folyamatos befecskendezésű, a szívószelep elé porlaszt; nem szakaszos. 2. $\dot{m}_B = \frac{8}{1{,}05 \cdot 14{,}7} \approx 0{,}519\,\mathrm{kg/h}$. 3. A visszafolyó ág a felesleges benzint a tartályba vezeti, hűti a szivattyút és megakadályozza a gőzzárat. 4. A gyorsítószivattyú rendszer. 5. Hideg motornál dúsabb keverékre van szükség, mert a benzin lassabban párolog; az alacsonyabb vezérlőnyomás jobban nyitja az elosztót, így több benzin jut.

1. feladat megoldása
- Karburátor: mechanikus keverékképző, a légáram energiájával porlasztja és méri a benzint.
- Légviszony: a tényleges levegőtömeg és a sztöchiometrikus levegőigény aránya, λ.
- Aktívszén-tartály: a tartályból párolgó benzingőzt megköti, majd a motor üzemekor a szívócsőbe engedi.

2. feladat megoldása
$\dot{m}_B = \frac{15}{1{,}1 \cdot 14{,}7} \approx 0{,}928\,\mathrm{kg/h}$.

3. feladat megoldása
$P = 45\,\mathrm{kW}$, $\eta = 0{,}25$, $H_u = 43\,000\,\mathrm{kJ/kg}$.
$\dot{m}_B = \frac{45}{0{,}25 \cdot 43\,000} \approx 0{,}00419\,\mathrm{kg/s}$.
Átváltva: $0{,}00419 \cdot 3600 \approx 15{,}1\,\mathrm{kg/h}$.

4. feladat megoldása
„…emelőtárcsát, amely egy tengely segítségével állítja a vezérlődugattyút, az elosztó pedig a réseken keresztül folyamatosan adagolja a benzint…” A vezérlőnyomás hideg/meleg korrekciójára azért van szükség, mert hideg motornál dúsabb, meleg motornál szegényebb keverékre van szükség; a nyomáskülönbség az elosztó nyitását módosítja.

5. feladat megoldása
Szempontok:
- Pontosság: a karburátor tűréshatára nagy, a K-Jetronic légmennyiségmérője pontosabb.
- Emisszió: a karburátor nem képes minden üzemállapotban $\lambda = 1$-hez közeli keveréket biztosítani; a KE-Jetronic lambda-szabályozással igen.

- Hidegindítás: a karburátor mechanikus szívatója, a K-Jetronic hidegindító szelepe és vezérlőnyomása pontosabb.
- Karbantartás: a karburátor rendszeres beállítást igényel, a K-Jetronic is érzékeny, de kevésbé.

6. feladat megoldása
Lehetséges okok: szivárgás a tartálynál/vezetéknél, hibás tű/szelep az úszóházban, rossz úszószint, eltömődött finom szűrő, elégtelen szivattyúnyomás, hibás hidegindító termosztát, rossz gyorsítószivattyú.
Mérés: először nyomás- és szivárgásvizsgálat; majd úszószint ellenőrzése; hidegindító termosztát működésének ellenőrzése hőmérséklet-függően; alapjárati CO- és fordulatszám-mérés. Ha az úszóház szintje magas, a tű hibája valószínű; ha a szívató nem zár, a hidegindító rendszer a gyanús.

19.1.17. Rövid összefoglaló

A tüzelőanyag-ellátó rendszer a tartályból, szűrőkből, szivattyúból, vezetékekből és szellőztetésből áll. A tartály aktívszén-tartályon át szellőztet, amely a benzingőzt megköti, majd a motor üzemekor a szívócsőbe engedi. A mechanikus membrános szivattyú alacsony nyomást ad; az elektromos görgőcellás és áramlási szivattyúk nagyobb nyomásúak és a tartályban részesítik előnyben őket. A karburátor a Venturi-elven alapulva, úszószinttel, hidegindítóval, alapjárati, főfúvóka-, gyorsító- és dúsítórendszerrel biztosítja a különböző üzemállapotok keverékigényét. A K-Jetronic folyamatos befecskendezés, amelyben a légmennyiségmérő tárcsa mozgatja a vezérlődugattyút, a rendszer- és vezérlőnyomás pedig a keverékarányt finoman igazítja. A hideg motornál alacsonyabb vezérlőnyomás dúsabb keveréket ad, melegen magasabb nyomás szegényebbet. Az üzemállapotok λ-igényét az Üzemállapotok keverékigénye táblázat foglalja össze; ezt az üzemállapotonkénti keverékképzési elvet viszi tovább a modern MPI rendszer. A benzin tűzveszélyes: minden bontás előtt nyomásmentesíteni kell, és a gyártói útmutatót követni.

19.1.18. Források és ellenőrzési hiányok

- A karburátor és K/KE-Jetronic felépítése, működése: tankönyvi általános ismeret, Bosch- és gyártói dokumentáció (ellenőrizendő: konkrét típusjavítási adatok).
- Karburátor úszószint, alapjárati fordulatszám, CO-érték, fúvókaméret: gyártói javítási adatok (ellenőrizendő minden típusnál).
- K-Jetronic rendszernyomás 4,5–5 bar, vezérlőnyomás 1–2 bar hidegen / 3,5 bar melegen: tájékoztató, ellenőrizendő a gyártói adat.
- Benzin fűtőértéke és levegőigénye, hatásfok- és légviszony-számítás: általános fizikai értékek, a példák szemléltető számítások.
- Aktívszén-tartály és EVAP-rendszer: a későbbi emissziós alfejezet részletezi; az itt leírtak általános működési elvek.

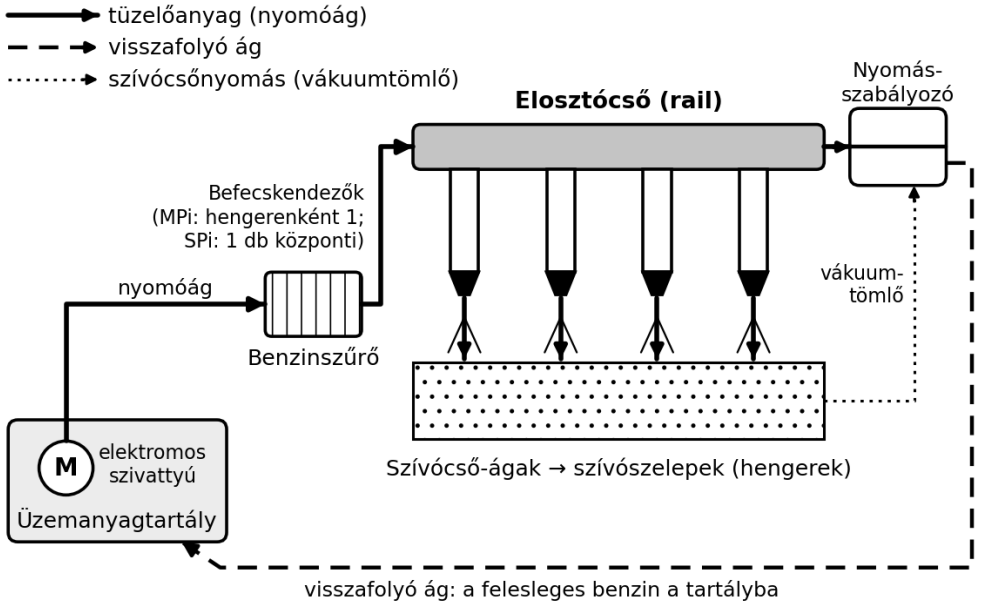
19.2. Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek

A szívócső-befecskendezés a benzinmotorok keverékképzésének az a megoldása, amely a karburátor után, de a közvetlen befecskendezés előtt a legnagyobb mennyiségben terjedt el a személygépkocsikban. Műhelyi szempontból ezért fontos: ha a motor rángat, hidegen rosszul indul, magas a fogyasztása, vagy a keverékadaptáció hibakódját tárolja a motorvezérlő, a szerelőnek tudnia kell,

hogy a hibát a levegő- vagy a tüzelőanyag-oldalon, esetleg a vezérlőrendszerben keresse. Ebben az alfejezetben a központi (SPi) és a hengerenkénti (MPi) szívócső-befecskendezést hasonlítjuk össze, megismerjük a befecskendezési idő és a tüzelőanyag-mennyiség kapcsolatát, valamint a rendszer nyomásviszonyait.

19.2.1. Szemléletes kép: a benzin útja a tartálytól az injektorig

Képzeljük el a rendszert úgy, mint egy kerti locsolótömlőt, amelynél a csapot nem kézzel nyitjuk, hanem egy elektronikus vezérlőegység nyitja milliszekundumonként, pontosan annyi időre, amennyi benzint a motor éppen beszívott levegője igényel. A tartályban lévő elektromos szivattyú állandó nyomást tart fenn, a benzinszűrő megtisztítja a folyadékot, az elosztócső pedig a befecskendezőkhöz továbbítja. A befecskendező (injector) elektromágneses tűszelep: amíg a vezérlőegység árammal gerjeszti, addig nyitva tartja a fúvókát, és a benzin apró cseppekre porlasztva a szívószelep elé kerül. A felesleges benzint a nyomásszabályozó a visszafolyó ágon keresztül visszaengedi a tartályba.



19.4. ábra. A visszafolyó ágas szívócső-befecskendező rendszer tüzelőanyag-útja: az injektorok és a nyomásszabályozó párhuzamosan csatlakoznak az elosztócsőre (szemléltető vázlat, nem méretarányos)

Az ábra a visszafolyó ágas elrendezést mutatja: a benzin az injektorokból a szívócsőbe, a szívószelep elé jut, a nyomásszabályozó pedig az injektorokkal párhuzamosan, az elosztócső végéről engedi vissza a felesleget a tartályba. A későbbiekben látni fogjuk, hogy létezik visszafolyó nélküli rendszer is, amelynél a nyomásszabályozó a tartályban vagy a szivattyúmodulban van.

19.2.2. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **befecskendezési idő** t_i (injection pulse width) az az időtartam, ameddig a motorvezérlő egység (ECU) az injektor tekercsét áram alatt tartja, tehát ameddig a tűszelep nyitva van; mértékegysége általában ms. A befecskendezett tüzelőanyag-tömeg ennek és a fúvókán átáramló tömegáramnak a szorzata.

Definíció. Szívócső-befecskendezésnek (port injection) nevezzük azt a benzinbefecskendezési módot, amelynél a tüzelőanyagot a szívószelep(ek) elé, a szívócsőbe vagy a szívócső közös részébe porlasztják. Ezen belül:

- **Központi befecskendezés (SPi, single point injection):** egyetlen befecskendező a fojtószelep fölött, a szívócső közös torkában.
- **Hengerenkénti befecskendezés (MPi, multi point injection):** minden hengernek saját, a szívószelep közelében elhelyezett befecskendezője van.

Összefüggés. Ha a fúvókán a nyomáskülönbség Δp és az injektor effektív keresztmetszete A állandó, akkor a tömegáram jó közelítéssel:

$$\dot{m}_B = C_d\, A\, \sqrt{2\,\rho_B\,\Delta p},$$

ahol C_d az injektor átfolyási tényezője, ρ_B a benzin sűrűsége. A befecskendezett tüzelőanyag-tömeg pedig:

$$m_B = \dot{m}_B\, t_i.$$

Ebből következik, hogy **adott nyomáskülönbségnél a benzinmennyiséget a befecskendezési idő arányosan határozza meg**. Az ECU tehát elsősorban az **alap-befecskendezési időt** számítja a beszívott levegő tömegéből és a kívánt λ légviszonyból, majd ezt korrekciókkal módosítja (hidegindítás, alapjárat, terhelésváltás, lambda-szabályozás).

Továbbvitt eredmény. Az $m_B = \dot{m}_B\, t_i$ kapcsolatot (állandó Δp mellett) használjuk a Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok, az Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás és a A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek alfejezetben.

19.2.3. Felépítés és működés

19.2.3.1. A szívócső-befecskendezés előnyei a karburátorral szemben

A karburátor a szívócsőben kialakuló vákuum hatására porlaszt, ezért elosztása a hengerek között egyenetlen lehet, hidegindításkor szivatóra van szükség, és a keverék pontossága korlátozott. A szívócső-befecskendezés ezzel szemben:

- pontosabban adagol, mert az idővezérlés finoman szabályozható;
- jobb a hengereloszlás MPi esetén;
- gyorsabb hidegindítást tesz lehetővé;
- alapot ad a zárt hurkú lambda-szabályozásnak;
- jobb a dinamikus viselkedés, mert nincs a karburátor úszóházának tehetetlensége.

19.2.3.2. A történeti rendszerek röviden

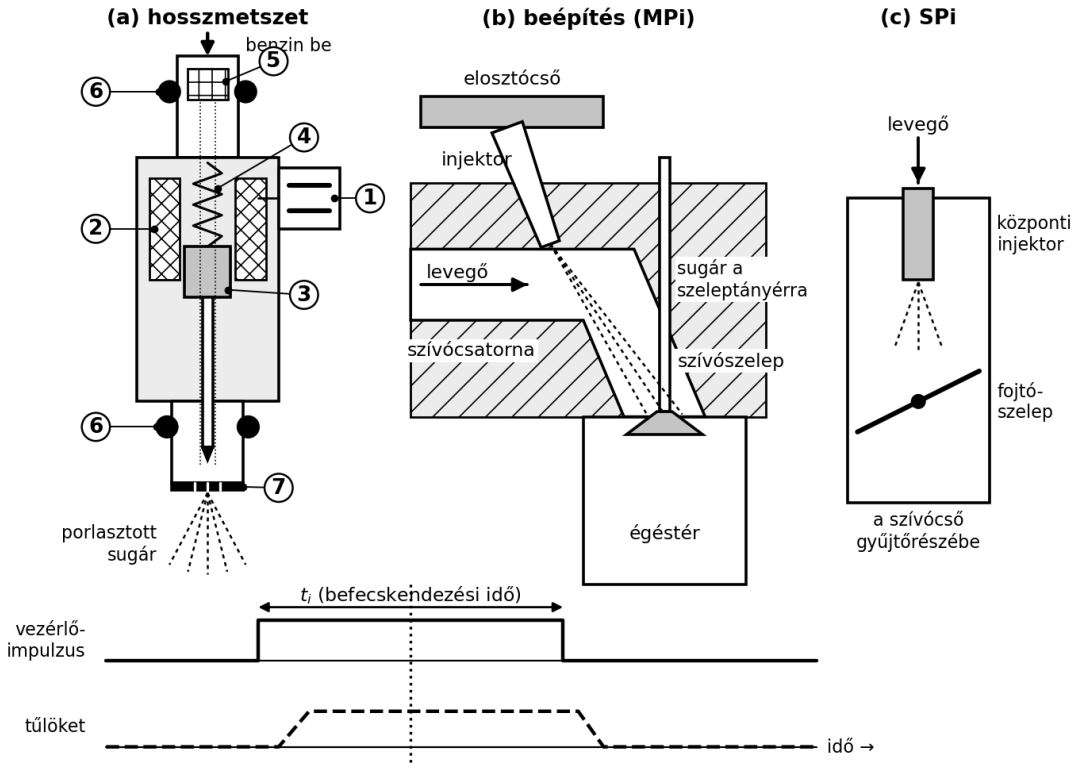
A régebbi járműveken a következő típusokkal találkozhatunk:

- **L-Jetronic:** a levegőmennyiséget egy mozgó mérőlemezes légmennyiségmérő méri, a tüzelőanyag-befecskendezőket elektronikus vezérlő nyitja; a rendszer visszafolyó ágas. A befecskendezőket az elektronikus vezérlő szakaszosan (impulzusokkal) nyitja, jellemzően minden injektort egyszerre, főtengely-fordulatonként egyszer; az adag a mért levegőmennyiséggel arányos. (A folyamatos adagolás a K-Jetronic jellemzője, lásd Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken).) Az LH-Jetronic hődrótos, később melegfilmes légtömegmérőt használt (ellenőrizendő: Bosch-dokumentáció).
- **LE-Jetronic:** az L-Jetronic egyszerűsített, olcsóbb változata, sok esetben alapjárat- és hidegindítás-javításokkal.
- **LH-Jetronic:** a levegőmennyiséget már melegfilmes légtömegmérő (MAF) méri, ami közvetlenül a levegő **tömegét** érzékeli, így a légviszony-szabályozás pontosabb.
- **Mono-Jetronic:** központi (SPi) befecskendezés: egyetlen injektor a fojtószelepnél, a karburátor helyén. Olcsóbb, de a hengerelosztás kedvezőtlenebb, mint az MPi-nél.

Ma ezeket a rendszereket már inkább csak veterán vagy régebbi használt járműveken találjuk; működési elvüket a modern szívócső-befecskendezés előzményeként érdemes ismerni.

19.2.3.3. Integrált motorvezérlés: Motronic és MPi

A mai értelemben vett szívócső-befecskendezés már **integrált motorvezérlés**, amelyben a gyújtást és a befecskendezést egy közös ECU vezérli (például a Motronic típusú rendszerek). Ez lehetővé teszi, hogy a befecskendezési időt, a gyújtási szöget és az alapjáratot azonos üzemállapot-felismerés szerint hangolják össze. Az MPi-rendszerben minden hengerhez külön injektor tartozik, amely a szívószelep fejéhez közel, a szívócsőben helyezkedik el.



19.5. ábra. Az elektromágneses szívócső-injektor (MPi) metszete, beépítése és az SPi központi injektora; alul a t_i vezérlőimpulzus és a késve követő tűlöket (sematikus, nem méretarányos)

Az injektor működése az ábrán: a motorvezérlő a csatlakozón (1) át t_i ideig gerjeszti a tekercset (2), amely behúzza az armatúrát és a tűt (3); a záró rugó (4) gerjesztés nélkül az ülékre nyomja a tűt. A benzin a szűrőszitán (5) át lép be, az O-gyűrűk (6) tömítenek, a porlasztótárcsa (7) a sugarat a szívószelep tányérjára irányítja. Az SPi-nél egyetlen injektor porlaszt a fojtószelep fölé.

A motorvezérlő érzékelői közül a legfontosabbak:

- **fordulatszám- és főtengelyhelyzet-jeladó** – ebből tudjuk, mikor melyik henger szív,
- **légtömegmérő (MAF)** vagy **szívócsőnyomás-érzékelő (MAP)** – a beszívott levegő mennyiségét becsli,
- **fojtószelep-állásjeladó** – a terhelést és a terhelésváltozást jelzi,
- **hűtőfolyadék-hőmérséklet- és beszívott levegő-hőmérséklet-érzékelő** – hidegindítási korrekciókhoz,
- **kopogásérzékelő** és **lambdaszonda** – az illesztett rendszerekben.

A vezérlés módja az injektorok kinyitásának időzítése szerint háromféle lehet:

- **Szimultán vezérlés:** minden injektor egyszerre nyit, függetlenül attól, hogy melyik henger éppen szív. Régi, egyszerű megoldás.
- **Csoportos vezérlés:** a befecskendezőket csoportokra osztják, és a csoportokat felváltva nyitják, gyakran a főtengely félfordulatához igazítva.
- **Szekvenciális vezérlés:** minden injektor pontosan a saját hengerének szívásüteme előtt nyit, így a benzin nem áll a szívócsőben, a keverék hengerenként optimális. Ez a legjobb megoldás, és a modern szívócső-befecskendezőknél ez a jellemző.

19.2.3.4. A rendszernyomás és a nyomásszabályozó

A befecskendezési mennyiség pontossága azt követeli, hogy a fúvókán a **nyomáskülönbség állandó** legyen. A szívócsőben a nyomás a fojtószelep állásától függően vákuumtól (alapjáraton) a közel atmoszférikus értékig (teljes terhelésen) változik. A nyomásszabályozó ezért tüzelőanyag-oldali **túlnyomást** tart fenn a szívócsőnyomáshoz képest.

Szabály. A visszafolyó ágas rendszerben a mechanikus nyomásszabályozó membránja egyik oldalán a benzin nyomása, a másik oldalán a szívócső nyomása hat. A szabályozó a felesleges benzint visszaengedi a tartályba, így az injektorokon a nyomáskülönbség Δp közel állandó. Jellemző értéke szívócső-befecskendezésnél:

$$\Delta p = 3{,}0 \ldots 3{,}5\,\text{bar}$$

(ellenőrizendő: a gyártói javítási adat). Ez az érték a rendszernyomás, ha a szívócső nyomása atmoszférikus (a vákuumtömlő lehúzva vagy teljes terhelésen).

Definíció. Visszafolyó nélküli rendszerben (returnless) a nyomásszabályozó a tartályban vagy a szivattyúmodulban van, és a motorháztető alatt csak egy nyomócső fut. Ennél a rendszer a fúvókákon lévő nyomáskülönbséget nem a szívócső vákuumához igazítja mechanikusan, hanem az ECU a befecskendezési időt korrigálja a mért szívócsőnyomás alapján, vagy a rendszer állandó nyomáson dolgozik, és ezt a vezérlő szoftveresen kompenzálja. A visszafolyó nélküli rendszer csökkenti a benzin felmelegedését és a gőzképződést a motorháztető alatt.

19.2.4. Kidolgozott számítási példák

Számítás 1. – Befecskendezett tüzelőanyag-tömeg.

Egy MPi-rendszer injektorának statikus átfolyása $Q_B = 200\,\text{g/min}$ $\Delta p = 3{,}0\,\text{bar}$ nyomáskülönbségnél. A motorvezérlő egy ciklusban $t_i = 5{,}0\,\text{ms}$ ideig nyitja az injektort. Mennyi benzint adagol a befecskendező egy ciklusban?

Megoldás. Először átváltjuk az átfolyást g/s-ba:

$$\dot{m}_B = \frac{200\,\text{g}}{60\,\text{s}} = 3{,}33\,\text{g/s}.$$

Ezután a befecskendezett tömeg:

$$m_B = \dot{m}_B \cdot t_i = 3{,}33\,\text{g/s} \cdot 0{,}005\,\text{s} = 0{,}0167\,\text{g}.$$

Ellenőrzésképp: egy ciklusban nagyságrendileg néhány század gramm benzin kell, ez reális.

Számítás 2. – A befecskendezési idő meghatározása a légtömegből.

Egy négyütemű, négyhengeres motor $n = 2000\,1/\text{min}$ fordulatszámon hengerenként $\dot{m}_{air} = 8{,}0\,\text{g/s}$ levegőt szív be. A benzin sztochiometrikus levegő/tüzelőanyag-aránya $A/F = 14{,}7$, azaz $\lambda = 1{,}0$ esetén 1 kg benzinhez 14,7 kg levegő kell. Az injektor átfolyása $\dot{m}_B = 3{,}33\,\text{g/s}$ a fenti adat szerint. Mekkora t_i befecskendezési idő szükséges hengerenként, ha feltételezzük, hogy a befecskendezés módja szekvenciális?

Megoldás. A szükséges tüzelőanyag-tömegáram hengerenként:

$$\dot{m}_{B,sz} = \frac{\dot{m}_{air}}{A/F} = \frac{8{,}0\,\mathrm{g/s}}{14{,}7} = 0{,}544\,\mathrm{g/s}.$$

A két tömegáram hányadosa egység nélküli szám, az injektor kitöltési tényezője (duty cycle):

$$\frac{\dot{m}_{B,sz}}{\dot{m}_B} = \frac{0{,}544\,\mathrm{g/s}}{3{,}33\,\mathrm{g/s}} = 0{,}163.$$

Ez azt jelenti, hogy az injektornak a ciklusidő 16,3 %-ában kell nyitva lennie. Mivel a motor 2000 1/min fordulaton négyütemű, egy teljes munkaciklus időtartama:

$$T_{ciklus} = \frac{2}{2000/60\,1/\mathrm{s}} = 0{,}06\,\mathrm{s} = 60\,\mathrm{ms}.$$

A befecskendezési idő tehát $t_i = 0{,}163 \cdot 60\,\mathrm{ms} \approx 9{,}8\,\mathrm{ms}$. A kitöltési tényező korlátot jelent: ha a szükséges érték 80–85 % fölé menne (ellenőrizendő: gyártói adat), az injektor túl kicsi, és nagyobb átfolyású injektorra vagy nagyobb nyomáskülönbségre lenne szükség. A befecskendezési idő soha nem haladhatja meg a ciklusidőt.

Ellenőrző számítás: ha a szükséges benzinmennyiséget hengerenként ciklusonként számoljuk, akkor a levegő tömege hengerenként egy ciklusban:

$$m_{air} = \dot{m}_{air} \cdot T_{ciklus} = 8{,}0\,\mathrm{g/s} \cdot 0{,}06\,\mathrm{s} = 0{,}48\,\mathrm{g}.$$

A kívánt benzin tömeg:

$$m_{B,sz} = \frac{0{,}48\,\mathrm{g}}{14{,}7} = 0{,}0327\,\mathrm{g}.$$

Ezzel a befecskendezési idő:

$$t_i = \frac{0{,}0327\,\mathrm{g}}{3{,}33\,\mathrm{g/s}} = 0{,}0098\,\mathrm{s} \approx 9{,}8\,\mathrm{ms}.$$

Ez már reális, mert a ciklusidő 60 ms. Látható, hogy a befecskendezési idő számításakor mindig a ciklusra vetített mennyiségekkel kell dolgozni.

19.2.5. Minőségellenőrzés

A rendszer ellenőrzésekor a következőket mérjük (mindig a gyártói adat elsőbbségével):

1. **Üzemanyagnyomás:** üzemanyagnyomás-mérővel, a cső söntcsatlakozóján; alapjáraton és terhelés alatt. Példaérték: $\Delta p \approx 3{,}0 \ldots 3{,}5\,\mathrm{bar}$ (ellenőrizendő: gyártói adat).
2. **Maradéknyomás:** a motor leállítása után a rendszer nyomása ne essen gyorsan; ha igen, injektor vagy nyomásszabályozó szivárog (ellenőrizendő: gyártói határérték).
3. **Injektor tömítettsége:** befecskendező kiemelése után ultrahangos vagy nyomás alatti tesztpadon az átfolyás és a porlasztáskép ellenőrzése.
4. **Elektromos jelalak:** oszcilloszkóppal az injektor vezérlőcsatlakozóján a befecskendezési impulzus időtartama és a feszültségesés; a jellemző zajok szakadásra, zárlatra utalnak.
5. **Lambda-szabályozás:** a motor meleg állapotában a lambdaszonda jelének ellenőrzése, a keverékadaptáció értékei a rendszerteszterben.

19.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy 2006-os, 1,4 literes MPi benzinmotoros személygépkocsi tulajdonosa hidegindítási nehézségről és magas fogyasztásról számol be. A motor melegen jár, de hidegen rángat, a kipufogóból enyhe benzinszag érezhető.

A hibakeresési lánc: először a rendszerteszterrel kiolvassuk a hibakódot. A motorelektronika a hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő jelét irreálisan alacsonynak látja, mert az érzékelő szakadt vagy nagy ellenállású. Az ECU ezért hidegindítási korrekciót alkalmaz, a befecskendezési időt folyamatosan meghosszabbítja, és a motor dús keverékkel jár. A mérés során a hőmérséklet-érzékelő ellenállása 20 °C-on a gyártó által megadott tartományon kívül van (például 8 kΩ helyett 20 kΩ). Az érzékelő cseréje után a hidegindítási korrekció megszűnik, a tünet elvész, és a fogyasztás normalizálódik.

Tanulság: a befecskendezési idő nem csak a levegőmennyiségtől függ, hanem a hőmérséklet-érzékelők korrekcióitól is. A hibás érzékelő jele rontja a keverék pontosságát.

19.2.7. Gyakorlati útmutató – befecskendezési nyomás mérésének előkészítése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

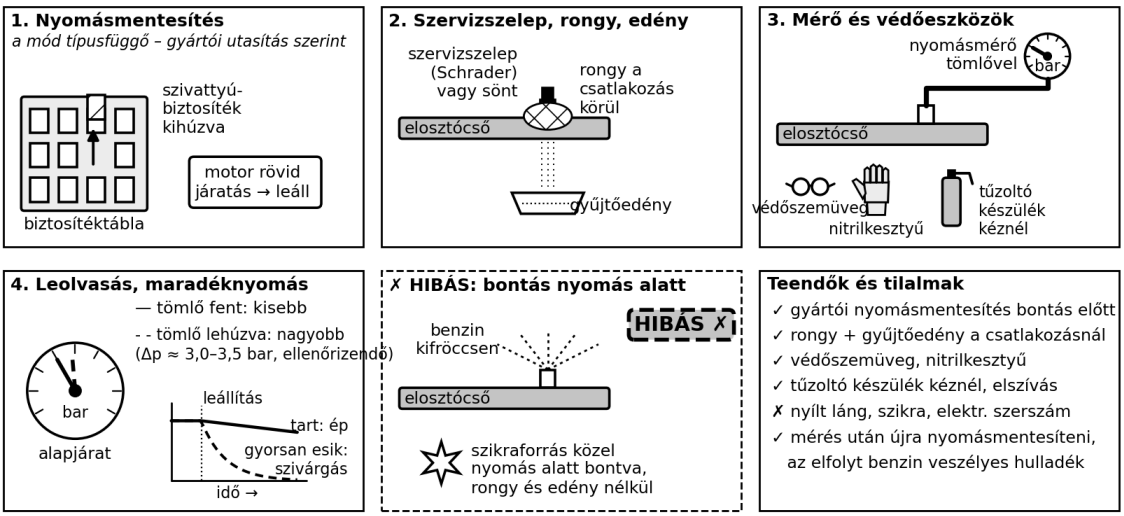
Cél: a szívócső-befecskendező rendszer üzemanyagnyomásának és maradéknyomásának ellenőrzése.

Szükséges szerszámok: üzemanyagnyomás-mérő készlet, söntcsatlakozó, szerelőszerszámok, égésgátló anyag, védőszemüveg, nitrilkesztyű, gyűjtőedény, elszívóberendezés.

Figyelem. A benzin tűz- és robbanásveszélyes. Nyílt láng, szikra, elektromos szerszám és égő forrás a mérés közben nem lehet a közelben. Zárt térben járó motornál elszívó szükséges.

Munkalépések:

1. Állapítsa meg a jármű adatait, és keresse ki a gyártói nyomásértéket, a csatlakozási pontot és a nyomásmentesítés módját (ellenőrizendő).
2. Rögzítse a járművet, állítsa le a motort, vegye le a gyújtást, és várja meg, amíg a kipufogó kihűl.
3. Végezzen nyomásmentesítést a gyártó előírása szerint – sok rendszernél a szivattyú biztosítójának kihúzásával és a motor rövid járatásával, vagy a szervizszelepen keresztül (ellenőrizendő: típusra).
4. Csatlakoztassa a nyomásmérőt a söntre, szivárgásmentesen.
5. Indítsa a motort, járassa alapjáraton, és olvassa le a nyomást. Figyelje, hogy a vákuumtömlő levétele vagy felhelyezése a nyomást hogyan változtatja (a szabályozó működése).
6. Állítsa le a motort, és figyelje a nyomást: a maradéknyomás csökkenése szivárgásra utal.
7. A mérés után nyomásmentesítsen, majd szerelje le a műszert. Az elfolyt benzint gyűjtse, és veszélyes hulladékként kezelje.
8. Dokumentálja a mért értékeket a munkalapon, hasonlítsa össze a gyártói adatokkal.



19.6. ábra. Az üzemanyagnyomás-mérés lépései képsorban: nyomásmentesítés, rongy és gyűjtőedény a szervizszelepnél, mérő és védőeszközök, leolvasás és maradéknyomás; hibás példa a bontásra nyomás alatt (sematikus, a nyomásérték gyártói adat)

A képsor a 3–7. lépést követi. A 4. képen a vákuumtömlő lehúzásakor a nyomás megnő; leállítás után a maradéknyomás csak lassan csökkenhet, a gyors esés szivárgásra utal. Az áthúzott kép a tiltott gyakorlatot mutatja: nyomás alatti bontást rongy és gyűjtőedény nélkül, szikraforrás közelében.

19.2.8. Tipikus hibák

1. **A befecskendezési idő összekeverése a befecskendezett mennyiséggel.** Az idő csak akkor felel meg a mennyiségnek, ha a nyomáskülönbség állandó; ha a nyomás nem megfelelő, ugyanaz az idő más adagot eredményez.
2. **A nyomásmérés előtt elfelejtett nyomásmentesítés.** A cső szétkapcsolásakor a nyomás alatti benzin kifröccsen, tűz- és sérülésveszélyt okoz.
3. **A vákuumtömlőt lehúzva a rendszert hibásnak minősíteni.** Ilyenkor a szabályozó a szívócsőnyomás változása miatt másként szabályoz, ez önmagában nem hiba.
4. **A visszafolyó nélküli rendszeren a motortérben keresni a nyomásszabályozót.** Ebben a rendszerben a szabályozó a tartályban vagy a szivattyúmodulban van, a motorháztető alatt nincs.
5. **A befecskendező tisztítása után nem ellenőrizni az átfolyást és a porlasztást.** A tisztítás után a fúvóka keresztmetszete megváltozhat, ezért tisztítás után tesztpadon mérni kell az átfolyást és a hengerek közti eltérést (példa: ± 5 %, ellenőrizendő), a tűrésen kívüli injektort cserélni, majd rendszerteszterrel ellenőrizni a keverékadaptációt. A befecskendezési időt az ECU számolja, azt a szerelő nem állítja.

19.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz/Hamis: A szekvenciális befecskendezésnél minden injektor egyszerre nyit.
2. Milyen mértékegységű a befecskendezési idő, és mit jelent?
3. Mennyi benzin kerül egy hengerbe ciklusonként, ha az injektor átfolyása $2{,}5\,\mathrm{g/s}$ és $t_i = 8\,\mathrm{ms}$?
4. Mi a nyomásszabályozó feladata a visszafolyó ágas rendszerben?
5. Miért előnyösebb a visszafolyó nélküli rendszer a benzinmelegedés szempontjából?

19.2.10. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok:

1. Hamis. A szekvenciálisnál minden injektor a saját hengerének szívásüteméhez igazítva nyit, nem egyszerre.
2. A befecskendezési idő ms-ban mért, az injektor nyitva tartásának ideje.
3. $m_B = 2{,}5\,\text{g/s} \cdot 0{,}008\,\text{s} = 0{,}02\,\text{g}$.
4. A fúvókán a nyomáskülönbséget állandó értéken tartja a szívócsőnyomás változásához képest.
5. A motortérben nincs visszafolyó cső, így a benzin kevésbé melegszik fel, kisebb a gőzképződés.

19.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja a központi (SPi) és a hengerenkénti (MPi) befecskendezést, és adja meg mindegyik egy előnyét.

2. feladat (A). Egy befecskendező $\Delta p = 3{,}2\,\text{bar}$ nyomáskülönbségnél $220\,\text{g/min}$ benzint adagol. Mennyi benzin kerül be egy ciklusban $t_i = 6{,}5\,\text{ms}$ alatt?

3. feladat (B). Négyütemű, négyhengeres motor $3000\,1/\text{min}$ fordulaton hengerenként $10\,\text{g/s}$ levegőt szív be. Számítsa ki a ciklusra jutó befecskendezett benzin tömegét $\lambda = 1$ esetén, ha $A/F = 14{,}7$, és határozza meg a befecskendezési időt, ha az injektor átfolyása $3{,}0\,\text{g/s}$.

4. feladat (B). Ismertesse a szimultán, csoportos és szekvenciális befecskendezési módok közötti különbséget. Melyik a legpontosabb, és miért?

5. feladat (C). A visszafolyó ágas rendszerben a vákuumtömlőt lehúzták. A motor meleg állapotban dúsan jár. Magyarázza el, miért dúsul a keverék, ha a szabályozó alapfunkciója épp az állandó nyomáskülönbség fenntartása.

6. feladat (D). Egy ügyfél hidegindítási rángatásra, magas fogyasztásra panaszkodik. A rendszerteszter élő adatai szerint a befecskendezési idő hideg motornál $t_i = 12\,\text{ms}$, meleg motornál $t_i = 9\,\text{ms}$, a hűtőfolyadék-hőmérséklet érzékelő mért hőmérséklete azonban a valós (infravörös hőmérővel ellenőrzött) $90\,^\circ\text{C}$ helyett $20\,^\circ\text{C}$-ot mutat. Mi a legvalószínűbb hiba, és hogyan ellenőrzi?

19.2.12. A feladatok megoldásai

1. Az SPi egyetlen befecskendezőt használ a fojtószelepnél (olcsóbb, de a hengerelosztás egyenetlenebb), az MPi hengerenként külön befecskendezőt a szívószelep előtt (pontosabb hengerelosztás, jobb emisszió).

2. Először az átfolyás: $\dot{m}_B = 220\,\text{g/min}/60 = 3{,}67\,\text{g/s}$. A befecskendezett tömeg: $m_B = 3{,}67\,\text{g/s} \cdot 0{,}0065\,\text{s} = 0{,}0239\,\text{g}$.

3. Ciklusidő: $T = 2/(3000/60) = 0{,}04\,\text{s} = 40\,\text{ms}$. Levegő hengerenként: $m_a = 10\,\text{g/s} \cdot 0{,}04\,\text{s} = 0{,}4\,\text{g}$. Benzin: $m_B = 0{,}4/14{,}7 = 0{,}0272\,\text{g}$. Idő: $t_i = 0{,}0272/3{,}0 = 0{,}00907\,\text{s} \approx 9{,}1\,\text{ms}$.

4. Szimultán: minden injektor egyszerre nyit; csoportos: csoportokban nyitnak; szekvenciális: hengerenként a szívási ütemhez időzítve. A szekvenciális a legpontosabb, mert a benzin nem várakozik a szívócsőben, a keverékképzés hengerenként optimális, a hidegindítás és az emisszió jobb.

5. A vákuumtömlő lehúzásakor a szabályozó membránjának egyik oldala a szívócsővákuum helyett a külső légnyomást kapja. A szabályozó így magasabb rendszernyomást állít be, mint amit az ECU feltételez. Mivel a nyomáskülönbség a fúvókán megnő, ugyanaz a befecskendezési idő több benzint adagol, ezért dúsul a keverék. Ez a hiba a gyártói vákuumcsatlakozás visszaállításával szüntethető meg.

6. A mért hőmérséklet-érzékelő jel ellentmond a valós hőmérsékletnek. Az érzékelő ellenállása nem felel meg a karakterisztikának (szakadt vagy hibás), ezért az ECU hideg motort feltételez, és meghosszabbítja a befecskendezési időt. Ellenőrzés: az érzékelő ellenállásának mérése multiméterrel hideg és meleg állapotban, összehasonlítás a gyártói karakterisztikával. A javítás: az érzékelő cseréje, hibakód-törlés, majd readiness-ellenőrzés.

19.2.13. Rövid összefoglaló

A szívócső-befecskendezés a karburátorhoz képest pontosabb keverékképzést biztosít. **Központi (SPi)** esetén egyetlen injektor adagol a fojtószelepnél, **hengerenkénti (MPi)** esetén hengerenként külön injektor a szívószelep előtt. A befecskendezett tüzelőanyag-tömeg $m_B = \dot{m}_B\, t_i$, ahol $\dot{m}_B$ a fúvókán átáramló tömegáram. A nyomásszabályozó állandó nyomáskülönbséget tart a fúvókán; a visszafolyó nélküli rendszer a szabályozót a tartályba helyezi. A befecskendezési mód lehet szimultán, csoportos vagy szekvenciális; utóbbi a legpontosabb. A befecskendezési idő számításakor ciklusra vetített mennyiségekkel kell dolgozni. **Továbbvitt eredmény:** a befecskendezési idő és a tüzelőanyag-mennyiség kapcsolatát használjuk a Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok, az Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás és a A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek alfejezetben is. A benzinnyomás mérésekor a nyomásmentesítés és a tűzvédelem kötelező.

19.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: befecskendezési nyomás, maradéknyomás, injektor átfolyás, érzékelő karakterisztikák – ellenőrizendő.
- Történeti rendszerek (L-, LE-, LH-, Mono-Jetronic, Motronic) típusnevei csak rendszermegnevezésként szerepelnek, a pontos évjárat és kivitel gyártói dokumentációból ellenőrizendő.
- A visszafolyó nélküli rendszer pontos felépítése és a nyomáskülönbség kompenzálása gyártófüggő, a műhelyben a gyártói adat a mérvadó.
- A benzin sűrűsége és a sztochiometrikus arány 14,7 közelítő érték; a pontos érték tüzelőanyag-összetételtől függ.

19.3. Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok

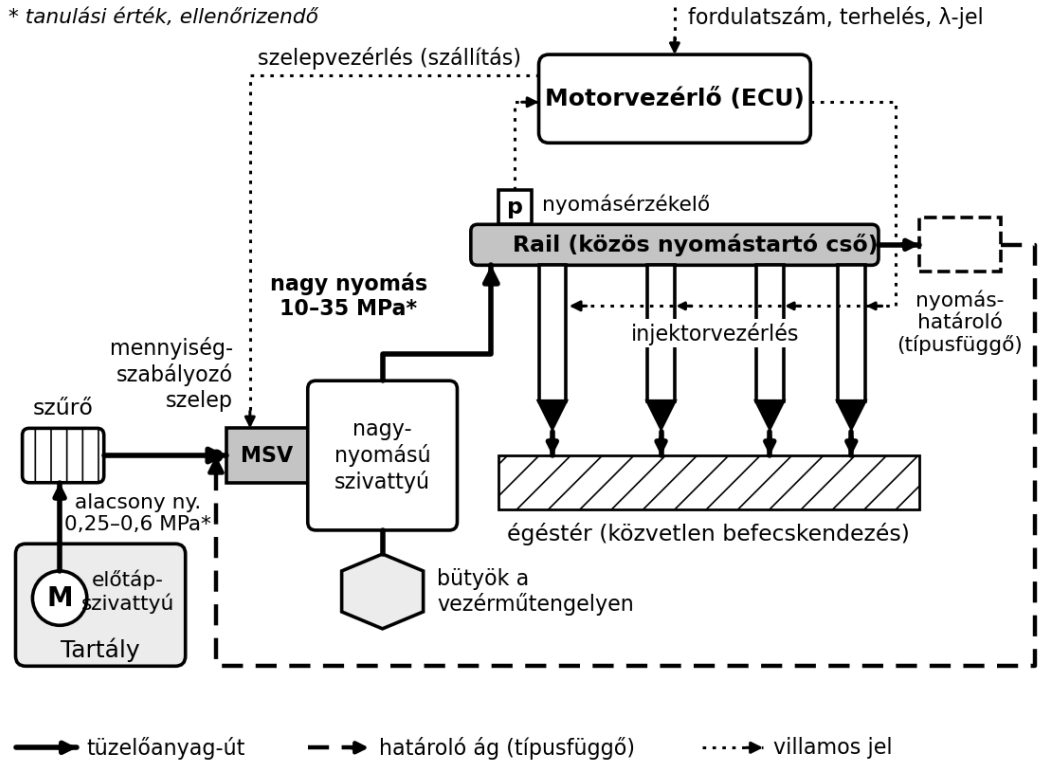
19.3.1. Motiváció

Egy korszerű turbós Otto-motorral szerelt autónál az ügyfél azt mondja: „sokkal jobban megy, mint a régi, mégis kevesebbet fogyaszt”. A műhelyben a szervizadatok azt mutatják, hogy a motor szívócső-befecskendezéses (MPi) vagy egyenesen közvetlen befecskendezésű. A közvetlen befecskendezésű Otto-motorok (Gasoline Direct Injection, GDi; régebbi elnevezéssel FSI, TSI, EcoBoost stb. – a márkanevek csak rendszerjelölésként) ma már a személyautók meghatározó motorjai közé tartoznak. Ha a tanuló ilyen motornál injektort cserél, fogyasztási panaszt diagnosztizál vagy kopogásos égést vizsgál, pontosan tudnia kell, mi történik a hengerben, hogyan épül fel a nagynyomású oldal, és miért van szükség rendkívül nagy nyomásra. A fejezet ezt

a rendszert mutatja be a szívócső-befecskendezéshez képest, és felkészít a jellemző hibákra, a részecskekibocsátásra és a biztonságos javításra.

19.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hengert, amelyben a dugattyú a szívóütem alatt lefelé halad, és **csak tiszta levegőt** szív be a nyitott szívószelepen át. A tüzelőanyagot nem a szívócsőbe, hanem közvetlenül az égéstérbe fecskendezi egy nagynyomású injektor, amely a hengerfejben, a gyújtógyertya közelében helyezkedik el. A befecskendezés időzítése lehet a szívóütem alatt (ekkor a levegő és a tüzelőanyag viszonylag egyenletesen keveredik – homogén keverékképzés), vagy a kompresszióütem végén, röviddel a gyújtás előtt (ekkor a gyújtógyertya környékén dús, gyúlékony felhő képződik, a henger többi részében pedig szegény keverék van – rétegzett keverékképzés). A rendszer felépítését az alábbi vázlat szemlélteti; a tüzelőanyag útja és a vezérlés jelútja külön vonaltípussal szerepel:



19.7. ábra. A közvetlen befecskendezésű Otto-motor tüzelőanyag-rendszere: folytonos vonal a tüzelőanyag útja, pontozott a villamos jelút (szemléltető vázlat; a nyomásértékek tanulási példák, ellenőrizendő)

Az ábrán az alacsony nyomású oldal a tartályból a szűrőn át juttatja el a tüzelőanyagot a nagynyomású szivattyúhoz. A nagynyomású szivattyú a motortól kapott mechanikus hajtással (jellemzően a vezérműtengely bütyke működteti) felnyomja a tüzelőanyagot a közös nyomástartó csőbe, a railbe. A railben a nyomást a vezérlőegység a nyomásérzékelő jele alapján szabályozza, a beavatkozó a szivattyún lévő mennyiségszabályozó szelep. A railből a nagynyomású injektorok kapják a tüzelőanyagot, és a vezérlőegység által meghatározott időpontban és időtartamig befecskendezik az égéstérbe.

19.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Közvetlen befecskendezésű Otto-motor (Gasoline Direct Injection, GDi): olyan Otto-motor, amelynél a tüzelőanyagot nem a szívócsőbe, hanem közvetlenül az égéstérbe, a henger belsejébe fecskendezik be, jellemzően 10–35 MPa nagyságrendű nyomáson (ellenőrizendő: típustól függően). A befecskendezés történhet a szívóütem alatt (homogén keverékképzés) vagy a kompresszióütem végén (rétegzett keverékképzés).

Definíció. Rail (közös nyomástartó cső): a nagynyomású tüzelőanyagot tároló és egyenletesen elosztó cső, amelyhez a nagynyomású injektorok csatlakoznak. A benne lévő nyomást a vezérlőegység szabályozza, a nyomásérzékelő jele alapján.

Összefüggés. A befecskendezett tüzelőanyag-tömeg m_F (mg) a légviszonyból (λ) és a hengerbe szívott levegő tömegéből (m_L) számítható a sztöchiometrikus levegő/tüzelőanyag-arány ($L_{st} \approx$ 14,7 kg levegő / kg benzin) segítségével:

$$m_F = \frac{m_L}{\lambda\, L_{st}}$$

Összefüggés. A befecskendezési idő t_{inj} (ms) a szükséges tüzelőanyag-tömeg és az injektor statikus áramlási sebessége $\dot{m}_{stat}$ (g/min, adott nyomáson) alapján közelítőleg:

$$t_{inj} \approx \frac{m_F}{\dot{m}_{stat}} \cdot \frac{60\,000\,\mathrm{ms}}{1\,\mathrm{min}}$$

A valóságban az injektor nyitási és zárási késése miatt ezt a vezérlőegység korrekciókkal módosítja; a képlet az arányérzéket mutatja meg.

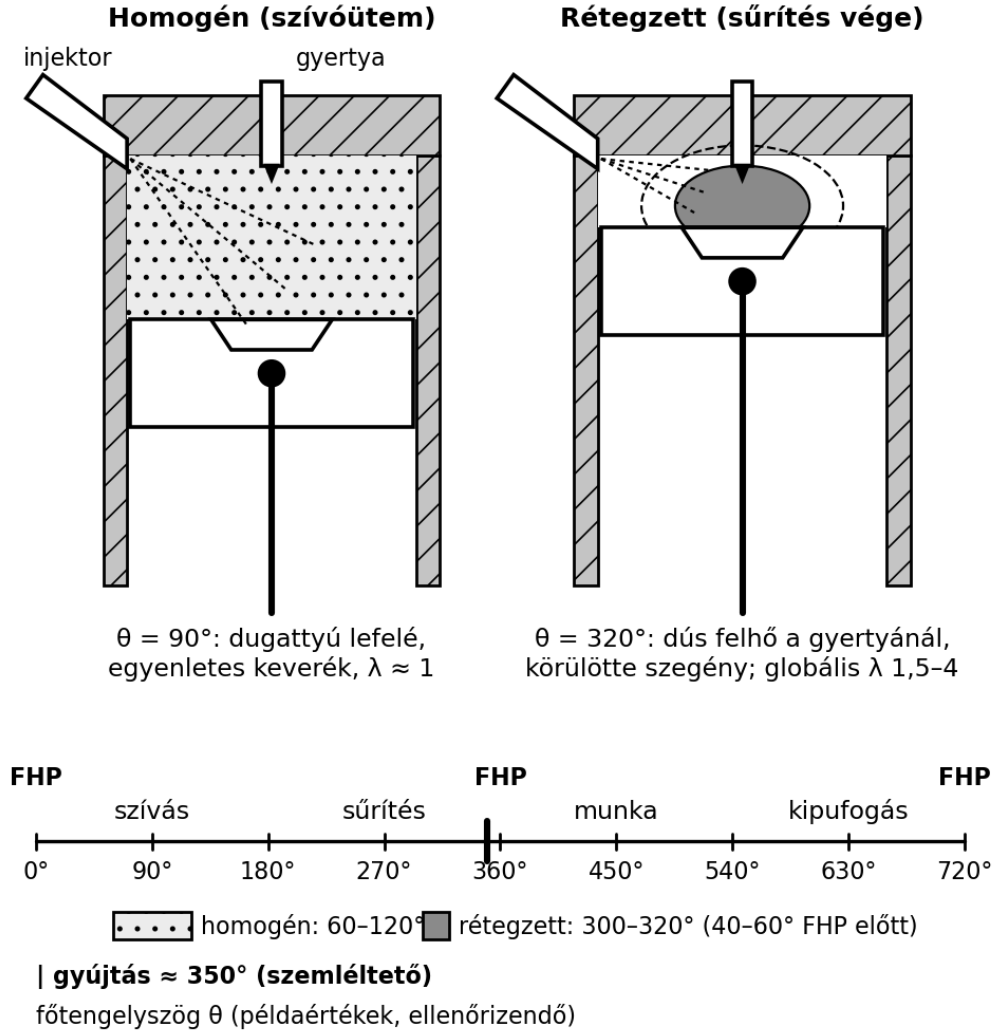
19.3.4. Felépítés és működés

19.3.4.1. A közvetlen befecskendezés elve

A szívócső-befecskendezéshez képest a közvetlen befecskendezés különbsége, hogy az injektor a beömlő csatorna helyett a hengertérbe porlaszt. Ebből két alapvető működési mód következik.

- **Homogén keverékképzés (szívóütemi befecskendezés).** A tüzelőanyagot a szívóütem alatt fecskendezik be, amikor a dugattyú lefelé halad. A hosszú idő alatt a keverék a hengerben közel egyenletesen oszlik el, így a motor gyakorlatilag ugyanúgy működik, mint a szívócső-befecskendezéses társa: $\lambda \approx 1$, jó teljesítmény, stabil égés. Ilyenkor a fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás is hasonló, de a közvetlen befecskendezés lehetővé teszi a magasabb sűrítési arányt, mert a tüzelőanyag párolgása hűti a hengerben lévő levegőt, csökkentve a kopogás veszélyét.
- **Rétegzett keverékképzés (kompresszióütemi befecskendezés).** A tüzelőanyagot röviddel a gyújtás előtt, a kompresszióütem végén fecskendezik be. A gyújtógyertya környékén gyúlékony, közel sztöchiometrikus keverékfelhő keletkezik, míg a henger többi részében nagyon szegény (λ akár 2–4) keverék vagy tiszta levegő van. A motor így részteljesítményen nagyon szegény globális keverékkel is megbízhatóan jár, ami jelentős fogyasztáscsökkenést ad. A rétegzett üzemmód feltétele a pontos légmozgás (az égéstérben megfelelő örvénylés), a gyors porlasztás és a nagynyomású injektor, valamint a kipufogógáz-utókezelés (a szegény keverék miatt a háromutas katalizátor nem tudja a NOx-ot redukálni, ezért rétegzett üzemmódban NOx-tároló katalizátort vagy más megoldást használnak –

ezt a későbbi fejezetek tárgyalják). A modern motorok gyakran csak kis részterhelésen használják, és a legtöbb üzemállapotban homogén üzemmódba kapcsolnak vissza.



19.8. ábra. Homogén és rétegzett keverékképzés hengermetszeten; alul a főtengelyszög-skála a befecskendezési ablakokkal (a szögek példaértékek, ellenőrizendő)

Az ábra bal oldalán a szívóütemben (példánkban 60–120° főtengelyszögnél) befecskendezett tüzelőanyag a hengert egyenletesen tölti ki ($\lambda \approx 1$); a jobb oldalon a sűrítési ütem végén (példánkban 300–320°, azaz 40–60°-kal a felső holtpont előtt) befecskendezett adag a gyertya körül dús felhőt alkot, a globális λ 1,5–4. A HTML-változatban a főtengelyszög csúszkával léptethető, és az üzemmód átkapcsolható.

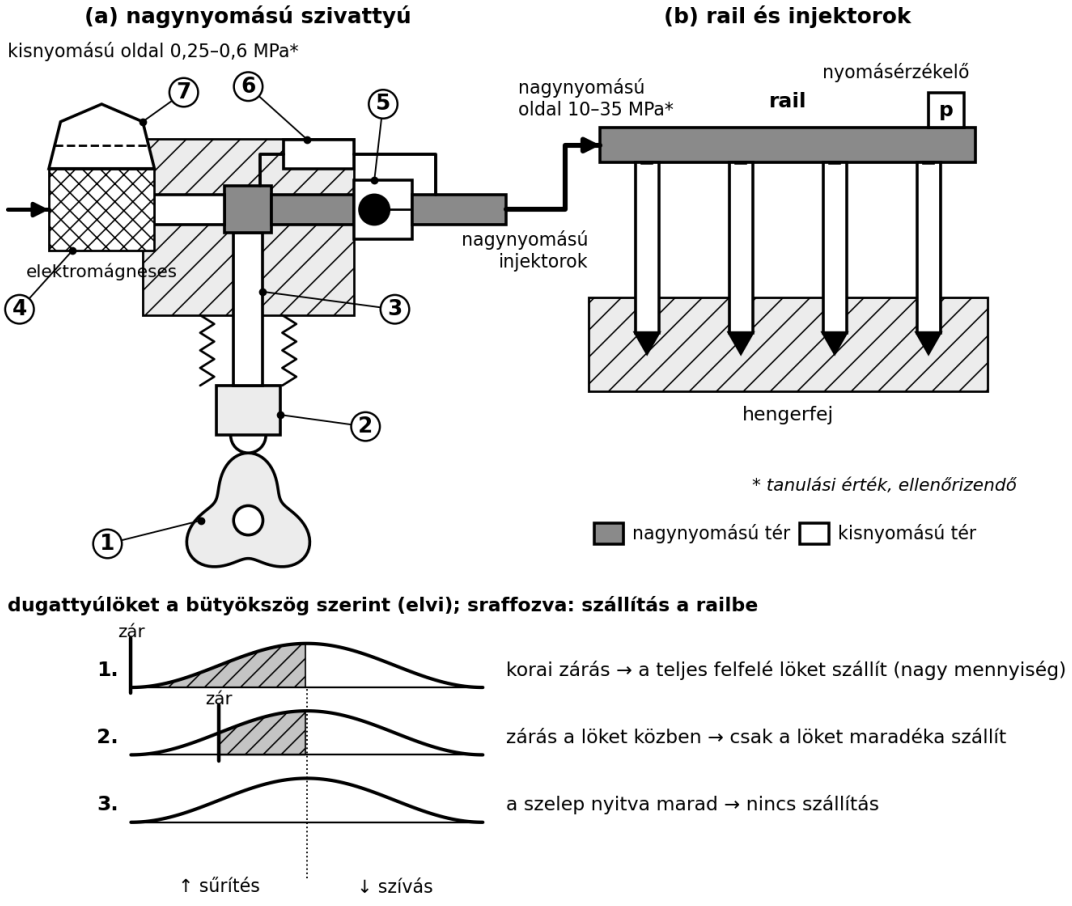
Megjegyzés. A gyakorlatban a legtöbb mai közvetlen befecskendezésű motor túlnyomórészt homogén üzemmódban fut, mert a rétegzett üzemmód bonyolultabb emissziós szabályozást igényel. A rétegzett keverékképzés azonban fontos elvi lehetőség, és a vizsgakérdésekben is előfordul.

19.3.4.2. A nagynyomású rendszer felépítése

A rendszer két nyomásszintre oszlik:

- **Alacsony nyomású oldal:** a tartályban lévő elektromos előtápláló szivattyú 0,25–0,6 MPa nyomást állít elő (ellenőrizendő: típusfüggő), a tüzelőanyag egy finomszűrőn át a nagynyomású szivattyúhoz jut.
- **Nagynyomású oldal:** a mechanikusan hajtott nagynyomású szivattyú a motortól kapott mozgással a tüzelőanyagot 10–35 MPa nyomásra sűríti (ellenőrizendő). A szivattyú leggyakrabban egy dugattyús szivattyú, amelyet a vezérműtengelyen lévő bütyök mozgat; a szivattyú bemenetén lévő mennyiségszabályozó szeleppel és/vagy a railben lévő nyomásszabályozó szeleppel a vezérlőegység beállítja a kívánt railnyomást.

A railben a nyomást **nyomásérzékelő** figyeli. A jel alapján az ECU szabályozza a nagynyomású szivattyú szállítását. A railhez csatlakoznak a **nagynyomású injektorok**. Ezek piezoelektromos vagy mágnesszelepes működtetésűek; a nyitás és a zárás igen gyors (tized–ezred másodperc nagyságrendű), mert a befecskendezési idő a motorfordulattól és a terheléstől függően néhány ezredmásodperc. A vezérlőegység a befecskendezési időt és a befecskendezés kezdetét (a főtengely szöghelyzetéhez képest) szabályozza.



19.9. ábra. A bütyökhajtású egydugattyús nagynyomású szivattyú és a rail metszete; alul a mennyiségszabályozó szelep zárási pillanata és a szállított rész (sematikus; a nyomásértékek ellenőrizendők)

Az ábrán a vezérműtengely bütyke (1) a görgős emelőn (2) át mozgatja a dugattyút (3). A mennyiségszabályozó szelep (4) a felfelé löket alatt zár: ettől kezdve a munkatérben nyomás épül, és a nyomószelepen (5) át a railbe jut a tüzelőanyag; minél később zár, annál kevesebb. A nyomáshatároló szelep (6) a túl nagy railnyomást vezeti le, a kisnyomású csillapító (7) a bemeneti nyomáslengéseket simítja.

Gyártói adat. A railnyomás, a befecskendezési idő, a szivattyú típusa, a mennyiségszabályozó szelep vezérlése és a nyomásmentesítési eljárás **minden esetben a gyártó javítási utasítása szerint** kezelendő; az itt megadott értékek tanulási példák (ellenőrizendő: konkrét típusra).

19.3.4.3. Kettős befecskendezés (MPi + GDi)

Egyes gyártók a szívócső-befecskendezést és a közvetlen befecskendezést kombinálják: a motor mindkét befecskendező rendszerrel rendelkezik. Ez a **kettős befecskendezés**. Célja, hogy egyesítsék a két rendszer előnyeit:

- A közvetlen befecskendezés jó teljesítményt és alacsony fogyasztást ad, a töltethűtés miatt magasabb sűrítési arányt tesz lehetővé.
- A szívócső-befecskendezés a szívószelepek mögé fecskendezett tüzelőanyaggal mossa a szívószelepeket, csökkentve a kokszlerakódást (lásd a hibáknál).
- Kis terhelésen a szívócső-befecskendezés használatával jobb keverékképzés érhető el, és csökkenthető a részecskeképződés.

A vezérlőegység az üzemállapottól függően dönti el, hogy melyik injektort, milyen arányban működteti. A kettős befecskendezés bonyolultabb rendszer, de a kibocsátási előírások szigorodásával egyre gyakoribb.

19.3.5. Előnyök és hátrányok

Előnyök:

- **Fogyasztáscsökkenés:** a rétegzett üzemmód kis terhelésen szegény keverékkel dolgozik; a homogén üzemmódban a magasabb sűrítési arány és a töltethűtés javítja a hatásfokot.
- **Teljesítménynövekedés:** a tüzelőanyag párolgása a hengerben hűti a beszívott levegőt, növeli a sűrűségét, így nagyobb töltet és nagyobb teljesítmény érhető el.
- **Jobb kopogástűrés:** a közvetlen befecskendezés a kompresszióütemben porlasztott tüzelőanyaggal elvonja a hőt a keverékből, ami lehetővé teszi magasabb sűrítési arányt (pl. turbófeltöltésnél) anélkül, hogy kopogás lépne fel.

Hátrányok:

- **Részecskekibocsátás:** a közvetlen befecskendezésnél a tüzelőanyag rövid ideje alatt nem mindig párolog el teljesen, különösen hideg motornál, magas terhelésnél. A folyadékfilmek elégése koromrészecskéket képez. Ezért a korszerű közvetlen befecskendezésű motorokhoz **benzin-részecskeszűrőt (Gasoline Particulate Filter, GPF)** szerelnek, hasonlóan a dízelmotorok részecskeszűrőjéhez.
- **Szívószelep-kokszosodás:** mivel a tüzelőanyag nem folyik át a szívószelepeken, a forgattyúház-szellőztetésből származó olajgőz lerakódik a szívószelep tányérján és a szívócsatornában. Ez idővel kokszréteget képez, amely rontja a légáramlást, a keverékképzést, és teljesítménycsökkenést, egyenetlen alapjáratot okozhat. A kettős befecskendezés ezt részben ellensúlyozza.
- **Bonyolultabb, drágább rendszer:** a nagynyomású szivattyú, a rail, a nagynyomású injektorok és a vezérlés nagyobb költséget és javítási szakértelmet igényel.
- **Nagynyomású biztonsági kockázat:** a rendszerben lévő 10–35 MPa nyomás alatti tüzelőanyag bőrbe hatoló sugárral súlyos sérülést okozhat; a szerelés előtt gyártói nyomásmentesítés kötelező.

Táblázat: Homogén és rétegzett keverékképzés összehasonlítása

Jellemző	Homogén üzemmód	Rétegzett üzemmód
Befecskendezés időpontja	Szívóütem alatt	Kompresszióütem végén
Keverékeloszlás a hengerben	Közel egyenletes	Gyújtógyertya környékén dús, máshol szegény
Légviszony λ	≈ 1 (vagy kissé dús/szegény)	Globálisan 1,5–4, lokálisan ≈ 1
Fogyasztás kis terhelésen	Magasabb	Alacsonyabb
NOx-utókezelés	Háromutas katalizátor elég	NOx-tároló vagy egyéb megoldás szükséges
Üzemállapot	Nagyobb terhelés, hideg motor	Kis-közepes terhelés, meleg motor (ha a rendszer támogatja)

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

19.3.6. Kidolgozott példák

19.3.6.1. 1. példa: Befecskendezett tüzelőanyag-tömeg homogén üzemmódban

Adott: Egy négyhengeres Otto-motor szívóütemén hengerenként $m_L = 480\,\text{mg}$ levegőt szív be. A vezérlőegység homogén üzemmódban $\lambda = 1{,}0$ légviszonyt állít be. A sztöchiometrikus levegő/tüzelőanyag-arány $L_{st} = 14{,}7$.

Keresett: a hengerenként befecskendezett tüzelőanyag-tömeg m_F.

Képlet: $m_F = \frac{m_L}{\lambda\, L_{st}}$

Behelyettesítés:

$$m_F = \frac{480\,\text{mg}}{1{,}0 \times 14{,}7} = \frac{480}{14{,}7} \approx 32{,}7\,\text{mg}$$

Ellenőrzés: A kapott érték reális: egy 0,5 literes hengerbe 480 mg levegő fér kb. 1 bar nyomáson, és a szükséges benzin tömege ennek körülbelül a 1/14,7-ed része. ∎

19.3.6.2. 2. példa: Befecskendezési idő becslése

Adott: Ugyanannál a motornál az injektor statikus áramlási sebessége 10 MPa railnyomásnál $\dot{m}_{stat} = 600\,\text{g/min}$ (példa, típusfüggő, ellenőrizendő). A szükséges befecskendezett tömeg $m_F = 32{,}7\,\text{mg} = 0{,}0327\,\text{g}$.

Keresett: a szükséges befecskendezési idő t_{inj} (ms), ha figyelmen kívül hagyjuk a nyitási-zárási késést.

Képlet: $t_{inj} \approx \frac{m_F}{\dot{m}_{stat}} \cdot 60\,000$

Behelyettesítés:

$$t_{inj} \approx \frac{0{,}0327\,\text{g}}{600\,\text{g/min}} \cdot 60\,000\,\text{ms/min} \approx 3{,}3\,\text{ms}$$

Ellenőrzés: 3000 1/min-nél egy szívóütem kb. 10 ms, a 3,3 ms belefér. A valóságban az injektor dinamikája és a vezérlési korrekciók miatt az idő kissé eltér. ∎

19.3.7. Minőségellenőrzés

A közvetlen befecskendezésű rendszer ellenőrzése során mindig a gyártói javítási utasítás és a diagnosztikai adatok az irányadók. A jellemző ellenőrzési pontok:

- **Railnyomás mérése:** diagnosztikai műszerrel vagy nyomásérzékelő jelével ellenőrizzük, hogy a beállított és a tényleges nyomás megegyezik-e. Eltérés utalhat szivárgó injektorra, hibás szivattyúra, eltömődött szűrőre vagy hibás nyomásszabályozóra.
- **Injektor elektromos ellenőrzése:** multiméterrel vagy oszcilloszkóppal a vezérlőjel és a tekercs ellenállás (ha mágnesszelepes) ellenőrzése. **Figyelem.** Piezoinjektorokat ellenállásmérővel vizsgálni tilos lehet a gyártói előírás szerint – csak a gyártó által engedélyezett mérést végezzük.
- **Szivárgás ellenőrzése:** a nagynyomású rendszer nyomáseséséének mérése a motor leállítása után; a rail nyomásának nem szabad gyorsan csökkennie. Ha igen, injektor vagy nyomásszabályozó szivárog.
- **Szívószelep-kokszosodás vizsgálata:** endoszkóppal a szívócsatornán át vagy leszerelés után a szeleptányérok lerakódásának mértéke. A koksz vastagsága rontja a töltetminőséget; a tisztítás módja gyártófüggő (vegyszeres, mechanikus, dióhéj-szemcseszórás – ellenőrizendő).

19.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Egy turbófeltöltős, közvetlen befecskendezésű autó tulajdonosa arra panaszkodik, hogy a motor hidegen egyenetlenül jár, melegen kissé lomha, és a fogyasztás megnőtt. A diagnosztikai műszer nem jelez hibakódot, de az élő adatokban hidegen a 2. és 3. henger gyújtáskimaradás-számlálója nő, a hengerenkénti lambda-korrekció pedig eltér a többitől.

Vizsgálat: A szerelő először a mérés nélküli levegőt (szívócső-tömítés, forgattyúház-szellőztetés szelepe, vákuumtömlők) és a tüzelőanyag-nyomást (előtápláló és rail) ellenőrzi, majd hengerspecifikus kimaradás mellett endoszkóppal megtekinti a szívószelepeket. Jelentős kokszlerakódást talál a szívószelep tányérján és a szívócsatornában; ez a lerakódás (mivel a benzin nem mossa a szelepet) hidegindításkor gyújtáskimaradást és egyenetlen járást okoz.

Javítás: A gyártói eljárás szerint a szívócsatornát és a szelepeket megtisztítják (pl. dióhéj-szemcseszórással vagy engedélyezett vegyszeres eljárással, a gyártó utasítása szerint). A tisztítás után a kimaradások megszűnnek, a motor járása egyenletes lesz, a fogyasztás visszaáll a gyártói érték közelébe.

Tanulság: A közvetlen befecskendezésű motoroknál a szívószelep-kokszosodás tipikus, hibakód nélküli probléma. A diagnosztikában az élő adatok (kimaradásszámlálók, lambda-korrekció, levegőtömeg-jel) és a vizuális ellenőrzés együttesen vezet az okhoz; a pozitív (szegény) lambda-korrekció tipikusabb oka a mérés nélküli levegő vagy az alacsony tüzelőanyag-nyomás.

19.3.9. Gyakorlati útmutató

A nagynyomású rendszer bontása előtt a nyomásmentesítés kötelező. Az alábbi eljárás **tanulási példa**, minden konkrét típusnál a gyártó utasítása a mérvadó.

Cél: A nagynyomású tüzelőanyag-rendszer nyomásmentesítése az injektor vagy a rail szerelése előtt.

Szerszámok és anyagok: diagnosztikai műszer (a nyomáscsökkentéshez, ha a gyártó így írja elő), védőszemüveg, védőkesztyű, tiszta rongy, gyűjtőedény, a gyártói javítási utasítás.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. **Adatazonosítás:** keressük ki a gyártói nyomásmentesítési eljárást és a várakozási időt.
2. **Nyomásmentesítő funkció:** ha a gyártó előírja, diagnosztikai műszerrel zárjuk le a mennyiségszabályozó szelepet, vagy futtassuk a nyomásmentesítő funkciót. Ha ehhez motort kell járatni, kizárólag **kipufogógáz-elszívással** tegyük (a CO színtelen, szagtalan, halálos gáz).
3. **A railnyomás ellenőrzése:** élő adatban (nyomásérzékelő) figyeljük a railnyomást; bontani csak akkor szabad, ha a nyomás a gyártói határérték alá esett (példa: 0,5 MPa alatt, ellenőrizendő: gyártói adat). A railnyomás leállítás után is percekig–órákig több MPa lehet.
4. **Áramtalanítás:** ezután gyújtás ki, kulcs távol, a gyártó előírása szerint a 12 V-os akkumulátor negatív pólusának lekötése (az adatok megőrzése után, ha szükséges).
5. **Várakozási idő:** tartsuk be a gyártói várakozási időt, majd a csatlakozást hideg motornál, gyűjtőedény fölött bontsuk; a rongy csak a maradék benzin felfogására való, **nem véd** a nagynyomású sugár ellen.
6. **Szerelés és visszaszerelés után:** a tervezett munkát (injektorcsere, railcsere stb.) a gyártói meghúzási nyomatékok és tömítések betartásával végezzük; a nagynyomású csatlakozások tömítéseit cseréljük, ha a gyártó előírja. Ezután ellenőrizzük a tömítettséget, a railnyomás felépülését diagnosztikai műszerrel, és töröljük az esetleges hibakódokat, majd végezzünk próbautat.

Figyelem. A nagynyomású tüzelőanyag-sugár bőrbe hatolva súlyos, akár amputációt igénylő sérülést okozhat. A befecskendezési rendszeren csak a gyártói utasítás szerint, megfelelő védőfelszerelésben szabad dolgozni. A rendszer nyomás alatt nem bontható: a nagynyomású vezetéket vagy csatlakozót **tilos** nyomásmentesítés helyett oldani.

19.3.10. Tipikus hibák

1. **Nyomás alatt oldja a nagynyomású csatlakozást.** A szerelő siet, és nem mentesíti a rendszert. A tüzelőanyag-sugár bőrbe hatolhat, ami súlyos sérülés. **Helyes gyakorlat:** mindig a gyártói nyomásmentesítési eljárást követni, védőkesztyűben és védőszemüvegben.
2. **A railnyomás hibáját injektornak tulajdonítja.** Ha a nyomás nem éri el a kívánt értéket, az ok lehet szivárgó nagynyomású szivattyú, hibás mennyiségszabályozó szelep, eltömődött szűrő vagy hibás nyomásérzékelő is, nem csak az injektor. **Helyes gyakorlat:** a diagnosztikai műszerrel ellenőrizzük a nyomásszabályozó jeleit, a szivattyú szállítását és a leállás utáni nyomásesést, mielőtt injektort cserélnénk.
3. **A szívószelep-kokszosodást a szelephézag rossz beállításának gondolja.** A közvetlen befecskendezésű motornál a lerakódás okozta tünetek hasonlóak lehetnek a szelephézag hibájához (egyenetlen járás, teljesítménycsökkenés). **Helyes gyakorlat:** először a szívócsatornát endoszkóppal ellenőrizni; a koksz tisztítása előtt ne nyúljunk a szelepvezérléshez.
4. **Figyelmen kívül hagyja a GPF állapotát.** A részecskeszűrő eltömődése növeli a kipufogó ellennyomást, ami fogyasztásnövekedéshez és teljesítménycsökkenéshez vezet. **Helyes gyakorlat:** a diagnosztikai adatokban a kipufogónyomás vagy a GPF töltöttségi állapot ellenőrzése, és a regenerálás vagy tisztítás a gyártói eljárás szerint.

19.3.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A közvetlen befecskendezésű motornál a tüzelőanyagot a szívócsőbe fecskendezik be.
2. **Mi a jellemző railnyomás-tartomány** a közvetlen befecskendezésű Otto-motoroknál? (a) 0,3–0,6 MPa, (b) 10–35 MPa, (c) 50–100 MPa.
3. **Egy motor homogén üzemmódban** $\lambda = 1{,}0$ mellett hengerenként 500 mg levegőt szív be. Mennyi tüzelőanyagot fecskendez be? (L_st = 14,7)
4. **Miért van szükség GPF-re** a közvetlen befecskendezésű motoroknál?
5. **Mi a teendő a nagynyomású rendszer megbontása előtt?** (röviden)
6. **Milyen tipikus hiba okoz szívószelep-kokszosodást** a közvetlen befecskendezésű motoroknál?

19.3.12. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Hamis.** A közvetlen befecskendezésnél a tüzelőanyagot közvetlenül az égéstérbe, a hengerbe fecskendezik be.
2. **(b)** 10–35 MPa (ellenőrizendő: típustól függően).
3. $m_F = \frac{500}{14{,}7} \approx 34{,}0\,\text{mg}$
4. Mert a közvetlen befecskendezés során tökéletlen párolgás és folyadékfilm égése miatt koromrészecskék keletkeznek, amelyeket a GPF fog meg.
5. A rendszert a gyártói utasítás szerint nyomásmentesíteni kell, védőfelszerelésben, soha nem nyomás alatt megbontani.
6. A tüzelőanyag nem mossa a szívószelepeket, így a forgattyúház-szellőztetésből származó olajgőz lerakódik és kokszosodik.

19.3.13. Feladatok

1. feladat (A) Definiálja röviden a „rail” fogalmát!

2. feladat (A) Számítsa ki a befecskendezett tüzelőanyag-tömeget, ha a hengerbe szívott levegő tömeg 600 mg, a légviszony $\lambda = 1{,}1$ és $L_{st} = 14{,}7$!

3. feladat (B) Egy közvetlen befecskendezésű motor injektorának statikus áramlási sebessége 400 g/min 15 MPa nyomáson. A vezérlőegység 12 mg tüzelőanyagot akar befecskendezni. Becsülje meg a befecskendezési időt (ms) a nyitási-zárási késés elhanyagolásával!

4. feladat (B) Magyarázza el, mi a különbség a homogén és a rétegzett keverékképzés között! Melyik üzemmód milyen terhelésnél jellemző?

5. feladat (C) Egy közvetlen befecskendezésű motornál a diagnosztikai műszer azt mutatja, hogy a railnyomás alapjáraton 4 MPa a kívánt 12 MPa helyett. A szivattyú vezérlőjele maximális. Soroljon fel legalább három lehetséges okot, és ismertesse, milyen méréssel dönthető el, melyik áll fenn!

6. feladat (D) Egy ügyfél autójánál a motor hidegindítás után erősen rángat, és a műszerfal nem jelzi a hibát. A lambda-korrekció rövid távú értéke +20% körül mozog. A kipufogógáz-elemzés enyhén szegény keveréket mutat. Milyen alkatrészt gyanúsít elsőként? Ismertesse a vizsgálat lépéseit!

19.3.14. A feladatok megoldásai

1. feladat (A) A rail a közös nyomástartó cső a nagynyomású tüzelőanyag-rendszerben, amely a nagynyomású szivattyúból kapott tüzelőanyagot tárolja és egyenletesen elosztja az injektorok felé, nyomásérzékelővel figyelt nyomáson.

2. feladat (A)

$m_F = \frac{m_L}{\lambda L_{st}} = \frac{600\,\text{mg}}{1{,}1 \times 14{,}7} = \frac{600}{16{,}17} \approx 37{,}1\,\text{mg}$

Ellenőrzés: reális érték, mert $\lambda = 1{,}1$ enyhén szegény, tehát kevesebb tüzelőanyag kell, mint $\lambda = 1{,}0$-nál. ∎

3. feladat (B)

$m_F = 12\,\text{mg} = 0{,}012\,\text{g}$

$t_{inj} \approx \frac{0{,}012\,\text{g}}{400\,\text{g/min}} \cdot 60\,000\,\text{ms/min} = 1{,}8\,\text{ms}$

Ellenőrzés: a kapott idő a tipikus befecskendezési tartományba esik. ∎

4. feladat (B) Homogén keverékképzésnél a tüzelőanyagot a szívóütem alatt fecskendezik be, így a hengerben a gyújtás előtt közel egyenletesen elkeveredik a levegővel, $\lambda \approx 1$ mellett. Rétegzett keverékképzésnél a tüzelőanyagot a kompresszióütem végén, közvetlenül a gyújtás előtt porlasztják, így a gyújtógyertya környékén dús, gyúlékony felhő keletkezik, míg a henger többi része szegény. A homogén üzemmód nagyobb terhelésnél, hideg motornál jellemző; a rétegzett üzemmód kis-közepes terhelésnél, meleg motornál használható, ha a motor rendelkezik a szükséges utókezeléssel.

5. feladat (C) Lehetséges okok:

- **Szivárgó injektor:** tömítetlen tűszelep, a benzin az égéstérbe szivárog (a benzines közvetlen befecskendezésű injektornak nincs visszafolyó ága). Mérés: leállítás utáni railnyomás-esés (élő adat), hengerenkénti gyújtáskimaradás-számláló vagy lambda-hengerkorrekció, szükség esetén injektor-tesztpad.
- **Kopott nagynyomású szivattyú:** a dugattyú vagy a szelepek kopása miatt nem éri el a kívánt nyomást. Mérés: a szivattyú nyomásoldali teljesítményének mérése, vagy a bemeneti és kimeneti nyomás különbsége, esetleg a szivattyú mechanikus hajtásának ellenőrzése.
- **Hibás mennyiségszabályozó szelep:** a szivattyú bemenetén lévő szelep nem nyit/zár megfelelően, ezért nem szállít elegendő tüzelőanyagot. Mérés: a szelep vezérlőjelének és a szivattyú szállításának összehasonlítása; a szelep elektromos ellenállása, ha mágnesszelepes.
- **Eltömődött tüzelőanyagszűrő vagy alacsony előtápláló nyomás:** a nagynyomású szivattyú nem kap elegendő tüzelőanyagot. Mérés: az alacsony nyomású oldal nyomásának mérése a gyártó által megadott értékhez képest.
- **Hibás nyomásérzékelő:** a railben lévő érzékelő tévesen alacsony nyomást jelez, ezért a vezérlőegység feleslegesen növeli a szivattyú szállítását. Mérés: a tényleges nyomás összehasonlítása mechanikus nyomásmérővel.

6. feladat (D) Elsőként a mérés nélküli levegőt (szívócső-tömítés, forgattyúház-szellőztetés szelepe, vákuumtömlők) és a tüzelőanyag-nyomást (előtápláló és rail) gyanúsítjuk, mert a pozitív lambda-korrekció tipikus okai ezek; a szívószelep-kokszosodás jellemző tünete inkább a hidegindítási gyújtáskimaradás és az egyenetlen alapjárat. A vizsgálat lépései:

1. Diagnosztikai műszerrel élő adatok ellenőrzése: lambda-korrekció, levegőtömeg, rail- és előtápláló nyomás, hengerenkénti kimaradásszámláló.
2. Ha a falslevegő és a nyomások rendben vannak, és hengerspecifikus kimaradás látszik: szívócsatorna és szívószelepek vizuális ellenőrzése endoszkóppal.

3. Ha kokszlerakódás látható, akkor a gyártói tisztítási eljárás elvégzése (pl. dióhéj-szemcseszórás, engedélyezett vegyszer).
4. Tisztítás után a lambda-korrekció és a járás ellenőrzése próbautas teszttel.
5. Ha a koksz nem jelentős, más okok vizsgálata: szivárgó injektor, hibás levegőtömeg-mérő, vákuumszivárgás stb.

19.3.15. Rövid összefoglaló

A közvetlen befecskendezésű Otto-motorok a tüzelőanyagot közvetlenül az égéstérbe juttatják, jellemzően 10–35 MPa nyomáson. A rendszer alacsony nyomású oldalból (tartály, előtápláló szivattyú, szűrő) és nagynyomású oldalból (mechanikus nagynyomású szivattyú, rail, nyomásérzékelő, nagynyomású injektorok) áll. Két keverékképzési mód van: homogén (szívóütemben) és rétegzett (kompresszióütemben). A közvetlen befecskendezés előnye a jobb hatásfok, a nagyobb teljesítmény és a kopogástűrés; hátránya a részecskekibocsátás és a szívószelep-kokszosodás, ezért GPF-re és tisztítási eljárásokra van szükség. A nagynyomású rendszeren végzett bármilyen munka előtt a gyártói nyomásmentesítés kötelező, mert a tüzelőanyag-sugár bőrbe hatolva súlyos sérülést okoz. A diagnosztika során a railnyomás (kívánt/tényleges), a leállás utáni nyomásesés és a lambda-korrekció adja a leggyorsabb hibafelderítést.

19.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok:

- Gyártói javítási utasítások, szervizadatok, diagnosztikai adatok (a konkrét típusra vonatkozóan).
- ISO 15031 (az OBD-kommunikáció szabványcsaládja; ellenőrizendő: a hivatkozott rész).
- A járművek típusjóváhagyásáról szóló (EU) 2018/858 rendelet keretei (ellenőrizendő: hivatkozás pontossága).
- A kipufogógáz-kibocsátási előírások (Euro 6d stb.) (ellenőrizendő: a hatályos normák és határértékek).

Ellenőrizendő állítások:

- A railnyomás 10–35 MPa tartománya.
- Az injektor statikus áramlási sebessége példaként megadott értéke.
- A rétegzett üzemmód légviszony-tartománya és NOx-utókezelési igénye.
- A GPF bevezetésének konkrét jogszabályi háttere.
- A gyártói nyomásmentesítési eljárás lépései és várakozási idő.
- Az adott típusra vonatkozó kettős befecskendezéses megoldások részletei.

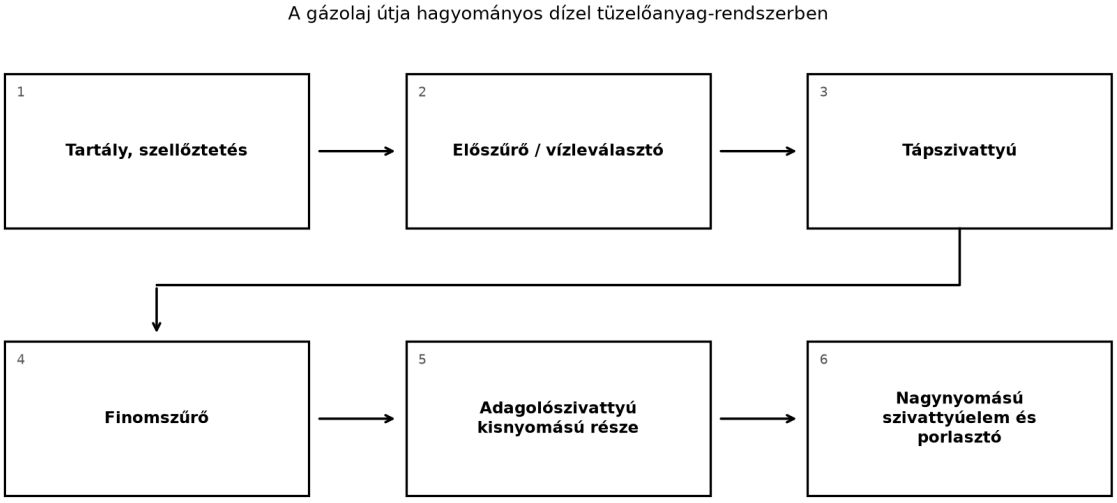
20 Dízelmotorok tüzelőanyag-ellátása

20.1. A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók

A dízelmotor akkor indul és jár jól, ha a porlasztóba minden üzemállapotban tiszta, levegőmentes, megfelelő hőmérsékletű gázolaj érkezik a szükséges nyomáson. Ezt a feladatot a tüzelőanyag-ellátó rendszer kisnyomású oldala és a befecskendező adagoló együtt végzi. Ha ez a lánc bárhol megszakad – levegőt szív, vizet enged át, eltömődik a szűrő, vagy rosszul adagol a szivattyú –, a motor nehezen indul, egyenetlenül jár, teljesítményt veszít, vagy terhelésre füstöl.

20.1.1. Szemléletes kép: a gázolaj útja

Képzeljük el a gázolaj útját egy hagyományos, elosztós adagolós dízelmotornál. A tartályból a tápszivattyú egy előszűrőn és vízleválasztón keresztül a finomszűrőbe nyomja a tüzelőanyagot, majd az adagolószivattyú kisnyomású belső szivattyúrésze továbbítja a nagynyomású szivattyúelemekhez. A szivattyúelem a gázolajat a befecskendezési nyomásra emeli, és a rendszer – hagyományos rendszereknél porlasztócsövön át – a porlasztóhoz juttatja. A porlasztó finom köddé porlasztja az égéstérbe, a felesleges és hűtő tüzelőanyag pedig visszafolyó ágon tér vissza a tartályba.



20.1. ábra. A gázolaj útja hagyományos dízel tüzelőanyag-rendszerben - Szemléltető lépéssor; a tényleges kialakítás járművenként és adagolótípusonként eltér (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

A ábrán látható lépéssor a hagyományos rendszerekre jellemző. A korszerű közös nyomásterű rendszereknél a nagynyomású szivattyú különválik az adagolástól, de a kisnyomású oldal felépítése ott is hasonló.

20.1.2. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **kisnyomású oldal** a dízel tüzelőanyag-rendszer azon része, amely a gázolajat a tartályból az adagolószivattyú belső szivattyúterébe, illetve a nagynyomású szivattyú bemenetére szállítja, jellemzően 0,3–5 bar nyomáson. A **nagynyomású oldal** a befecskendezéshez szükséges, hagyományos rendszerekben (soros és VE adagoló) kb. 300–1000 bar (csúcsnyomás a porlasztónál), a radiáldugattyús elosztós adagolónál kb. 1500–1800 bar, a PDE-nél kb. 2000 bar-ig, közös nyomásterű rendszerekben akár 2000 bar feletti nyomást előállító rész (tájékoztató értékek, ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. Az **adagolás** a befecskendezett tüzelőanyag-mennyiség és a befecskendezés időbeli kezdetének vezérlése a motor terhelése, fordulatszáma és hőmérséklete szerint. A dízelmotor terhelését minőségi szabályozással, tehát a beszívott levegő mennyiségének változtatása nélkül, a tüzelőanyag-mennyiség változtatásával szabályozzuk.

20.1.3. A kisnyomású oldal felépítése és működése

20.1.3.1. Tartály, szellőztetés és vezetékek

A dízel tartály anyaga acél vagy műanyag, belső terelőlemezekkel csökkenti a kanyarban fellépő lötyögést. A tartályt szellőztetni kell, mert a kivett gázolaj helyére levegőnek kell beáramlania, különben vákuum keletkezik, és a tápszivattyú nem tud szívni. A szellőztetés szellőzőszelepen (borulás esetén záró szeleppel) történik; aktívszén-tartály a gázolaj kis illékonysága miatt dízeljárművön jellemzően nincs (ellenőrizendő: gyártói kivitel). A tartályban gyakran van előszűrő a szívócsonkon, és van egy visszafolyó csatlakozás is, mert a dízelrendszerben mindig több gázolajat keringetünk, mint amennyit a motor elfogyaszt.

Gyakori hiba. Ha a szellőzőcső eldugul vagy megtörik, a tartályban vákuum alakul ki. A motor ilyenkor rövid ideig jól jár, majd teljesítménye csökken, végül leáll. A tünet azért alattomos, mert a motor leállása után a vákuum lassan megszűnik, és a motor újra indíthatónak tűnik.

20.1.3.2. Tápszivattyú

A **tápszivattyú** feladata, hogy a gázolajat a tartályból az adagolószivattyúhoz szállítsa, és a kisnyomású körben állandó nyomást tartson. Hagyományos rendszerekben mechanikus membrános vagy dugattyús tápszivattyút találunk, amelyet az adagolószivattyú vezértengelye, illetve a motor hajt. Az elektromos tápszivattyú – amely sok korszerű járműben a tartályban vagy a tartály közelében van – a gyújtás bekapcsolása után felépíti a kisnyomást, ami megkönnyíti a légtelenítést és a hidegindítást.

A tápszivattyú nyomása általában 0,3–0,5 bar, de egyes rendszerekben a nagynyomású szivattyú hűtése miatt 3–5 bar is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A nyomást a visszafolyó ágba épített nyomástartó szelep szabályozza.

20.1.3.3. Szűrő, vízleválasztó és előmelegítés

A gázolajban mindig van kevés szennyeződés és víz. A **finomszűrő** a nagynyomású szivattyú és a porlasztók kopása ellen véd. A dízelszűrő általában cserebetétes, papír- vagy szintetikus szűrőanyaggal, és nagyon finom, jellemzően 3–10 µm feletti részecskéket szűr ki. A szűrőház alján **vízleválasztó** ülepítő tér található, mert a víz sűrűbb a gázolajnál, ezért lesüllyed. A víz jelenléte rozsdát, baktériumos eliszaposodást és télen jégdugót okozhat.

Előírás. A dízel üzemanyagnak meg kell felelnie az EN 590 szabványnak. A hidegszűrhetőség (CFPP) az évszaknak megfelelő téli minőségben jellemzően −15 °C vagy −20 °C körüli; a pontos osztályok és határértékek az EN 590 hatályos kiadása szerint változnak (ellenőrizendő: hatályos EN 590 és üzemanyag-forgalmazói adatok).

Hideg időben a gázolajban található paraffinok kiválhatnak, és a kristályok eltömítik a szűrőt. Ezért a rendszerben **előmelegítőt** alkalmaznak: elektromos fűtőbetétet a szűrőházban, hűtőfolyadékos hőcserélőt, vagy a visszafolyó meleg gázolajat vezetik a szűrőhöz. A modern rendszerek gyakran a nyomásszabályzó szelepen át visszavezetett gázolaj hőjét hasznosítják.

20.1.3.4. Légtelenítés

A dízel tüzelőanyag-rendszerben lévő levegő összenyomható, ezért a nagynyomású szivattyú nem tudja a szükséges nyomást felépíteni, a porlasztó pedig nem nyit ki. A levegő jellemző forrása: szűrőcsere után üres szűrőház, elöregedett vagy meglazult csatlakozó, repedt fémcső, eltömődött visszafolyó ág.

A légtelenítés lépései rendszerenként eltérőek, de a cél mindig az, hogy a kisnyomású oldalt és a szivattyú belső terét levegőmentes gázolajjal töltsük fel. Hagyományos rendszereknél a szűrőházon kézi szivattyú, a szivattyúházon légtelenítő csavar van; elektromos tápszivattyús rendszernél a gyújtás bekapcsolásával gyakran a tápszivattyú magától légteleníti a kört. A szűrőcserénél a legbiztosabb, ha az új szűrőt tiszta gázolajjal előre feltöltjük.

20.1.4. A hagyományos soros adagoló és a porlasztók elve

Történeti rendszer. A hagyományos **soros adagolószivattyúban** hengerenként egy-egy külön pumpaelem van egy sorban, amelyeket a motor vezérművével szinkronban forgó vezértengely bütykös tárcsája mozgat. A dugattyú fel-le mozog a hengerben; a felfelé mozgás közben a gázolaj a nyomószelepen át a porlasztócsőbe, majd a porlasztóhoz jut. A szállított mennyiséget a dugattyún kialakított ferde **adagolóél** szabályozza: a dugattyú elforgatásával a hasznos löket hossza változik. A szivattyú pontosan a motor forgattyústengely-fordulatának üteme szerint adagol, ezért a befecskendezés ütemezése mechanikusan szinkronizált.

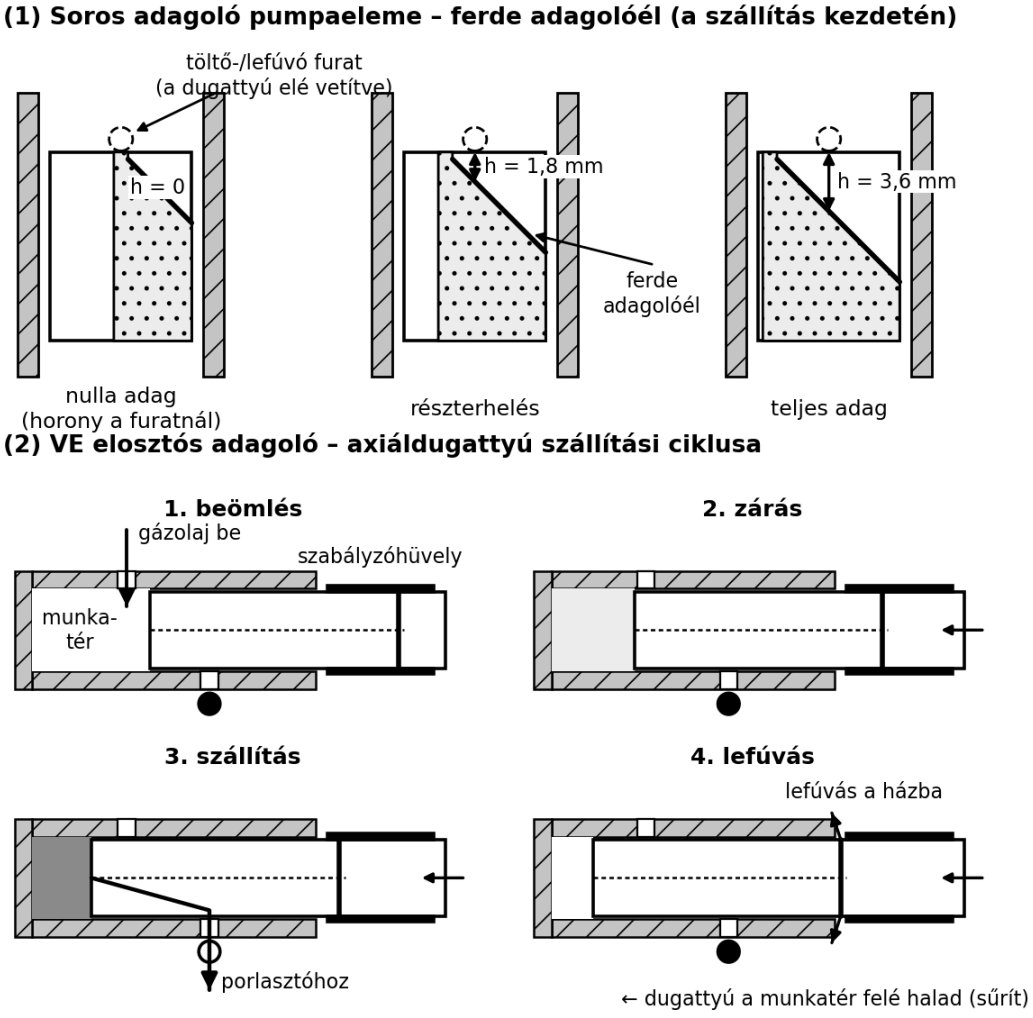
A **porlasztó** a hengerfejben ül, és a csúcsán lévő apró furatokon keresztül a gázolajat igen finom, nagy sebességű köddé porlasztja az égéstérbe. A porlasztóban rugó terheli a tűt; amikor a nyomás eléri a beállított **nyitási nyomást** – hagyományos rendszerekben jellemzően 150–250 bar –, a tű felemelkedik, és megtörténik a befecskendezés. A porlasztó zárása a nyomáseséskor a rugó erejével gyors, ami megakadályozza az utócsepegést.

A soros adagoló ma már ritka, de a működési elv – dugattyús térfogatkiszorítás, ferde élű adagolás, nyomószelep – a korszerűbb rendszerek megértéséhez is kell.

20.1.5. A Bosch VE elosztós adagoló

A **VE elosztós adagoló** (Verteiler-Einspritzpumpe) egyetlen szivattyúelemmel látja el az összes hengert, ezért kisebb, olcsóbb és egyszerűbb, mint a soros szivattyú. A forgó **axiáldugattyú** egyszerre végez lineáris löketmozgást és elfordulást. A lineáris mozgást egy homlokbütykös tárcsa hozza létre: ahány henger van a motornak, annyi bütyök van a tárcsán. A dugattyú elfordulása közben a rajta lévő elosztónyílás sorban nyitja az egyes porlasztócsövek felé vezető csatornákat. Így a szállítás és az elosztás egyetlen alkatrészben egyesül.

A szállított mennyiséget a dugattyún lévő **szabályzóél** állítja. A dugattyún egy **szabályzóhüvely** csúszik; a hüvely tengelyirányú helyzetét a fordulatszám-szabályozó karrendszere állítja. A dugattyút a homlokbütykös tárcsa mozgatja. A befecskendezési ciklus úgy működik, hogy a gázolaj a beömlőnyíláson belép a szivattyútérbe, a dugattyú felfelé mozdul, a töltőnyílás záródik, majd a nyomószelep kinyit, és a szállítás megindul. A szállítás akkor ér véget, amikor a dugattyú lefúvófurata kilép a szabályzóhüvely alól: a nyomás hirtelen megszűnik, a nyomószelep zár, és a befecskendezés befejeződik.



20.2. ábra. A soros adagoló pumpaelemének ferde adagolóéle három elforgatási helyzetben és a VE axiáldugattyú szállítási ciklusa négy fázisban (sematikus; a hasznos löket mm-értékei szemléltető skálán)

Az ábra felső sora a soros adagoló elemét a szállítás kezdetén mutatja: a dugattyú felső éle éppen

elzárta a furatot, a hasznos löket (h) a furat és a ferde él közötti távolság. Ha a függőleges horony a furat előtt áll, nincs szállítás; a dugattyú elforgatásával h, így az adag nő. Az alsó sor a VE-ciklus fázisai: beömlés, zárás, szállítás a porlasztóhoz, majd lefúvás, amikor a keresztfurat kilép a szabályzóhüvelyből.

Befecskendezés kezdetének állítása. A VE szivattyúban a **görgős gyűrű** elforgatásával a bütyök és a görgők érintkezési helyzete változik, így a lökethatár korábban vagy később következik be. A gyűrűt kis dugattyús hidraulikus munkahenger mozgatja, amelyet a belső szivattyú nyomása vezérel. Nagyobb fordulatszámon a belső nyomás nő, a gyűrűt elfordítja, és a befecskendezés kezdete korábbra tolódik – ez a **fordulatszámfüggő előretolás**.

Alapjárati és végfordulatszám-szabályozó. A VE szivattyú mechanikus **centrifugálfordulatszám-szabályozója** golyókkal vagy lendítőtömegekkel dolgozik. Alapjáraton a rugóerő és a centrifugálerő egyensúlya tartja a szabályzóhüvelyt a megfelelő helyzetben; ha a motor „megszaladna”, a centrifugálerő a szabályzóhüvelyt a kisebb adag felé tolja el, és csökkenti az adagot. A **végfordulatszám-szabályozó** feladata, hogy a motor fordulatszáma ne lépje túl a gyártó által megengedett legnagyobb értéket. A két tartományt egy rugórendszer fedezi, így a szabályozó alapjáraton és leszabályozási tartományban is pontos.

Hidegindító. Hideg motornál a besűrűsödött olaj és a hideg falak miatt a motor nehezebben forog, a befecskendezési késedelem pedig nagyobb. A hidegindító kar a befecskendezés kezdetét előrehozza, és részben a szállított mennyiséget is növeli. A gyakorlatban a hidegindító berendezés lehet kézi működtetésű, vagy hűtőfolyadék-hőmérséklet érzékelővel vezérelt hidraulikus előretoló.

Töltőnyomás-függő adagolás (LDA). A feltöltött dízelmotornál a VE szivattyúra szerelt **töltőnyomás-függő adagoló** (LDA, Ladedruckabhängiger Vollastanschlag) membránt tartalmaz, amelyre a szívócső töltőnyomása hat. Nagyobb töltőnyomásnál a membrán elmozdítja a teljes terhelésű ütközőt, így a szivattyú nagyobb maximális adagot enged; alacsony töltőnyomásnál korlátozza az adagolást, ezzel csökkenti a füstképződést és javítja a hatásfokot.

20.1.6. Elektronikus szabályozású radiáldugattyús forgóelosztós adagoló

A hagyományos VE szivattyú mechanikus szabályzóit a korszerűbb **radiáldugattyús forgóelosztós adagoló** (például a Bosch VP44 típusú) esetében villamos beavatkozók és motorvezérlő egység váltja fel. A szivattyúban több, a tengely körül radiálisan elhelyezett dugattyú dolgozik, amelyeket egy belső bütykös gyűrű mozgat. A radiál elrendezés nagyobb nyomást (tájékoztatóan kb. 1500–1800 bar, ellenőrizendő: gyártói adat) és jobb hatásfokot tesz lehetővé, mint a VE szivattyúé.

A szállított mennyiséget és a befecskendezés kezdetét az **EDC** (Elektronische Dieselregelung) vezérlő szabályozza. A szivattyúban egy gyors mágnesszelep zárja vagy nyitja a nagynyomású teret, ezzel pontosan meghatározza a szállított mennyiséget. A befecskendezési kezdetet külön mágnesszeleppel vezérelt hidraulikus gyűrűállító állítja. A vezérlő a fordulatszám-, pedálállás-, légtömeg- vagy töltőnyomás-, hűtőfolyadék-hőmérséklet- és tüzelőanyag-hőmérséklet-jelek alapján dolgozik, és több, pontosan leképezett jelleggörbe között interpolál. Ez lehetővé teszi a hidegindítási füst csökkentését, a pontos füsthatárolást, a legnagyobb fordulatszám rugalmas leszabályozását és a diagnosztikát.

20.1.7. Szivattyú-porlasztó egység (PDE) és PLD rendszer

A **PDE** (Pumpe-Düse-Einheit, szivattyú-porlasztó egység) rendszerben minden hengerhez külön, a hengerfejbe épített szivattyú-porlasztó egység tartozik. A motor vezérműtengelyének bütyke

közvetlenül, nagynyomású cső nélkül nyomja a pumpaelemet, amely a porlasztóval egy egységben dolgozik. Az egység beépített mágnesszeleppel vezérli a befecskendezés kezdetét és végét. Mivel nincs hosszú nyomócső, a rendszerben nagyobb nyomás (jellemzően kb. 2000 bar-ig, tájékoztató, ellenőrizendő: gyártói adat) és gyorsabb befecskendezés érhető el. A PDE rendszer hátránya, hogy a hengerfej és a vezérműlánc mechanikai terhelése nagy, és a szivattyúegységek hűtéséről, kenéséről gondoskodni kell.

A **PLD** (Pumpe-Leitung-Düse, egységszivattyús rendszer) a PDE rokona: hengerenként egy-egy, a motor vezérműtengelye által hajtott, mágnesszelepes egységszivattyú van a motorblokkban, amelyet rövid nagynyomású cső köt a hengerfejben ülő porlasztóhoz. A mennyiséget és a befecskendezés kezdetét a mágnesszelep vezérlése határozza meg (ferde élű dugattyú-elforgatás nincs benne). A rövid cső rugalmassága miatt a nyomásfelfutás valamivel lassabb, mint a PDE-nél; a hengerfej egyszerűbb. Jellemzően haszongépjárművekben fordul elő (ellenőrizendő: Bosch-dokumentáció).

Továbbvitt eredmény. A hagyományos dízeladagolás alapelveit – a kisnyomású oldal felépítését, a szállítási ciklust, a befecskendezési kezdet állítását és a mennyiségszabályozást – használjuk a Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés alfejezetben, ahol az adagolás szerepét a nyomásszabályozás és az injektor-vezérlés veszi át. A hidraulikus alapfogalmak a Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás alfejezetben is visszatérnek.

20.1.8. Kidolgozott példák

Példa 1. Szükséges tüzelőanyag-térfogatáram. Adott egy dízelmotor, amelynek effektív teljesítménye $P_e = 110\,\mathrm{kW}$, effektív fajlagos fogyasztása $b_e = 220\,\mathrm{g/kWh}$, a gázolaj sűrűsége $\rho = 840\,\mathrm{kg/m^3} = 0{,}84\,\mathrm{kg/l}$. A motor maximális teljesítményén mekkora tömegáramot, illetve térfogatáramot fogyaszt?

Megoldás. A tömegáram:

$$\dot{m}_t = P_e \cdot b_e = 110\,\mathrm{kW} \cdot 220\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{kWh}} = 24\,200\,\mathrm{g/h} = 24{,}2\,\mathrm{kg/h}.$$

A térfogatáram:

$$\dot{V}_t = \frac{\dot{m}_t}{\rho} = \frac{24{,}2\,\mathrm{kg/h}}{0{,}84\,\mathrm{kg/l}} \approx 28{,}8\,\mathrm{l/h}.$$

A tápszivattyúnak ennél lényegesen többet kell szállítania, mert a visszafolyó ágon is folyamatosan áramlik gázolaj. A visszafolyó és keringtető ág miatt a tápszivattyú szállítása jellemzően 60–100 l/h közötti (ellenőrizendő: gyártói adat). Az eredmény nagyságrendje reális: egy 110 kW-os motor teljes terhelésen 25–30 l/h gázolajat fogyaszt.

Példa 2. Befecskendezési térfogatáram fordulatszám és adag alapján. Egy négyhengerű, négyütemű dízelmotor percenként $n = 2000\,\mathrm{1/min}$ fordulaton jár. Egy befecskendezési löketre hengerenként $V_{\mathrm{bef}} = 30\,\mathrm{mm^3}$ gázolajat szállítunk. Számítsuk ki a percenként befecskendezett térfogatot és az óránkénti térfogatáramot.

Megoldás. Négyütemű motorban minden henger minden második fordulatban kap tüzelőanyagot, ezért hengerenként a befecskendezések száma percenként:

$$z_{\mathrm{heng}} = \frac{n}{2} = \frac{2000}{2} = 1000\,\mathrm{1/min}.$$

Négy hengerre a befecskendezések száma:

$$z = i \cdot z_{\text{heng}} = 4 \cdot 1000 = 4000\,1/\text{min}.$$

A percenként befecskendezett térfogat:

$$\dot{V}_{\text{bef}} = z \cdot V_{\text{bef}} = 4000 \cdot 30\,\text{mm}^3/\text{min} = 120\,000\,\text{mm}^3/\text{min} = 0{,}12\,\text{l/min} = 7{,}2\,\text{l/h}.$$

Ez az érték egy részterhelésen reális adagolás; teljes terhelésen a hengerenkénti adag ennél nagyobb, 60–100 mm³/löket is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). ∎

20.1.9. Minőségellenőrzés: mit, mivel és mihez képest?

- **Szűrőállapot:** a cserélhető betétet a gyártói intervallum szerint cseréljük; vizsgáljuk, hogy a házon nincs-e repedés, a tömítés ép-e.
- **Vízleválasztó:** a vízgyűjtő csavart rendszeresen ürítsük ki; a víz jelenléte a szűrőházban jól látható.
- **Tápszivattyú nyomása:** mérjük meg a kisnyomású oldal nyomását a gyártói csatlakozóponton; a jellegzetes érték 0,3–0,5 bar, de egyes rendszerekben több (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Légtelenítés:** a légtelenítő nyíláson kinyomott gázolajban nem lehet buborék.
- **Befecskendezési kezdet:** a szivattyú beállítását gyári jelölésekhez és a motor vezérlési adataihoz képest ellenőrizzük; típusonként diagnosztikai műszerrel is mérhető.
- **Adagoló szállítás:** a radiáldugattyús és VE szivattyúnál a szállítási mennyiség ellenőrzése próbapadi méréssel vagy a vezérlő által jelzett értékekkel történik; a hagyományos VE szivattyú beállításakor a gyártó szerinti fordulatszám- és adagolási görbét kell követni.
- **Porlasztó nyitási nyomása:** a porlasztó vizsgálata porlasztóvizsgálóval történik; a jellegzetes nyitási nyomás 150–250 bar (ellenőrizendő: gyártói adat). A befecskendezési sugár alakja egyenletes köd, nem lehet csorgás.

20.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: téli reggelen a dízel autó nem indul, az önindító forgat, de a motor nem „fog be”; előző nap még jól járt. Az ügyfél szerint a műszerfalon világít az izzítás visszajelző, és az autó félig tele van gázolajjal.

Vizsgálat. A szerelő először megnézi a szűrőházat. A vízleválasztó csavar kiengedésekor víz és zavaros, kocsonyás gázolaj folyik. A csővezetékek ellenőrzésekor a szűrő bemeneti csatlakozásánál enyhe gázolajszivárgás látható. A szivattyú kézi légtelenítője sok levegőt hoz. A diagnózis: a gázolaj hidegben paraffinosodott, a beszívott levegő és a víz miatt a rendszer elvesztette a szállítást.

Javítás. A szerelő kicseréli a szűrőt, kiüríti a vízleválasztót, gondosan meghúzza a csatlakozókat, és a szűrőt előre tiszta, hidegtűrő gázolajjal tölti fel. A légtelenítés után a motor beindul. A tanulság: a dízelszűrő rendszeres cseréje és a téli üzemanyag használata elengedhetetlen, mert a víz és paraffin a hideg indítás leggyakoribb oka.

20.1.11. Gyakorlati útmutató – dízelszűrő csere és légtelenítés

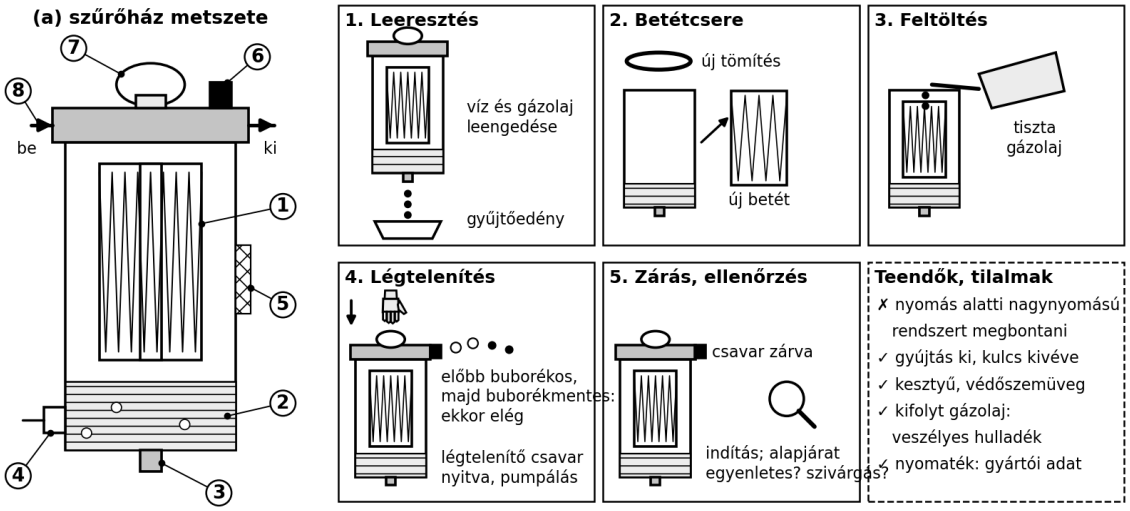
Cél: a finomszűrő cseréje és a kisnyomású rendszer levegőmentesítése.

Szükséges szerszámok, eszközök, anyagok: szűrőkulcs vagy hevederes kulcs, csavarhúzó, gyűjtőedény, tiszta rongy, új szűrőbetét, gázolaj az előtöltéshez, védőkesztyű, védőszemüveg, kipufogógáz-elszívó, felitató anyag.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Nyomás alatt álló dízel befecskendező rendszert tilos megbontani. A gázolaj bőr- és szemirritációt okozhat, a kiömlött gázolajat veszélyes hulladékként kell kezelni.

Munkalépések:

1. Győződj meg róla, hogy a motor hideg, a gyújtás ki van kapcsolva; a kulcsot vedd ki.
2. Helyezz gyűjtőedényt a szűrő alá.
3. Oldd meg a szűrőház rögzítését, és óvatosan engedd le a gázolajat a házból.
4. Cseréld ki a szűrőbetétet, a tömítést a gyártó előírása szerint használd.
5. Az új betétet töltsd fel tiszta, a motorhoz megfelelő gázolajjal, hogy elkerüld a hosszú légtelenítést.
6. Húzd meg a házat és a csatlakozókat a gyártó nyomatéka szerint (ellenőrizendő: gyártói adat).
7. A gyártó szerinti légtelenítő csavart nyisd meg, és működtesd a kézi tápszivattyút, amíg buborékmentes gázolaj nem jön. Elektromos tápszivattyúnál a gyújtást a gyártó előírása szerint többször be- és kikapcsolod (ellenőrizendő).
8. Zárd el a légtelenítő csavart; a kiömlött gázolajat indítás előtt itasd fel (forró kipufogóalkatrészre csöpögve meggyulladhat), csatlakoztasd a kipufogógáz-elszívót, majd indítsd a motort, és ellenőrizd, hogy az alapjárat egyenletes-e, és nincs-e szivárgás.
9. Töröld le a kiömlött gázolajat, és a hulladékot a veszélyeshulladék-gyűjtőbe helyezd.
10. Dokumentáld a cserét a munkalapon vagy a szervizkönyvben.



20.3. ábra. A dízel finomszűrő vízleválasztóval (metszet), valamint a csere és a légtelenítés lépései képsorban (sematikus; a kialakítás és a nyomaték gyártói adat)

A metszeten a szűrőbetét (1), a víztér (2) a vízleeresztő csavarral (3) és a vízérzékelővel (4), a fűtőelem (5), a légtelenítő csavar (6) és a kézi tápszivattyú (7) látható. A képsor a 2–8. lépést

követi: leeresztés gyűjtőedénybe, betétcsere új tömítéssel, feltöltés, pumpálás nyitott légtelenítő csavarnál a buborékmentes sugárig, végül zárás, indítás és szivárgásvizsgálat.

20.1.12. Tipikus hibák

1. **Szűrőcsere után a légtelenítés elmulasztása.** A motor nem indul, vagy rövid időre beindul, majd leáll. Helyes: mindig légtelenítsünk, és ellenőrizzük a buborékmentes szállítást.
2. **A szűrőház tömítésének rossz behelyezése.** Beszívott levegő miatt a motor menet közben rángat, terhelésre „elfekszik”. Helyes: mindig új tömítést használjunk, és a házat egyenletesen húzzuk meg.
3. **A vízleválasztó rendszeres kiürítésének elhanyagolása.** A felgyülemlett víz télen jégdugót okoz, és a szivattyú, porlasztó károsodhat. Helyes: minden szervizkor ellenőrizzük és ürítsük.
4. **Elektronikus szabályozású szivattyún a mágnesszelep csatlakozójának hibás visszadugása.** A vezérlő hibakódot tárol, a motor vészüzembe lép. Helyes: a csatlakozókat mindig a gyártói kapcsolási rajz szerint ellenőrizzük.
5. **Nem a járműhöz előírt téli gázolaj használata.** A paraffin kiválik, és a motor leáll; a „nyári gázolaj” télen nem megfelelő. Helyes: az évszaknak megfelelő CFPP-osztályú gázolajat használjunk.

20.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz/hamis: A dízel kisnyomású oldalának feladata, hogy a gázolajat a tartályból a nagynyomású szivattyú bemenetéhez szállítsa. Indokold!
2. Miért kell légteleníteni a dízelszűrő cseréje után?
3. Rajzolj fel szövegesen egy VE elosztós adagoló szállítási ciklusát: mi zárja a beömlőnyílást, és mi nyitja a nyomószelepet?
4. Miben tér el a PDE rendszer a hagyományos soros adagolótól?
5. Milyen tünete van a beszívott levegőnek, és hogyan ellenőrzöd a légtelenítés sikerességét?
6. Számítsd ki: egy 4 hengerű, 4 ütemű dízelmotor 1500 1/min fordulatszámon hengerenként 40 mm³/löket gázolajat kap. Mekkora a percenként befecskendezett térfogat?

20.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mi a különbség a kisnyomású és a nagynyomású oldal között egy hagyományos dízel tüzelőanyag-rendszerben!

2. feladat (A). Sorold fel a kisnyomású oldal fő részeit a tartálytól a szivattyú bemenetéig, és írd mindegyik feladatát!

3. feladat (B). Magyarázd el a VE elosztós adagolóban a befecskendezési kezdet fordulatszámfüggő előretolását! Milyen mechanikai elem állítja a kezdetet, és mi a szerepe a belső nyomásnak?

4. feladat (B). Egy dízelmotor teljesítménye $P_e = 90\,\text{kW}$, fajlagos fogyasztása $b_e = 230\,\text{g/kWh}$, a gázolaj sűrűsége 0,84 kg/l. Számítsd ki a tüzelőanyag-tömegáramot és térfogatáramot teljes terhelésen! (Mértékegységekkel dolgozz!)

5. feladat (C). Hasonlítsd össze a VE elosztós adagoló és a radiáldugattyús forgóelosztós adagoló szabályzását! Milyen előnyöket ad az elektronikus szabályozás a mechanikus centrifugál-szabályozóval szemben?

6. feladat (D). Egy autó dízelmotorja hideg reggelen nehezen indul, alapjáraton remeg, terhelésre fekete füstöt ereszt. A szűrőházban víz van, a csatlakozókon gázolajszivárgás látható. Milyen vizsgálatokat végzel, és mi a valószínű ok, illetve a javítás lépései?

20.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Igaz. A kisnyomású oldal a szűrést, a levegőmentes szállítást és a megfelelő bemeneti nyomást biztosítja a nagynyomású szivattyú számára.
2. A levegő összenyomható, ezért a szivattyú nem tud a porlasztó nyitásához szükséges nyomást felépíteni; a rendszer nem szállít.
3. A dugattyú lökete előtt a töltőnyíláson beáramlik a gázolaj. A dugattyú felfelé mozdul, a töltőnyílást a dugattyú él zárja, ekkor a nyomás hirtelen nő, kinyitja a nyomószelepet, és a szállítás megkezdődik. A szállítás akkor ér véget, amikor a szabályzóél eléri a lefúvónyílást, a nyomás megszűnik, és a nyomószelep zár.
4. A PDE rendszerben a szivattyúelem és a porlasztó egy egységben van, nincs hosszú nyomócső, és a befecskendezést mágnesszelep vezérli. A hagyományos soros adagolónál a szivattyú és a porlasztó külön van, csővel, és a szállítást ferde élű dugattyú szabályozza mechanikusan.
5. A beszívott levegő tünete a nehéz indítás, egyenetlen alapjárat és teljesítményvesztés. A légtelenítés sikerességét a légtelenítő nyíláson kinyomott gázolaj buborékmentessége jelzi.
6. A befecskendezések száma percenként: $4 \cdot 1500/2 = 3000$. A térfogat: $3000 \cdot 40 = 120\,000\,\mathrm{mm}^3/\mathrm{min} = 0{,}12\,\mathrm{l/min}$.

1. feladat. A kisnyomású oldal szűri és szállítja a gázolajat a tartályból a nagynyomású szivattyúhoz, 0,3–5 bar nyomáson. A nagynyomású oldal a befecskendezéshez szükséges nyomást állítja elő, hagyományos rendszerekben (soros és VE adagoló) kb. 300–1000 bar (tájékoztató, ellenőrizendő: gyártói adat), és a porlasztón át az égéstérbe juttatja a tüzelőanyagot.

2. feladat. Tartály (tárolás, szellőztetés), előszűrő/vízleválasztó (durva szennyeződés és víz leválasztása), tápszivattyú (szállítás és kisnyomás fenntartása), finomszűrő (finom szennyeződések kiszűrése), adagolószivattyú kisnyomású belső része (belső kenés, hűtés, nagynyomású tér feltöltése).

3. feladat. A VE szivattyúban a görgős gyűrű elfordításával a bütykök és görgők érintkezési pontja eltolódik, ezáltal a szállítási löket kezdete korábbra vagy későbbre kerül. A belső szivattyú nyomása fordulatszámmal nő, ezért a hidraulikus állítódugattyú a gyűrűt nagyobb fordulatszámon előretolja. Ez javítja a gyújtási késedelem utáni égést és csökkenti a füstöt.

4. feladat. Adott: $P_e = 90\,\mathrm{kW}$, $b_e = 230\,\mathrm{g/kWh}$, $\rho = 0{,}84\,\mathrm{kg/l}$. Tömegáram:

$$\dot{m}_t = 90 \cdot 230 = 20\,700\,\mathrm{g/h} = 20{,}7\,\mathrm{kg/h}.$$

Térfogatáram:

$$\dot{V}_t = \frac{20{,}7}{0{,}84} \approx 24{,}6\,\mathrm{l/h}.$$

Ellenőrzés: a nagyságrend megfelel egy 90 kW-os dízelmotor teljes terhelésű fogyasztásának.

5. feladat. A VE mechanikus szabályzója centrifugálgolyókkal és rugókkal csak alapjáratot és végfordulatszámot tart, illetve a töltőnyomás-függő LDA az adagolást korlátozza. A radiáldugattyús forgóelosztós adagoló elektronikus szabályozással, szenzorjelek alapján pontosan, jelleggörbék szerint szabályozza a szállítási mennyiséget és a befecskendezési kezdetet. Ez lehetővé teszi a hidegindítási füst csökkentését, a füsthatárolást, a pontos leszabályozást, a diagnosztikát és a kompatibilitást a motorvezérléssel.

6. feladat. A nehéz hidegindítás és a remegés a kisnyomású oldal hibáira (víz, levegő) utal; a fekete füst ettől független második hibát jelez: levegőhiányt vagy rossz porlasztást. Vizsgálati sor: vízleválasztó ürítése, a csatlakozók meghúzása, a szűrőház tömítésének ellenőrzése, légtelenítés; a füst okához a levegőszűrő, a töltőnyomás, a porlasztók nyitási nyomása és porlasztásképe porlasztóvizsgálón, valamint a befecskendezés kezdete; majd üzempróba (elszívással). Javítás: szűrőcsere, tömítések cseréje, légtelenítés, a csatlakozók tömítettségének ellenőrzése; szükség esetén a porlasztó vizsgálata.

20.1.16. Rövid összefoglaló

A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala a tartályból a szűrőn és vízleválasztón át a tápszivattyúval juttatja a tiszta, levegőmentes gázolajat a nagynyomású szivattyú bemenetére. A kisnyomású oldal tipikus hibái a beszívott levegő, az eltömődött szűrő, a víz a szűrőházban és a hidegben kiváló paraffin. A hagyományos soros adagoló hengerenkénti dugattyúelemekkel dolgozik; a szállított mennyiséget ferde adagolóél és a dugattyú elforgatása szabályozza. A Bosch VE elosztós adagoló egyetlen axiáldugattyúval szállítja és osztja el a tüzelőanyagot; a befecskendezési kezdetet fordulatszámfüggő hidraulikus gyűrűállítás, az adagolást mechanikus centrifugálszabályozó és töltőnyomás-függő LDA szabályozza. A radiáldugattyús forgóelosztós adagoló, a PDE és a PLD elektronikus szabályozást használ a pontosabb, alacsonyabb károsanyag-kibocsátású működés érdekében.

Továbbvitt eredmény. A kisnyomású oldal felépítését és a hagyományos dízeladagolás alapelveit a Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés alfejezetben használjuk fel, ahol a nagynyomású szivattyú és az injektor vezérlése átveszi a hagyományos adagoló szerepét. A hidraulikus és elektronikus szabályozási elvek a Gépkezelő általános ismeretei alfejezetben is visszatérnek.

20.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és műhelykézikönyvek (pl. Bosch dízelbefecskendezési dokumentációk); motortechnikai és üzemanyagrendszer szakkönyvek; az MSZT szabványai (pl. EN 590 gázolajszabvány); a gyártói diagnosztikai adatbázisok.

Ellenőrizendő állítások listája: a kisnyomású nyomásértékek (0,3–0,5 bar, illetve 3–5 bar egyes rendszerekben); a tápszivattyú szállítási tartománya 60–100 l/h; a porlasztó nyitási nyomása 150–250 bar; a befecskendezési nyomások (soros és VE adagoló kb. 300–1000 bar, radiáldugattyús elosztós adagoló kb. 1500–1800 bar, PDE kb. 2000 bar-ig); a VE szivattyú belső felépítésére és szabályozási görbéire vonatkozó pontos értékek; az EN 590 szerinti CFPP osztályok és határértékek; minden szerelési és beállítási nyomaték, hézag és légtelenítési eljárás.

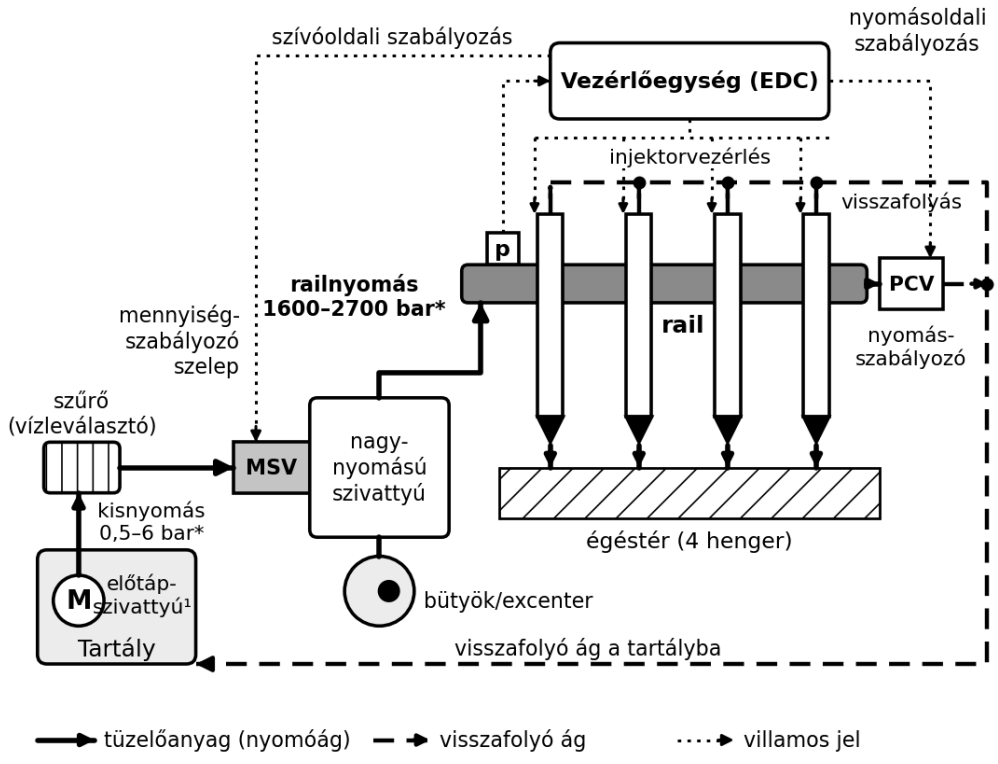
20.2. Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés

20.2.1. Miért kell ezt megtanulnod a műhelyben?

Egy modern dízel autó ügyfele azzal érkezik, hogy a motorja nehezen indul, hidegen hangosan kopog, és a műszerfalon világít a motorellenőrző lámpa. A rendszertesztert csatlakoztatod, és azt látod: a rail-nyomás forgatás közben alig éri el a 150 bar értéket, miközben a vezérlőegység 300 bar fölötti nyomást vár (ellenőrizendő: gyártói érték). Ez a kép azt mondja, hogy a **közös nyomásterű, más néven common rail** befecskendező rendszerben a nyomás nem épül fel. Ha ezt félrediagnosztizálod, könnyen cserélhetsz drága alkatrészt úgy, hogy a hiba valójában egy eldugult üzemanyagszűrő, egy levegős kisnyomású kör vagy éppen egy belső szivárgásos injektor.

20.2.2. Szemléletes kép: a rendszer, mint közös nagynyomású vízhálózat

Képzeld el a common rail rendszert úgy, mint egy ház magasnyomású locsolóhálózatát. A szivattyú állandó, magas nyomást tart egy közös csőben, és minden locsolófej elektromos szeleppel pontosan akkor és annyi ideig nyit, amikor azt a vezérlő mondja. A common rail rendszer lényege éppen ez: a nyomás előállítása és az egyes hengerekbe történő adagolás **elválik egymástól**. A nagynyomású szivattyú a nyomást, a hengerenkénti injektorok szelepe pedig a befecskendezés pillanatát és hosszát szabja meg.



** tanulási érték, ellenőrizendő; ¹ elektromos tartályszivattyú vagy a nagynyomású szivattyúba épített*

20.4. ábra. A common rail rendszer hidraulikus vázlata: folytonos vonal a nyomóág, szaggatott a visszafolyó ág az injektorokból és a nyomásszabályozóból, pontozott a vezérlőegység jelútja (szemléltető; a nyomásértékek ellenőrizendők)

A fenti vázlat a fő hidraulikus és elektronikus egységek kapcsolatát mutatja: a nyilak a tüzelőanyag útját, a pontozott vonalak a vezérlőegység jeleit jelzik. A vezérlőegység a szenzorok jeleit dolgozza fel, és a kisnyomású oldal mennyiségszabályozójával, a nagynyomású oldal szabályzószelepével, valamint az injektorokkal avatkozik be. A tüzelőanyag útja nagyjából így halad: tartály → előtápszivattyú → szűrő → nagynyomású szivattyú → rail → injektorok, a veszteségáramok pedig a visszafolyó vezetékeken keresztül térnek vissza a tartályba.

20.2.3. Definíciók és alapvető összefüggések

Definíció. A **közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendező rendszer** olyan elektronikus dízelbefecskendező rendszer, amelyben egyetlen közös nagynyomású elosztócsőben, a **railben** az elektronikus vezérlőegység üzemi ponttól függő, nagy nyomást tart fenn, és az egyes hengerekbe a befecskendezést a hengerenkénti, villamos vezérlésű **injektorok** nyitási idejével adagolja.

Összefüggés. A hidraulikai teljesítmény egy nagynyomású szivattyúnál a térfogatáram és a nyomáskülönbség szorzata:

$$P_{\mathrm{h}} = Q \cdot \Delta p.$$

A common rail szivattyú hajtási teljesítményigénye ennél nagyobb a mechanikai és hidraulikus veszteségek miatt:

$$P_{\mathrm{mech}} = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta}.$$

Szabály. A common rail rendszert jellemzően az elektronikus dízel-szabályozó (EDC, *Electronic Diesel Control*) vezérli, amely a vezető terhelési igényéből, a fordulatszámból, a hőmérsékletekből, a légtömeg- és lambda-jelekből, valamint a rail-nyomásból számítja ki a szükséges befecskendezési nyomást, adagot és a befecskendezési időpontokat.

20.2.4. Felépítés és működés

20.2.4.1. A kisnyomású oldal

A kisnyomású oldal feladata, hogy tiszta, levegőmentes gázolajat juttasson a nagynyomású szivattyúhoz.

Az egységek:

- **Üzemanyagtartály** tartalékkal, szellőzéssel és szűrőkosárral.
- **Előtápszivattyú**, amely gyakran mechanikus fogaskerék-szivattyú a nagynyomású szivattyúban, vagy elektromos tartályszivattyú.
- **Üzemanyagszűrő** vízleválasztóval, adott esetben fűtéssel és vízérzékelővel.
- **Mennyiségszabályozó szelep** (a műhelynyelvben gyakran SCV/MPROP), amely azt szabályozza, hogy a nagynyomású szivattyú mennyi üzemanyagot szívhat.

A kisnyomású kör jellemző nyomása általában 0,5–6 bar között van, típus függvényében (ellenőrizendő: gyártói adat). A levegő vagy a víz ebben a körben káros, mert a nagynyomású szivattyú kenését és hűtését is az üzemanyag végzi.

20.2.4.2. A nagynyomású szivattyú

A common rail **nagynyomású szivattyú** nem hengerenként adagol, mint a hagyományos soros vagy elosztós adagoló. Feladata csupán az, hogy a railbe állandó nagynyomást állítson elő. A szivattyú lehet egy-, két- vagy többdugattyús radiáldugattyús kialakítású. A dugattyúkat bütyök vagy excentertárcsa mozgatja, és a kimenőnyílások a közös railbe csatlakoznak.

A beépített mennyiségszabályozó szeleppel a szivattyú szívóoldali térfogatáramát úgy csökkentik, hogy a motor éppen csak a szükséges üzemanyagot nyomja a railbe. Ez az úgynevezett **szívóoldali szabályozás**, amely energiát takarít meg és csökkenti a visszafolyási hőveszteséget.

Megjegyzés. A common rail szivattyú sérülése gyakran fémforgácsot juttat a railbe és az injektorokba, ezért a szivattyú cseréjekor a teljes nagynyomású rendszert tisztítani vagy a gyártó szerinti alkatrészeket kell cserélni.

20.2.4.3. A rail, a nyomásérzékelő és a nyomásszabályozás

A **rail** acél elosztócső, amely nyomástárolóként tartja az üzemanyagot, csillapítja a szivattyú és az injektorok okozta nyomáslüktetést, és egyenletesen látja el az injektorokat. A railen van a **nyomásérzékelő**, amely a pillanatnyi nyomást villamos jellé alakítja.

A nyomás érzékelése általában piezo-rezisztív elemű érzékelővel történik. A jellalak tipikusan 0,5 V közelében kezdődik 0 bar nyomás mellett, és nagyjából 4,5 V közelében éri el a maximális mérési tartományt (ellenőrizendő: gyártói jelleggörbe). A vezérlőegység ezt a jelet hasonlítja össze a kívánt nyomással, és szabályozó beavatkozással tartja a rendszert a kívánt ponton.

A common rail rendszerekben kétféle nyomásszabályozási hely létezik.

1. **Szívóoldali mennyiségszabályozás.** A mennyiségszabályozó szelep a nagynyomású szivattyúhoz kerülő üzemanyag mennyiségét fojtja. Ha kevesebb üzemanyagot enged be, akkor a szivattyú kevesebbet pumpál, a rail-nyomás csökken. Ez a gazdaságos, hőtermelést elkerülő alapbeállítás.
2. **Nyomásoldali szabályozás.** A railen elhelyezett **nyomásszabályozó szelep** a felesleges üzemanyagot a visszafolyó körbe engedi, ha a nyomás túl nagy. Ez gyors beavatkozást tesz lehetővé, például alapjáratra váltás vagy hirtelen terhelés-visszavétel esetén. Modern rendszerekben ez a szelep gyakran biztonsági lefúvó funkciót is ellát.

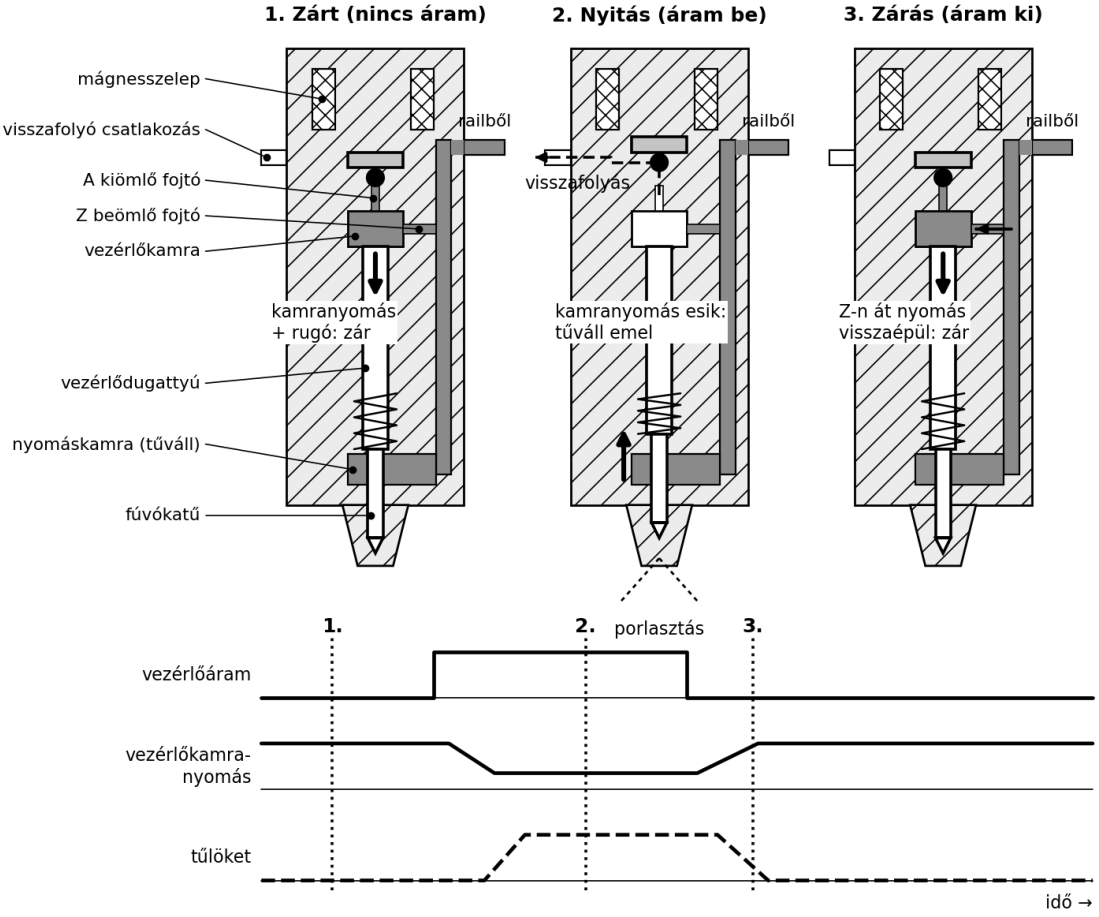
Összefüggés. A gyakorlatban a két szabályozást együtt használják: a mennyiségszabályozó szelep az alap nyomásszintet tartja, a nyomásszabályozó szelep pedig a gyors, finom korrekciót és a túlfúvás elleni védelmet végzi.

20.2.4.4. Az injektorok

A common rail injektor egy elektromosan vezérelt, közvetlen befecskendező fúvóka. A fúvóka nyitását és zárását a vezérlőtér nyomásesése, valamint a fúvókatűre ható nyomás eredője szabályozza.

20.2.4.4.1. Mágnesszelepes injektor A mágnesszelepes injektorban az üzemanyag egy beömlő fojtáson keresztül a tű feletti **vezérlőkamrába** jut, ahonnan egy kimenő fojtón át távozhat a visszafolyó körbe. Nyugalmi állapotban a mágnesszelep zár, a vezérlőkamra nyomása azonos a rail nyomásával, és a tűt a rugóerő is zárva tartja.

Amikor az EDC a szelepet nyitja, a kimenő fojtás szabaddá válik, a vezérlőkamra nyomása leesik. A tű csúcsára alulról ható rail-nyomás felülkerekedik, a tű megemelkedik, és a fúvókafuratokon keresztül porlaszt az üzemanyag. Amikor a vezérlőegység lezárja a szelepet, a vezérlőkamra nyomása újra felépül, és a tű gyorsan lezár.



20.5. ábra. A mágnesszelepes common rail injektor zárt, nyitó és záró állapotban, alul a vezérlőáram, a vezérlőkamra-nyomás és a tűlöket minőségi idősávja (sematikus; sötét = railnyomás)

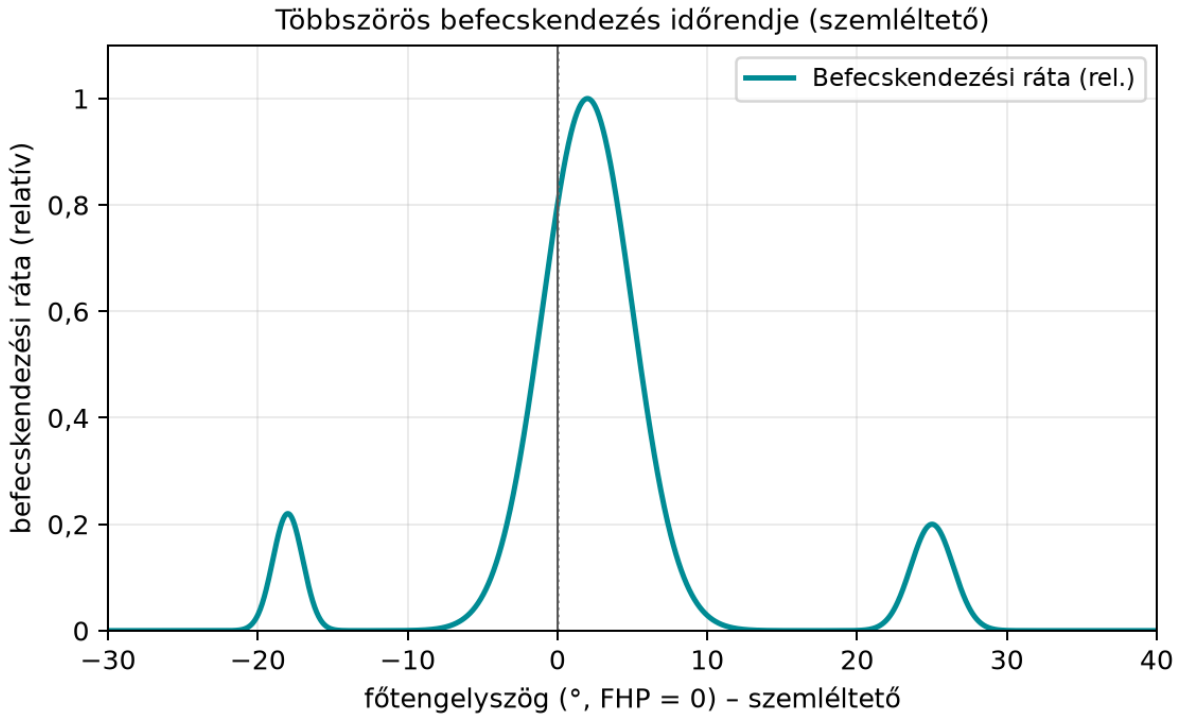
Az ábrán látszik a „paradoxon” feloldása: zárt állapotban a vezérlőkamrában is railnyomás van, és mivel a vezérlődugattyú felülete nagyobb, mint a tűváll felülete, a lefelé ható erő (a rugóval együtt) zárva tartja a tűt. Nyitáskor a kiömlő fojtón (A) több távozik, mint amennyi a szűkebb beömlő fojtón (Z) pótlódik, ezért a kamra nyomása leesik, és a tűvállra ható railnyomás felemeli a tűt; a kamrából távozó tüzelőanyag a visszafolyó ágba jut.

20.2.4.4.2. Piezo inline injektor A **piezo inline injektor** alapelve, hogy a vezérlőkamra helyett vagy mellett egy piezo-kerámia elem közvetlenül, nagyon kis mozgási tömeggel mozgatja a hidraulikus kapcsolóelemet vagy a fúvókatűt. A piezo elem a feszültség hatására rendkívül gyorsan, néhány mikrométert rövidül vagy nyúlik.

Példa. Míg egy mágnesszelepes injektornál a villamos jelet a szelep induktív tekercse, majd a hidraulikus nyomásváltozás is késlelteti, a piezo inline injektor nyitása lényegesen gyorsabb lehet. Ezért a piezo injektor több, egymáshoz nagyon közeli befecskendezést tud megvalósítani.

20.2.5. Többszörös befecskendezés

A common rail rendszer nagy előnye az, hogy a befecskendezési cikluson belül több kisebb adagot is ki tud adni.



20.6. ábra. Többszörös befecskendezés időrendje (szemléltető) - Szemléltető relatív befecskendezési ráta; a FHP (0°) a függőleges vonal. A görbék alatti terület aránya: előbefecskendezés ≈ 7 %, utóbefecskendezés ≈ 9 % a fő adaghoz képest. A valós jelalak, nyomás és tűlöket gyártói diagnosztikai adat (ellenőrizendő).

A fenti szemléltető diagram a felső holtpont (FHP) körül három csúcsot mutat: a kis **előbefecskendezést**, a nagy **főbefecskendezést** és a kisebb **utóbefecskendezést**.

- **Előbefecskendezés.** Kis adag, jellemzően 1–3 mg a fő befecskendezés előtt. Feladata, hogy meggyújtsa az égéstérben a keveréket vagy előhangolja az égést, ezzel csökkenti a gyulladási késedelmet, a kopogó égési zajt és a nitrogén-oxid-kibocsátást.
- **Főbefecskendezés.** A nyomatékot adó fő adag. A nyomás és az időtartam az üzemi terhelés szerint változik.
- **Utóbefecskendezés.** A kipufogógáz-hőmérsékletet emelheti a részecskeszűrő regenerálásához, vagy a korom utánégését segítheti.

A mágnesszelepes injektor esetében a befecskendezések közötti minimális szünet nagyobb, mint a gyorsabb piezo injektornál, ezért a piezo rendszer finomabb, akár 5–7 befecskendezési eseményt is képes egy ciklusba illeszteni (ellenőrizendő: gyártói rendszer jellemzője).

20.2.6. A visszafolyás

Az injektorokból folyamatosan kis mennyiségű üzemanyag távozik a visszafolyó ágon. Ez részben a fúvókatű vezetésének kenését szolgálja, részben a vezérlőkamra kiürítéséből származik. A gyártó megadja a normál visszafolyás mértékét. Ha egy injektor visszafolyása hirtelen megnő, az általában belső tömítetlenségre, kopott ülésekre vagy sérült vezérlőelemre utal, és a rail-nyomás felépítését is akadályozza.

Továbbvitt eredmény. A common rail rendszer nyomásszabályozása, a mágnesszelepes és piezo injektor működése, valamint a többszörös befecskendezés emissziós hatása alapvető a Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő, a Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC, valamint a(z) A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása alfejezetekben.

20.2.7. Kidolgozott példák

Számítás. Mennyi hidraulikus teljesítmény szükséges a nagynyomású szivattyúnál, ha a rendszer 1500 bar nyomáson percenként 0,8 liter gázolajat szállít, és a hajtási hatásfok 85%?

Adott:

$$Q = 0{,}8\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}} = \frac{0{,}8}{60 \cdot 1000}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 1{,}33 \cdot 10^{-5}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}},$$

$$\Delta p = 1500\,\mathrm{bar} = 1500 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa} = 1{,}5 \cdot 10^8\,\mathrm{Pa}.$$

Keresett: P_h és P_mech.

A hidraulikus teljesítmény:

$$P_\mathrm{h} = Q \cdot \Delta p = 1{,}33 \cdot 10^{-5}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} \cdot 1{,}5 \cdot 10^8\,\mathrm{Pa} \approx 2000\,\mathrm{W} = 2{,}0\,\mathrm{kW}.$$

A szivattyú hajtásához szükséges tengelyteljesítmény 85% hatásfokkal:

$$P_\mathrm{mech} = \frac{P_\mathrm{h}}{\eta} = \frac{2{,}0\,\mathrm{kW}}{0{,}85} \approx 2{,}35\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés. Az eredmény nagyságrendje reális: egy középkategóriás személygépkocsi common rail szivattyújának hajtási igénye néhány kW nagyságú, mert a szivattyú csak a szükséges üzemanyag-mennyiséget szállítja.

Számítás. Egy négyhengeres, négyütemű dízelmotor 1800 1/min fordulatszámon dolgozik, a befecskendezési adag hengerenként és ciklusonként 22 mg. Mennyi a becsült óránkénti fogyasztás kilogrammban és literben?

Keresett: B kg/h és B_V l/h.

Négyütemű motornál egy henger két fordulatonként fecskendezik, ezért a percenkénti befecskendezések száma:

$$n_\mathrm{bef} = \frac{i \cdot n}{2} = \frac{4 \cdot 1800}{2} = 3600\,\frac{\mathrm{bef}}{\mathrm{min}}.$$

A percenkénti tömegáram:

$$\dot{m} = n_{\text{bef}} \cdot m_{\text{adag}} = 3600 \cdot 0{,}022\,\text{g} = 79{,}2\,\frac{\text{g}}{\text{min}} = 4{,}75\,\frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Ha a gázolaj sűrűsége $840\,\text{kg/m}^3$, akkor:

$$B_{\text{V}} = \frac{4{,}75\,\frac{\text{kg}}{\text{h}}}{840\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 0{,}00565\,\frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 5{,}65\,\frac{\text{l}}{\text{h}}.$$

Ellenőrzés. Ez egy 2 literes dízelmotor közepes részterhelésének felel meg (kb. 23 kW, ha a fajlagos fogyasztás $b_e \approx 210$ g/kWh); teljes terhelésen az adag kb. kétszeres (ellenőrizendő: gyártói adat).

20.2.8. Minőségellenőrzés

A common rail rendszer ellenőrzésekor a következőket kell végigjárni.

1. **Vizuális ellenőrzés:** szivárgás, repedés, sérült cső, égésnyom a visszafolyó csöveken.
2. **Diagnosztikai ellenőrzés:** kiolvasni a hibakódokat, rögzíteni a rail-nyomás, feszültség, hűtővíz-hőmérséklet, légtömeg és injektor-mennyiségkiegyenlítés értékeit.
3. **Nyomás ellenőrzése:** a diagnosztikai műszer élő adatában megnézni, hogy a rail nyomás eléri-e a gyártói alapjárat-teljes-terhelés jelleggörbét (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. **Visszafolyás-mérés:** mérőedényekkel hengerenként ellenőrizni az injektorok visszafolyását, és összehasonlítani a gyártói határértékkel.
5. **Kisnyomású oldal ellenőrzése:** szűrő nyomásesése, levegőbuborék-mentesség, vízjelenlét.

Az értékek mindig gyártói adatok, a műszeres mérés nem megkerülhető.

20.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Diagnosztikai eset. Egy 2,0 literes common rail dízelmotor nem indul, csak hosszú indítózás után. A hibakód: alacsony rail-nyomás. A diagnosztikai műszer alapján forgatás közben a rail-nyomás 140 bar, a kívánt minimum 250 bar (ellenőrizendő: gyártói érték). A kisnyomású oldal nyomása 3 bar körül van, a szűrő viszont sötét, elöregedett.

A hibakereső lánc:

1. **Tünet:** hosszú indítási idő, alacsony rail-nyomás forgatás közben.
2. **Gyanú:** kisnyomású oldal levegőssége, eldugult szűrő, kopott nagynyomású szivattyú, injektor visszafolyás megnövekedése.
3. **Mérés:** kisnyomású nyomás ellenőrzése; injektor visszafolyás mérése; szűrő vizsgálata; szivárgás ellenőrzése.
4. **Ok:** a visszafolyás-mérésnél a 3. henger injektorának visszafolyása négyszerese a többi injektorénak. A belső tömítetlenség miatt a szivattyú képtelen felépíteni a szükséges rail-nyomást.
5. **Javítás:** a hibás injektor cseréje a gyártói eljárás szerint, új tömítések és a vezérlőegységben az új injektor-kód/mennyiségkiegyenlítés tárolása (ellenőrizendő: típus szerinti adaptáció).
6. **Ellenőrzés:** indítási próba, rail-nyomás követése, visszafolyás újra mérése, hibakódok törlése és próbaút.

7. **Megelőzés:** az üzemanyagszűrő gyártói intervallum szerinti cseréje, megfelelő minőségű gázolaj használata.

A tanulság: a nagynyomású szivattyút nem cseréljük addig, amíg a visszafolyást és a kisnyomású kört nem ellenőriztük.

20.2.10. Gyakorlati útmutató: injektor visszafolyás-mérése

Cél: az injektorok belső szivárgásának összehasonlító vizsgálata.

Jármű- és adatazonosítás: rendszám, alvázszám, motorkód, gyártó típusa, alkalmazott befecskendező rendszer (pl. Bosch CP3/CR, Delphi, Denso – ellenőrizendő).

Szükséges szerszámok: visszafolyásmérő készlet, mérőedények, kipufogógáz-elszívó, felitató anyag, motorburkolat-kiszedő, védőszemüveg, vegyszerálló kesztyű, tiszta rongy, gyártói diagnosztikai műszer.

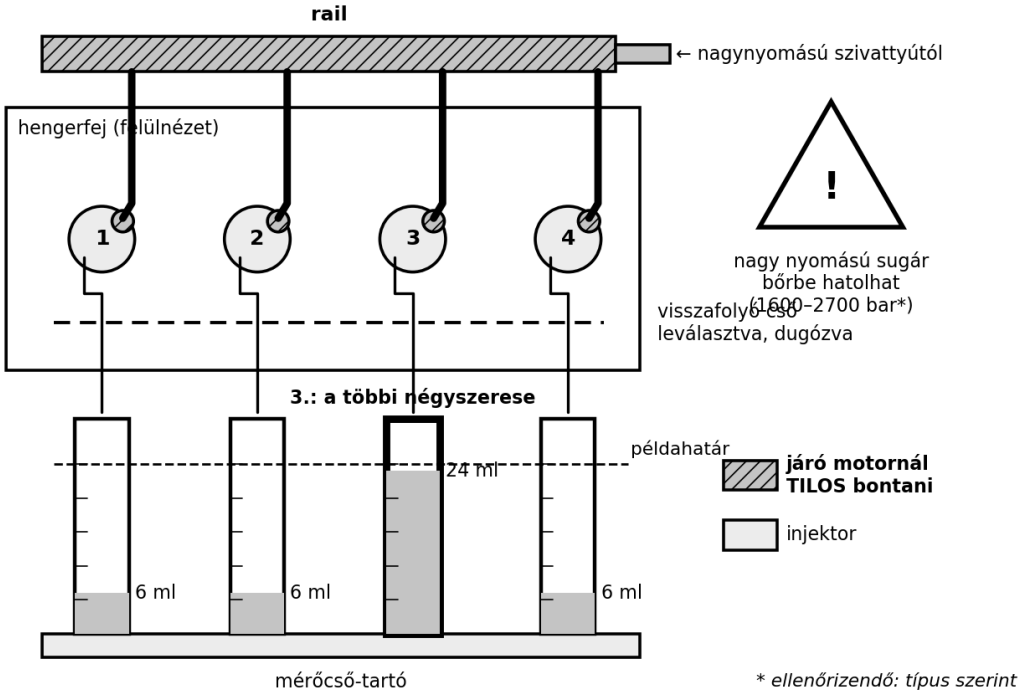
Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. A common rail rendszer nyomása akár 1600–2700 bar is lehet (ellenőrizendő: típus szerint). A nagy nyomás alatt kilépő üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos, gyakran amputációval járó sérülést okoz. A nagynyomású rendszert soha nem bontjuk a gyártói nyomásmentesítés nélkül, és a sugár útjába nem nyúlunk.

Tilos. A befecskendezés alatt álló motornál a nagynyomású csatlakozót, injektort vagy railcsövet lazítani. A hibás rendszeren a nyomásmentesítés előtt elektromos csatlakozót sem húzunk ki, mert a maradéknyomás váratlan kiáramlást okozhat.

Lépések:

1. Gyújtás kikapcsolása, kulcs eltávolítása; a motor legyen hideg.
2. Motorburkolat, hangszigetelés eltávolítása.
3. A visszafolyó csövek leválasztása az injektorokról (ez a kisnyomású oldal; a nagynyomású rendszert nem bontjuk), a mérőedények csatlakoztatása és rögzítése, hogy a járó motor fölött ne mozdulhassanak el.
4. Kipufogógáz-elszívó csatlakoztatása (a CO színtelen, szagtalan, halálos gáz); laza ruhát, kezet tartsunk távol a szíjhajtástól és a hűtőventilátortól.
5. A gyártó szerinti vizsgálati mód végrehajtása (indítómotorral forgatás vagy rövid alapjárat, a gyártó által megadott ideig; ellenőrizendő), a hosszú járatást kerüljük.
6. Motor le, leolvasás és összehasonlítás a gyártói határértékkel. Példa: egy injektorból 60 s alatt legfeljebb 20–30 ml visszafolyás (ellenőrizendő: gyártói vizsgálati mód és határérték; a hengerek közti arány is döntő).
7. A készletek és a mérőedények szakszerű eltávolítása, a visszafolyó csövek visszacsatlakoztatása, szükség esetén új tömítések; a kifolyt gázolaj felitatása.
8. Indítási próba, hibakódok kiolvasása és szükség szerint törlése, rendszerellenőrzés.
9. Az akkumulátor lekötése és a nyomásmentesítés csak injektorcseréhez vagy a nagynyomású rendszer bontásához kell, ott külön, a gyártói utasítás szerinti munkalap szerint.
10. Dokumentálás: munkalap, mértértékek, elvégzett adaptáció, megjegyzések.



20.7. ábra. Visszafolyásmérés összeállítása: mérőcső minden injektoron, a rail, a nagynyomású csövek és az injektorcsatlakozók sraffozva – járó motornál tilos bontani (sematikus; a ml-értékek szemléltetők)

A rajzon a visszafolyó csöveket leválasztották, és minden injektorhoz számozott mérőcső tartozik; a 3. injektor visszafolyása a többi négyszerese, ezért kiugró, akkor is, ha a példahatár alatt marad. A sraffozott elemeket (rail, nagynyomású csövek, injektorcsatlakozók) járó motornál tilos bontani. A HTML-változatban a mért értékek és a gyártói határ megadható; a határ feletti és a kiugró injektor vastag kerettel jelenik meg.

Környezetvédelem. A gázolajat és a szennyezett törlőrongyot veszélyes hulladékként kell gyűjteni és kezelni. A kifolyt üzemanyagot nem szabad csatornába vagy talajra engedni.

20.2.11. Tipikus hibák

Hiba. A tanuló azt gondolja, hogy a common rail injektor a gázpedálállás alapján mechanikusan adagol, mint egy hagyományos adagoló. **Helyes gyakorlat:** a gázpedálállás csak egy bemenő jel az EDC-nek; a nyomást és az adagot a vezérlőegység határozza meg.

Hiba. A railen lévő nyomást a fúvóka nyitónyomásával keverik össze. **Helyes gyakorlat:** a rail-nyomás a közös elosztócső üzemi nyomása, a fúvóka nyitását az injektor szelepe vezérli; a hagyományos nyitónyomás fogalma itt más értelmet kap.

Hiba. A nagynyomású rendszeren a gyártói nyomásmentesítés nélkül csavart ki egy csatlakozót, mert a motor leállítása után „úgyis megszűnt a nyomás”. **Helyes gyakorlat:** mindig a gyártó szerinti nyomásmentesítés, védőkesztyű, arcvédő és a sugár útjának elkerülése.

Hiba. Az alacsony rail-nyomás miatt azonnal nagynyomású szivattyút cserél, miközben egy injektor visszafolyása vagy a kisnyomású oldal ellenőrzése nem történt meg. **Helyes gyakorlat:** először a kisnyomású kör, az üzemanyagszűrő és az injektor visszafolyás mérése.

20.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A common rail rendszerben a nagynyomású szivattyú a hengerenkénti adagot is pontosan adagolja.
2. Mi a szerepe a szívóoldali mennyiségszabályozónak?
3. Mi történik a mágnesszelepes injektorban a vezérlőkamra nyomásesésekor?
4. Miért csökkenti az előbefecskendezés az égési zajt?
5. Mi a legfontosabb biztonsági szabály a nagynyomású rendszer bontása előtt?

20.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a common rail rendszer fő egységeit, és nevezd meg a két nyomásszabályozási beavatkozási helyet.

2. feladat (A). Egy nagynyomású szivattyú 800 ml/min gázolajat szállít 1200 bar nyomásra. Mekkora a hidraulikus teljesítmény? A hatásfok 0,8, mekkora a hajtási teljesítmény?

3. feladat (B). Egy hathengeres, négyütemű common rail motornál 2000 1/min fordulatszámon a befecskendezett mennyiség 35 mg ciklusonként. Becsüld meg az óránkénti fogyasztást kg/h-ban és l/h-ban, ha a gázolaj sűrűsége 830 kg/m³!

4. feladat (B). Rajzolj fel vagy írj le egy egyszerű common rail hidraulikus vázlatot: tartály, előtápszivattyú, szűrő, mennyiségszabályozó, nagynyomású szivattyú, rail, nyomásérzékelő, nyomásszabályozó, négy injektor. Jelöld a nyomásoldali és a visszafolyó ágat!

5. feladat (C). Magyarázd el, miért lehet a piezo inline injektorral finomabb többszörös befecskendezést megvalósítani, mint a hagyományos mágnesszelepes injektorral. Milyen emissziós előnye van az elő- és utóbefecskendezésnek?

6. feladat (D). Egy common rail dízelautó nem indul. A diagnosztikai műszer forgatás közben 110 bar rail-nyomást mutat, a kívánt érték 280 bar (ellenőrizendő). Sorold fel a lehetséges okokat, és írd le, milyen sorrendben mérnél!

20.2.14. Megoldások

20.2.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A common rail nagynyomású szivattyú a nyomást állítja elő, a hengerenkénti adagolást az injektorok szelepei végzik.
2. A mennyiségszabályozó a nagynyomású szivattyúhoz kerülő üzemanyag mennyiségét fojtja, ezzel a rail-nyomást szívóoldalról szabályozza.
3. A vezérlőkamra nyomásesésekor a fúvókatűre alulról ható nyomóerő felülkerekedik, a tű megemelkedik, és megkezdődik a befecskendezés.
4. Az előbefecskendezés lerövidíti a gyulladási késedelmet, ezért a fő adag nem robban be egyszerre, így kisebb az égési nyomáscsúcs és a zaj.
5. A gyártó szerinti nyomásmentesítés, védőeszköz, a sugár útjának kerülve; a nagynyomású csövet nem bontjuk feszültség alatt/maradéknyomás mellett.

20.2.14.2. Feladatok – megoldások

1. feladat. Fő egységek: kisnyomású kör (tartály, előtápszivattyú, szűrő, mennyiségszabályozó), nagynyomású szivattyú, rail, nyomásérzékelő, nyomásszabályozó szelep, injektorok; a szabályozás helye szívóoldali mennyiségszabályozás és nyomásoldali rail-szabályozás.

2. feladat. Adott:

$$Q = 800\,\frac{\mathrm{ml}}{\mathrm{min}} = 0{,}8\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}} = \frac{0{,}8}{60\cdot 1000}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 1{,}33\cdot 10^{-5}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}},$$

$$p = 1200\,\mathrm{bar} = 1{,}2\cdot 10^{8}\,\mathrm{Pa}.$$

Hidraulikus teljesítmény:

$$P_{\mathrm{h}} = Q\cdot p = 1{,}33\cdot 10^{-5}\cdot 1{,}2\cdot 10^{8} \approx 1600\,\mathrm{W} = 1{,}6\,\mathrm{kW}.$$

Hajtási teljesítmény:

$$P_{\mathrm{mech}} = \frac{1{,}6}{0{,}8} = 2{,}0\,\mathrm{kW}.$$

3. feladat. Négyütemű hathengeres motor befecskendezései percenként:

$$n_{\mathrm{bef}} = \frac{6\cdot 2000}{2} = 6000\,\frac{\mathrm{bef}}{\mathrm{min}}.$$

Percenkénti tömeg:

$$\dot{m} = 6000\cdot 0{,}035\,\mathrm{g} = 210\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{min}} = 12{,}6\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{h}}.$$

Térfogatáram:

$$B_{\mathrm{V}} = \frac{12{,}6\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{h}}}{830\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}} \approx 0{,}0152\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} = 15{,}2\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{h}}.$$

4. feladat. Az elvi vázlat sorrendben: tartály → előtápszivattyú → szűrő → mennyiségszabályozó → nagynyomású szivattyú → rail (elosztócső) → négy injektor. A railen nyomásérzékelő és nyomásszabályozó van; a visszafolyó ág az injektorból és a nyomásszabályozóból a tartályba vezet. A szívóoldali szabályozás a szivattyú előtt, a nyomásoldali szabályozás a railen történik.

5. feladat. A piezo elem a feszültség hatására nagyon gyorsan, kis tömeggel mozdul el, ezért az injektor nyitási és zárási ideje rövidebb, mint az induktív mágnesszelepnél. Így az elő-, fő- és utóbefecskendezés egymáshoz közelebb kerülhet, az adagok pontosabbak. Az előbefecskendezés csökkenti az égési zajt és a NOx-képződést, az utóbefecskendezés emeli a kipufogógáz-hőmérsékletet a részecskeszűrő regenerálásához és csökkentheti a koromkibocsátást.

6. feladat. Lehetséges okok: levegős vagy eldugult kisnyomású oldal, hibás előtápszivattyú, eltömődött szűrő, ragadt vagy hibás mennyiségszabályozó, kopott nagynyomású szivattyú, megnövekedett injektor-visszafolyás, hibás nyomásérzékelő. Mérési sorrend: először hibakódok és élő adatok ellenőrzése, majd kisnyomású nyomás mérése, szűrő ellenőrzése, levegőmentesség; ezután

injektor visszafolyás mérés; végül nagynyomású szivattyú nyomásteljesítményének vizsgálata a gyártói eljárás szerint.

20.2.15. Rövid összefoglaló

A common rail rendszerben a nagynyomású szivattyú egy közös elosztócsőben, a railben tartja az üzemi nyomást, a hengerenkénti adagolást pedig elektromos vezérlésű injektorok végzik. A nyomást szívóoldali mennyiségszabályozó és nyomásoldali rail-szabályozó állítja be; a railen nyomásérzékelő szolgáltatja a visszacsatoló jelet. A mágnesszelepes injektor vezérlőkamrás nyomáseséssel emeli a fúvókatűt, a piezo inline injektor gyors piezoelemmel finomabb többszörös befecskendezést ér el. Az előbefecskendezés a zajt és a NOx-ot, az utóbefecskendezés a DPF-regenerálást segíti. A rendszert csak a gyártói nyomásmentesítés után szabad bontani; a nagynyomású üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos sérülést okoz. A diagnosztikában a rail-nyomás, a visszafolyás és a kisnyomású oldal ellenőrzése az elsődleges lépés. ∎

20.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípusok: gyártói javítási adatok és diagnosztikai kézikönyvek; a common rail rendszerek működését bemutató szakkönyvi alapok (pl. Bosch-oktatóanyagok); a hatályos kipufogógáz-emissziós és diagnosztikai előírások (EOBD, Euro) – ezeket a könyv emissziós és diagnosztikai alfejezetei részletezik.
- Ellenőrizendő: a konkrét rail-nyomásértékek (alapjárat, teljes terhelés, indításnál), a rendszerek max. nyomása, a visszafolyási határértékek, a nyomásérzékelő pontos jelleggörbéje, a mennyiségszabályozó és nyomásszabályozó jelölése, az injektor-adaptáció lépései, a szűrőcsere-intervallum, a nyomásmentesítés módja és időtartama.
- A gázolaj sűrűsége példaérték, a számítások gyártói adatokkal ellenőrizendők.

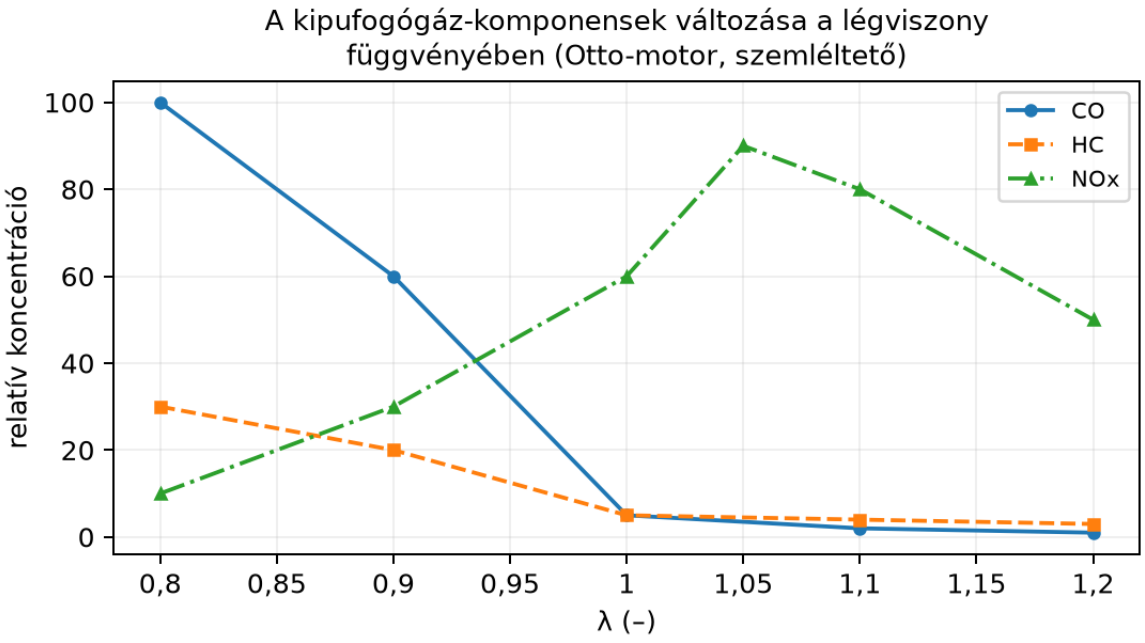
21 Kipufogógáz, utókezelés és környezetvédelem

21.1. A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés

A kipufogógáz összetételének és a károsanyag-képződésnek a megértése nélkül nem tudunk célzottan hibát keresni sem a lambdaszabályozásban, sem az EGR-rendszerben. A műszaki vizsgán megbukó autó gyakran éppen azért bukik meg, mert a szerelő nem tudja, hogy a magas CO miért dús keverékre, a magas NOx miért szegény keverékre vagy hibás EGR-re utal.

21.1.1. Szemléletes kép

Az alábbi diagram azt mutatja, hogyan változik a három fő szabályozott szennyező komponens koncentrációja a légviszony függvényében egy Otto-motor esetén.



21.1. ábra. A kipufogógáz-komponensek változása a légviszony függvényében (Otto-motor, szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor; a valós értékek motoronként és mérési feltételektől függenek.

Az ábra olvasása. Dús keveréken ($\lambda < 1$) a levegőből származó oxigén nem elég a benzin teljes elégetéséhez, ezért a szén-monoxid (CO) és az elégetlen szénhidrogén (HC) koncentrációja magas, az NOx viszont alacsonyabb marad, mert a hőmérséklet ugyan magas, de kevés az oxigén. Szegény keveréken ($\lambda > 1$) éppen fordítva: a CO és a HC lecsökken, az NOx viszont a magas hőmérséklet és a bőséges oxigén miatt megemelkedik, majd nagyon szegény keveréken már a

hőmérséklet csökkenése miatt ismét visszaesik. Ez az összefüggés az alapja annak, hogy miért kell az Otto-motoros utókezeléshez a keveréket $\lambda = 1$ környékén tartani.

21.1.2. Definíciók és összefüggések

Definíció. (Légviszony, λ)
A légviszony a ténylegesen bejuttatott levegő és a tüzelőanyag aránya osztva a sztöchiometrikus égéshez szükséges aránnyal:

$$\lambda = \frac{L_{\text{tényleges}}}{L_{\text{sztöchiometrikus}}}.$$

Benzin esetén a sztöchiometrikus levegő–tüzelőanyag arány körülbelül 14,7 kg levegő per 1 kg benzin; dízelnél ez az érték körülbelül 14,5 kg/kg (a pontos érték a tüzelőanyag összetételétől függ). Ha $\lambda = 1$, akkor a keverék sztöchiometrikus; ha $\lambda < 1$, dús; ha $\lambda > 1$, szegény.

Definíció. (Szabályozott szennyező komponensek)
A közúti járművek motorjaiban keletkező, jogszabályban korlátozott károsanyagok: - **CO (szénmonoxid):** színtelen, szagtalan, mérgező gáz; a levegőnél alig könnyebb. - **HC (elégetlen szénhidrogének):** tüzelőanyag-maradékok és részlegesen oxidált szerves vegyületek; egy részük rákkeltő hatású. - **NOx (nitrogén-oxidok):** főleg NO és NO_2; a NO a levegő oxigénje és nitrogénje közötti reakcióból keletkezik magas hőmérsékleten; savas esőt, nyári szmogot és légúti irritációt okoz. - **PM (részecske, korom):** főleg dízelmotorokban keletkezik; a finom korom a tüdő mélyébe jut, és rákkeltő anyagokat szállíthat.

Összefüggés. (A szennyezők keletkezése)
A CO és a HC a tökéletlen égés termékei: ha az égéstérben lokálisan nincs elég oxigén, vagy a láng a hideg fal közelében kialszik (faloltás), akkor a tüzelőanyag egy része nem ég el teljesen. A NOx ezzel szemben a termikus NO-mechanizmus (Zeldovich-mechanizmus) szerint képződik: minél magasabb az égési csúcshőmérséklet, minél több az oxigén és minél hosszabb a tartózkodási idő, annál több NO keletkezik. A dízelmotorban a befecskendezési sugarak körüli oxigénhiányos zónákban emellett részecske (korom) is képződik.

Továbbvitt eredmény. A komponensek és a légviszony fenti összefüggését használjuk az Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás alfejezetben, ahol a katalizátor csak $\lambda = 1$ környékén képes egyszerre redukálni az NOx-et és oxidálni a CO-t és a HC-t, valamint a Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő alfejezetben, ahol a dízelmotor szegény keveréke miatt eltérő utókezelési stratégiákra van szükség.

21.1.3. Felépítés és működés

21.1.3.1. A kipufogógáz összetétele

A tökéletes égés elvi termékei szén-dioxid (CO_2), vízgőz (H_2O) és a levegőből visszamaradó nitrogén (N_2). A valóságos motorban ezen kívül megjelennek:

- **CO_2:** nem mérgező, de üvegházhatású gáz; a motor szén-dioxid-kibocsátása arányos a tüzelőanyag-fogyasztással, ezért a fogyasztás csökkentése egyben CO_2-csökkentés is.
- **O_2:** a tökéletlen égés és a szegény keverék maradék oxigénje; a kipufogógázban mért O_2-tartalom diagnosztikai információ (pl. kipufogórendszer tömítetlensége).
- **CO:** oxigénhiányos égés terméke, főleg dús keveréknél.

- **HC:** elégetlen tüzelőanyag; forrása a hideg fal, a résfúvókák, a gyújtáskimaradás, a rossz porlasztás.
- **NOx:** magas hőmérsékleten és oxigén jelenlétében keletkezik; dízelnél a magas sűrítési arány és a szegény keverék miatt az NOx-kibocsátás jelentős.
- **PM (dízel):** a befecskendezési sugarakban lokálisan dús, oxigénhiányos égésből korom keletkezik; a dízelmotorokra jellemző.

Környezetvédelem. A CO, HC, NOx és PM nemcsak határérték-mérési számok, hanem valós egészségi és környezeti kockázatok. A CO a vér oxigénszállító képességét rontja, a HC egyes összetevői rákkeltők, a NOx savas esőt és ózonszmogot okoz, a dízelkorom pedig a tüdőben lerakódva légúti és szív-érrendszeri betegségekhez vezet. Ezért a motor és az utókezelő rendszer megbontása, kiiktatása vagy manipulálása tilos, és a jármű forgalomból való kivonását is vonhatja maga után (ellenőrizendő: hatályos közlekedési és környezetvédelmi szabályozás).

21.1.3.2. Összetétel a légviszony függvényében

Az Otto-motor esetében a fenti diagram már szemléltette a légviszony hatását. A dízelmotor mindig szegény keverékkel dolgozik (alapjáraton λ jellemzően 4–10 körüli, teljes terhelésen a füsthatár közelében kb. 1,1–1,4; tájékoztató értékek, ellenőrizendő: szakkönyvi adat). A sugár körüli lokálisan dús zónák miatt mégis képződik korom, a CO és HC azonban alacsonyabb, az NOx és a PM viszont magasabb; $\lambda < 1$ dízelnél erős feketefüst-kibocsátást jelentene, ezt a vezérlés (füsthatárolás) megakadályozza. Emiatt a dízelmotorokra nem elegendő a háromutas katalizátor, hanem oxidációs katalizátort, NOx-utókezelést és részecskeszűrőt alkalmaznak (lásd Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő).

21.1.3.3. Motoroldali kibocsátáscsökkentés

A szennyezőanyag-képződés csökkentésének első lépése nem az utókezelés, hanem a motor belső égésének javítása:

- **Égéstér-kialakítás:** a kis felület–térfogat arányú égéstér csökkenti a faloltásból származó HC-t; a dugattyúhomlok és a szívócsatorna úgy alakítható, hogy a keverék áramlása gyors és homogén legyen, csökkentve a lokálisan dús zónákat.
- **Befecskendezési stratégia:** a hengerenkénti szívócső-befecskendezés vagy a közvetlen befecskendezés pontosabban adagolja a tüzelőanyagot, mint a régi karburátor, ezért a hengerek közötti légviszony-különbség kisebb, és minden henger a lehető legjobb keverékkel jár. A közvetlen befecskendezésű motoroknál a befecskendezési időzítés és a sugár iránya befolyásolja a keverékképzést és a faloltást.
- **Vezérlés:** a változtatható szelepvezérlés (VVT) lehetővé teszi, hogy a hideg motornál belső EGR-t hozzunk létre a szelep-átfedéssel, vagy hogy a szívó- és kipufogószelepek nyitását az üzemállapothoz igazítsuk; a hengerlekapcsolás pedig nagyobb motornál csökkenti a fogyasztást és a CO_2-t.
- **Hidegindítási stratégia:** hideg motornál a keverék szándékosan dús, hogy a motor stabilan járjon; ezt a fázist gyorsan el kell hagyni, és a lambdaszabályozásnak hamar aktiválódnia kell.

21.1.3.4. Kipufogógáz-visszavezetés (EGR)

Definíció. (Kipufogógáz-visszavezetés, EGR)
Az EGR során a kipufogógáz egy részét visszavezetjük a szívócsőbe, ahol az elégett, inert

gáz (főleg CO_2 és N_2) elkeveredik a friss levegővel és tüzelőanyaggal. Ez csökkenti az égési csúcshőmérsékletet és az oxigénkoncentrációt, így mérsékli a termikus NOx-képződést.

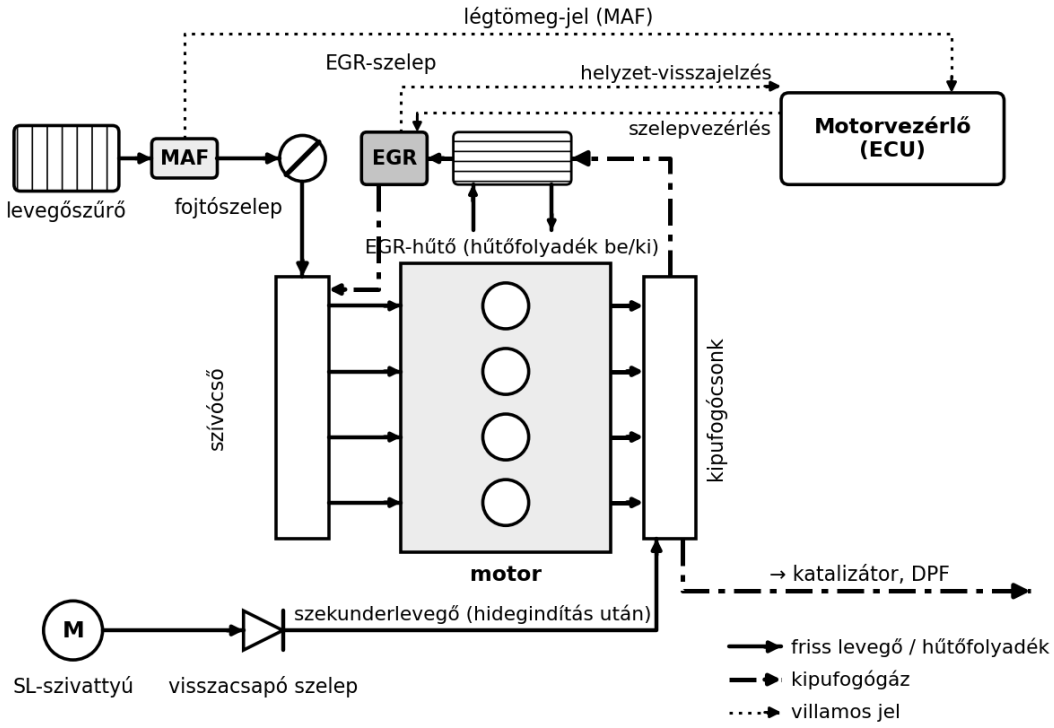
Az EGR két fő típusa:

- **Külső EGR:** a kipufogócsonkból egy EGR-szeleppel szabályozva vezetik a gázt a szívó oldalra. A modern rendszerekben EGR-hűtő is van, amely a visszavezetett forró gázt lehűti, így a töltési sűrűség megnő, a motorteljesítmény és a NOx-csökkentés egyaránt javul. A hűtött EGR különösen dízelmotorokban elterjedt, ahol nagyobb EGR-arányt alkalmaznak.
- **Belső EGR:** a szelep-átfedés növelésével a kipufogógáz egy része a hengerben marad vagy visszaszívódik a szívóütem alatt. Nincs külön szelep és cső, de a szabályozhatósága kisebb, mint a külső EGR-é.

Az EGR-szelep működése. A motorvezérlő (ECU) a terhelés, a fordulatszám, a hűtőfolyadék-hőmérséklet és a légtömegmérő jele alapján számítja ki a kívánt EGR-arányt. Az EGR-szelep lehet vákuumos, elektropneumatikus vagy villanymotoros; a modern járművekben gyakran visszacsatoló potenciométerrel vagy Hall-jeladóval ellenőrzik a szelep tényleges állását. Az EGR-t jellemzően a következő üzemállapotokban szabályozzák:

- Otto-motornál alapjáraton és teljes terhelésen az EGR zárt (az égés stabilitása és a teljesítmény miatt), a közepes részterhelésen nyit (jellemzően 5–20 %, ellenőrizendő). A nyitva ragadt EGR-szelep jellemző tünete benzinesnél az egyenetlen alapjárat és a lefulladás.
- Dízelmotornál alapjáraton és kis-közepes terhelésen nagy az EGR-arány (20–50 %, ellenőrizendő), mert ilyenkor a teljesítménycsökkenés nem zavaró, az NOx-képződés viszont csökkenthető; teljes terhelésen és hideg motornál az EGR-szelepet zárják.
- A dízelmotornál a részterhelésű tartományban az EGR az NOx-csökkentés fő eszköze; a modern közös nyomásterű rendszerekben az EGR-arányt a befecskendezési jellemzőkkel együtt szabályozzák.

Szekunderlevegő-rendszer. A szekunderlevegő-rendszer a hideg motor indítása után rövid ideig friss levegőt nyom a kipufogócsonkba, hogy a dús keverékből származó CO és HC a forró kipufogógázban utóoxidálódjon, és a katalizátor gyorsabban elérje az üzemi hőmérsékletét. A rendszer lehet elektromos szivattyús vagy impulzuslevegő-rendszer (a kipufogógáz pulzációját használó visszacsapószelepes). A szekunderlevegő-szelep hibája gyakran a hidegindítási emisszió megnövekedését okozza.



21.2. ábra. Hűtött külső EGR és szekunderlevegő-rendszer vázlata: folytonos vonal a friss levegő, szaggatott-pontozott a kipufogógáz, pontozott a villamos jel (szemléltető)

A vázlaton a friss levegő a légtömegmérőn (MAF) és a fojtószelepen át jut a szívócsőbe, a visszavezetett kipufogógáz pedig a kipufogócsonkból az EGR-hűtőn és az EGR-szelepen át ugyanide. Mivel a MAF csak a friss levegőt méri, a zárva ragadt EGR-szelep a vártnál nagyobb, a nyitva ragadt kisebb légtömegjelet ad. A HTML-változat a kidolgozott példa adataival (62 g/s friss levegő, 18 g/s EGR → 22,5 %) indul, és a szelep állapota is átállítható.

21.1.4. Kidolgozott példák

Példa (légviszony számítása).
Egy Otto-motor szívócsövében a tényleges levegő–tüzelőanyag arány 13,8 kg levegő per 1 kg benzin. A sztöchiometrikus arány 14,7 kg/kg. Adott a tényleges arány, keresett a légviszony.

Megoldás:
Képlet: $\lambda = \frac{L_{\text{tényleges}}}{L_{\text{sztöchiometrikus}}}$.
Behelyettesítés: $\lambda = \frac{13{,}8}{14{,}7} = 0{,}939$.
Ellenőrzés: az érték 1-nél kisebb, tehát dús keverék, ami magas CO-t és HC-t okozhat. ∎

Példa (EGR-arány meghatározása mérésből).
Egy dízelmotor szívócsövébe bevezetett EGR-gáz tömegárama 18 g/s, a friss levegő tömegárama 62 g/s. Adott az EGR-gáz és a friss levegő tömegárama, keresett az EGR-arány.

Megoldás:
Az EGR-arányt a visszavezetett gáz és a teljes beszívott gáz tömegáramának hányadosaként

számítjuk:

$$x_{\mathrm{EGR}} = \frac{\dot{m}_{\mathrm{EGR}}}{\dot{m}_{\mathrm{levegő}} + \dot{m}_{\mathrm{EGR}}}.$$

Behelyettesítés: $x_{\mathrm{EGR}} = \frac{18}{62+18} = \frac{18}{80} = 0{,}225$, azaz 22,5%.
Ellenőrzés: a dízelmotoroknál részterhelésen tipikus EGR-arány 20–50% közé esik (ellenőrizendő: gyártói érték), tehát ez reális. ∎

21.1.5. Minőségellenőrzés

A kipufogógáz-összetételt a műszaki vizsgán gázelemzővel mérik (benzinmotoros járműveknél CO, HC, O_2, λ és CO_2), dízelmotoros járműveknél füstösmérővel vagy opacitásméréssel (ellenőrizendő: hatályos vizsgálati előírás). Az EGR-rendszer ellenőrzése rendszerteszterrel történik: a diagnosztikai műszerrel kiolvassák az EGR-szelep állásának visszajelzését, az EGR-arányt, és elvégzik a beavatkozó tesztet (aktív szelepmozgatás). A szerelő kézi ellenőrzése során meg kell győződni arról, hogy az EGR-cső és a hűtő nincs-e eltömődve, a szelep szabadon mozog-e, és a légtömegmérő jel nem mutat-e a vártól eltérő levegőáramot.

21.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Eset: zárva ragadt EGR-szelep és levegőáram-hiba egy dízelmotoros személygépkocsin.
Egy dízelmotoros autónál az égési zaj megnőtt, a motorhiba-lámpa világít, a teljesítmény nem változott, és a diagnosztikai műszer „levegőáram-érzékelő jel nem megbízható” hibakódot tárol. A tünetek alapján az EGR-szelep elakadására gyanakszunk. A műszer élőadatában az EGR-szelep tényleges állása állandóan 0%, a kívánt állás viszont 40%, a légtömegmérő által mért levegőáram 15–20 %-kal a modellérték fölött van (ellenőrizendő), a beavatkozó teszt közben a szelep nem mozdul. A szerelő megbontja az EGR-szelepet, és megállapítja, hogy a szelep és a cső korommal eltömődött, a szelep nem mozdul. A szelep és a cső tisztítása után az EGR-rendszer alaphelyzetbe állítása (adaptáció) következik, majd próbaúton az élőadat-értékek visszatérnek a normál tartományba, és a hibakód már nem jön elő. **Tanulság:** a zárva ragadt EGR-szelep jellemző következménye a megnövekedett NOx (ezt gázelemzővel vagy a vizsgálaton lehet igazolni) és az égési zaj; emellett a légtömegmérő jelét is meghamisítja, mert a beszívott friss levegő mennyisége eltér attól, amit a motorvezérlő a kívánt EGR-arány mellett vár.

21.1.7. Tipikus hibák

1. **Az EGR-szelep kikapcsolása vagy vaklemezzel való lezárása.** Ezt a gyakorlatot néhány műhelyben „javításként” alkalmazzák, hogy a kormot eltüntessék a szívócsőből. Valójában tilos: a NOx-kibocsátás több tízszeresére nőhet, a motorvezérlő hibakódot tárol, és a jármű a műszaki vizsgán megbukhat (ellenőrizendő: hatályos környezetvédelmi előírás). Az EGR-t mindig a gyártói utasítás szerint kell javítani.
2. **A légviszony hibás értelmezése.** Sokan azt hiszik, hogy a magas NOx mindig szegény keverékre utal, miközben a hibás EGR vagy a kopott befecskendező is okozhat magas NOx-et. A diagnózist mindig a légviszony-érték és a gyártói adatok együttes értékelésére kell alapozni.

3. **A szekunderlevegő-rendszer elhanyagolása.** A hidegindítási emisszió mérésénél a hibás szekunderlevegő-rendszer magas CO- és HC-értékeket okozhat, még akkor is, ha a katalizátor és a lambdaszonda kifogástalan. A hibás visszacsapószelep vagy a repedt cső miatt az ellenőrző rendszer hibakódot tárol, de a motorteljesítményre nem mindig van érezhető hatása.

21.1.8. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a CO és a HC elsősorban a magas hőmérsékletű, szegény égésből keletkezik? Indokolja.
2. Miért nő meg az NOx-kibocsátás szegény keveréken?
3. Hogyan csökkenti az EGR az NOx-képződést?
4. Mi a szerepe a szekunderlevegő-rendszernek?
5. Mi a különbség a külső és a belső EGR között?

21.1.9. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok:

1. Hamis. A CO és a HC a tökéletlen égés terméke, tehát elsősorban dús keveréknél, hideg falaknál és gyújtáskimaradásnál keletkeznek.
2. Szegény keveréken az égési hőmérséklet magas és elegendő oxigén is rendelkezésre áll, ezért a Zeldovich-mechanizmus szerint több NO képződik. (Nagyon szegény keveréknél a hőmérséklet csökkenése már ismét csökkenti az NOx-et.)
3. Az EGR inert kipufogógázt juttat a szívó oldalra, ami csökkenti az égési csúcshőmérsékletet és az oxigénkoncentrációt, így kevesebb NOx keletkezik.
4. A szekunderlevegő-rendszer hideg indítás után friss levegőt ad a kipufogócsonkba, hogy a dús keverékből származó CO és HC a forró kipufogóban elégjen, és a katalizátor gyorsabban felmelegedjen.
5. A külső EGR külön szeleppel és csővel vezeti vissza a kipufogógázt a szívócsőbe, míg a belső EGR a szelep-átfedésen keresztül hagyja bent vagy szívja vissza a hengerben maradt égésgázt.

21.1.10. Feladatok

1. feladat (A)
Definiálja a légviszonyt, és adja meg, mit jelent a $\lambda = 0{,}9$ és a $\lambda = 1{,}1$ érték.

2. feladat (A)
Sorolja fel a négy fő szabályozott szennyező komponenst, és mindegyikhez írja le egy-egy keletkezési okát.

3. feladat (B)
Egy Otto-motor tényleges levegő–tüzelőanyag aránya 15,2 kg/kg. A sztöchiometrikus arány 14,7 kg/kg. Számítsa ki a légviszonyt, és állapítsa meg, hogy a keverék dús vagy szegény!

4. feladat (B)
Magyarázza el a külső hűtött EGR-rendszer felépítését és a hűtés szerepét!

5. feladat (C)
Egy dízelmotor NOx-kibocsátása a részterhelésű tartományban a gyártói érték kétszerese, miközben a CO és a HC értéke normális. Milyen hibalehetőségeket vizsgál meg először, és miért?

6. feladat (D)
Az alábbi tünet áll fenn: hideg indítás utáni első 60–90 másodpercben a benzinmotoros jármű CO- és HC-értéke nagyon magas, a katalizátor előtti (felfűtött) szonda tartósan dúsat jelez, melegen minden érték rendben van, a hibakód pedig „szekunderlevegő-rendszer: áramlás túl kicsi”. Mi a legvalószínűbb hiba? Indokolja, és írja le az ellenőrzési lépéseket!

21.1.11. A feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A légviszony a tényleges és a sztöchiometrikus levegő–tüzelőanyag arány hányadosa. $\lambda = 0{,}9$ dús keveréket, $\lambda = 1{,}1$ szegény keveréket jelent.

2. feladat (A)
CO: oxigénhiányos égés, főleg dús keveréknél.
HC: elégetlen tüzelőanyag, faloltás, résfúvókák, gyújtáskimaradás.
NOx: magas égési hőmérséklet és oxigén jelenléte (termikus NO).
PM (dízel): lokálisan dús, oxigénhiányos zónák a befecskendezési sugárban.

3. feladat (B)
Adott: $L_{\text{tényleges}} = 15{,}2\,\text{kg/kg}$, $L_{\text{sztöchiometrikus}} = 14{,}7\,\text{kg/kg}$.
Képlet: $\lambda = \frac{L_{\text{tényleges}}}{L_{\text{sztöchiometrikus}}}$.
Behelyettesítés: $\lambda = \frac{15{,}2}{14{,}7} = 1{,}034$.
Az érték 1 felett van, tehát a keverék enyhén szegény. ∎

4. feladat (B)
A külső hűtött EGR-rendszer a kipufogócsonkból EGR-szelepen keresztül vezeti a kipufogógázt a szívócsőbe. A szelep és a szívócső közé EGR-hűtőt építenek. A hűtés csökkenti a visszavezetett gáz hőmérsékletét, így a beszívott keverék hőmérséklete alacsonyabb marad, a töltési sűrűség nagyobb, a motorteljesítmény kevésbé csökken, miközben az NOx-csökkentés megmarad. A modern dízelmotorokban a hűtött EGR elengedhetetlen az Euro 4-től kezdődő NOx-határértékek teljesítéséhez (ellenőrizendő: Euro-határértékek).

5. feladat (C)
A dízelmotor részterhelésen magas NOx-értéke leggyakrabban a hibás vagy elakadt EGR-rendszerre utal. Először az EGR-szelep állását, a tényleges és kívánt EGR-arányt, valamint a légtömegmérő jelét vizsgáljuk meg rendszerteszterrel. Ha az EGR-arány túl alacsony, a szelep eltömődhet vagy a hűtő dugulhat el. Ellenőrizzük továbbá a befecskendezési időzítést és a turbónyomást is, mert a töltőnyomás túl magas szintén növelheti az égési hőmérsékletet és a NOx-et.

6. feladat (D)
A hideg indítás utáni magas CO és HC a szekunderlevegő-rendszer hibájára utal. Ha a szekunderlevegő nem lép működésbe, a dús hidegindítási keverékhez nem érkezik pótlevegő, ezért a kipufogóoldalon nem nő az O_2, a CO és HC nem tud a kipufogócsőben utóoxidálódni, a katalizátor pedig lassabban melegszik. Ellenőrzési lépések: a szekunderlevegő-szivattyú működése (feszültségellátás, relé, biztosíték), a visszacsapószelep nyitása, a csőrendszer tömítettsége, és a rendszer hibakódjainak kiolvasása. Javítás után a hibakód törlése és hidegindítási próba szükséges.

21.1.12. Rövid összefoglaló

A kipufogógáz fő összetevői a CO_2, a vízgőz, a nitrogén és a szabályozott szennyezők: CO, HC, NOx és a dízelmotoroknál a részecske. A CO és a HC a tökéletlen égésből, főleg dús keveréknél keletkezik, míg a NOx a magas égési hőmérséklet és az oxigén jelenlétében képződik, ezért szegény keveréken növekszik. A légviszony határozza meg, hogy melyik komponensből keletkezik több; az Otto-motoros utókezelés ezért igényli a $\lambda = 1$ környéki üzemet. A motoroldali csökkentés az égéstér, a befecskendezés és a vezérlés optimalizálásával, valamint a kipufogógáz-visszavezetéssel érhető el. Az EGR (külső vagy belső, gyakran hűtött) inert kipufogógázt ad a szívó oldalra, így csökkenti az égési csúcshőmérsékletet és az NOx-képződést. A szekunderlevegő-rendszer hideg indítás után oxidálja a dús keverékből származó CO-t és HC-t. **Továbbvitt eredmény:** a komponensek és a légviszony összefüggéseit a háromutas katalizátor és a lambdaszabályozás, valamint a dízel-utókezelés megértéséhez használjuk. A környezetvédelmi és gyártói előírásokat mindig ellenőrizni kell.

21.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások és műhelykézikönyvek: EGR-arányok, EGR-szelep adaptáció, szekunderlevegő-rendszer vizsgálati értékek (ellenőrizendő: minden típusnál).
- Az Euro-emissziós határértékek és a vizsgálati módszerek: ENSZ-EGB előírások, EU-rendeletek (ellenőrizendő: hatályos jogszabályok és határértékek).
- A légviszony–emisszió összefüggés és a Zeldovich-mechanizmus: tankönyvi motortechnikai, égéselméleti ismeret.
- A dízel- és Otto-motorok kibocsátási jellemzői: gyártói tananyagok és szakkönyvek; a megadott konkrét százalékok és arányok tanulási példák.

21.2. Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás

21.2.1. Motiváció

Egy benzinmotoros autó motorja alapjáraton, terhelés alatt és gyorsításkor is folyamatosan változtatja a levegő/üzemanyag keverékét. A kipufogógázban lévő három szennyező anyag, a szén-monoxid (CO), az elégetlen szénhidrogének (HC) és a nitrogén-oxidok (NOx) csak akkor alakíthatók át nagy hatásfokkal egyetlen katalitikus reaktorban, ha az égés a sztöchiometrikus keverék közelében zajlik. Az autószerelő műhelyben leggyakrabban ilyen panasszal találkozunk: a motor visszaellenőrizhetetlen hibakódot tárol a lambdaszonda fűtőköréről, a katalizátor hatásfokáról, vagy a kipufogógáz-szonda lassú jelváltásáról. Ilyenkor nem elég az érzékelőt cserélni: meg kell érteni a háromutas katalizátor, a lambdaszonda és a motorvezérlő együttműködését.

21.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy kibontott katalizátort, amely méhsejtszerű, sok kis csatornával ellátott kerámia hordozóból áll. A csatornák falát vékony, nagy fajlagos felületű bevonat (washcoat) borítja, amelyen finoman eloszlatott platina-, palládium- és ródium-szemcsék találhatók. A forró kipufogógáz áthalad a csatornákon. A nemesfémek elősegítik, hogy a CO és a HC oxigénnel szén-dioxiddá és vízzé, a NOx pedig a CO, HC és H_2 segítségével nitrogénné redukálódjon. A be- és kilépő gáz

összetételét a katalizátor előtti, illetve utáni lambdaszonda figyeli; ennek alapján a motorvezérlő folyamatosan úgy szabályozza a befecskendezési időt, hogy az égés λ-ja 1 közelében lengjen.

21.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. A **légviszony** (λ) a tényleges levegő/üzemanyag arány és a sztöchiometrikus levegő/üzemanyag arány hányadosa:

$$\lambda = \frac{\text{tényleges levegő/üzemanyag arány}}{\text{sztöchiometrikus levegő/üzemanyag arány}}$$

Benzinre a sztöchiometrikus tömegarány közelítőleg

$$\frac{m_{\text{levegő}}}{m_{\text{benzin}}} \approx 14{,}7$$

tehát $\lambda = 1{,}00$ esetén 1 kg benzin tökéletes elégetéséhez körülbelül 14,7 kg levegőre van szükség. A $\lambda < 1$ dús keveréket, a $\lambda > 1$ szegény keveréket jelent.

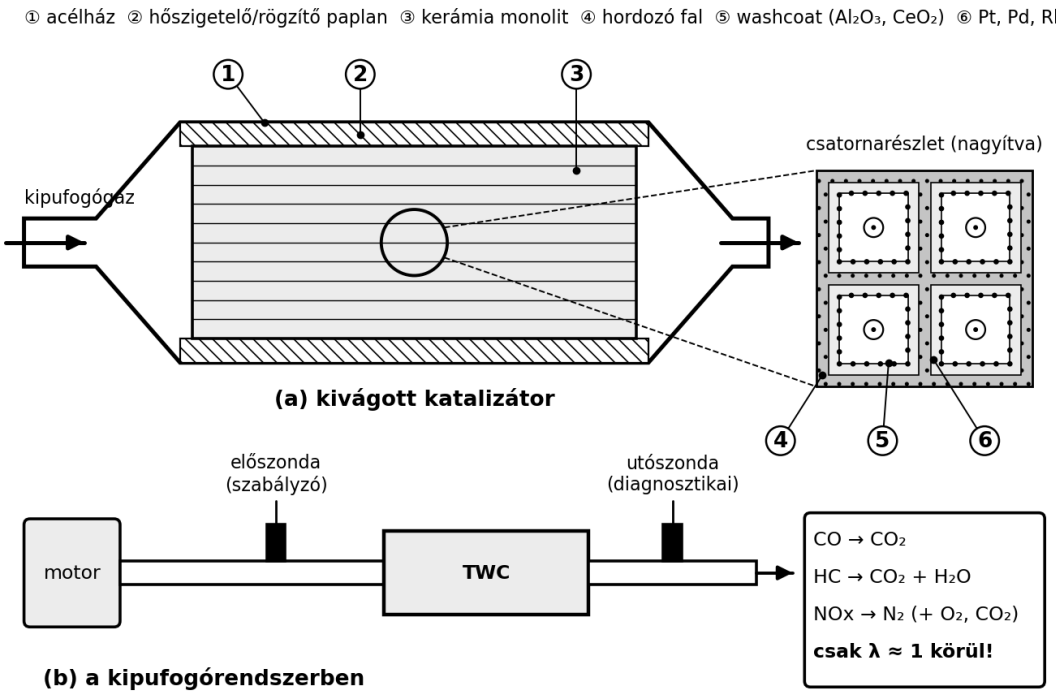
Definíció. A **háromutas katalizátor** (three-way catalytic converter, TWC) olyan kipufogógáz-utókezelő berendezés, amely a CO, HC és NOx ártalmatlanítására alkalmas, ha az égés λ-ja egy nagyon szűk tartományban, $\lambda \approx 1$ körül marad.

Definíció. A **lambdaszonda** a kipufogógáz oxigéntartalmából állít elő elektromos jelet. Az **ugrásszerű szonda** (keskenysávú, cirkónium-dioxid-szonda) feszültsége $\lambda = 1$-nél hirtelen megváltozik, a **szélessávú szonda** hosszabb λ-tartományban mér, és a benzinüzemű, rétegzett töltésű és bizonyos dízelmotoroknál is használják.

21.2.4. A háromutas katalizátor felépítése és működése

A TWC feladata tehát csak akkor teljesülhet, ha az égő keverék pillanatról pillanatra $\lambda \approx 1$. Ilyenkor a kipufogógázban maradó oxigén éppen elég a CO és a HC oxidálásához, és éppen elegendő a NOx redukálásához is. Ezt nevezzük **sztöchiometrikus ablaknak**.

A katalizátor hordozója leggyakrabban cordierit kerámia vagy vékony falú fémfólia; a csatornák sűrűsége több száz cella/négyzetcentiméter lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). Rajta található a **washcoat**, amely alumínium-oxid, cérium-oxid és más oxidok keveréke. A cérium-oxid oxigént tud tárolni, így a rövid ideig tartó szegény vagy dús kilengéseknél is fenntartja a konverzió hatásfokát. Ezen a bevonaton ülnek a nemesfémek: a **platina** és **palládium** az oxidációt, a **ródium** a NOx redukálását gyorsítja. A reakciók leegyszerűsítve:



21.3. ábra. A háromutas katalizátor kivágott rajza nagyított csatornarészlettel, valamint az elő- és utószonda helye a kipufogórendszerben (sematikus, nem méretarányos)

A kivágott rajzon az acélházban (1) a hőszigetelő, rögzítő paplan (2) tartja a kerámia méhsejt-monolitot (3). A nagyított csatornarészleten a hordozó falra (4) felvitt washcoat (5) és a rajta ülő nemesfém szemcsék (6) látszanak. Az előszonda a katalizátor előtt a szabályozás jelét adja, az utószonda utána a katalizátor diagnosztikáját szolgálja. A HTML-változatban a rétegek ki-be kapcsolhatók, és rámutatásra megjelenik az egyes részek szerepe.

$$2\,\mathrm{CO} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\,\mathrm{CO_2}$$

$$\mathrm{C}_x\mathrm{H}_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)\mathrm{O_2} \rightarrow x\,\mathrm{CO_2} + \frac{y}{2}\,\mathrm{H_2O}$$

$$2\,\mathrm{NO} + 2\,\mathrm{CO} \rightarrow \mathrm{N_2} + 2\,\mathrm{CO_2}$$

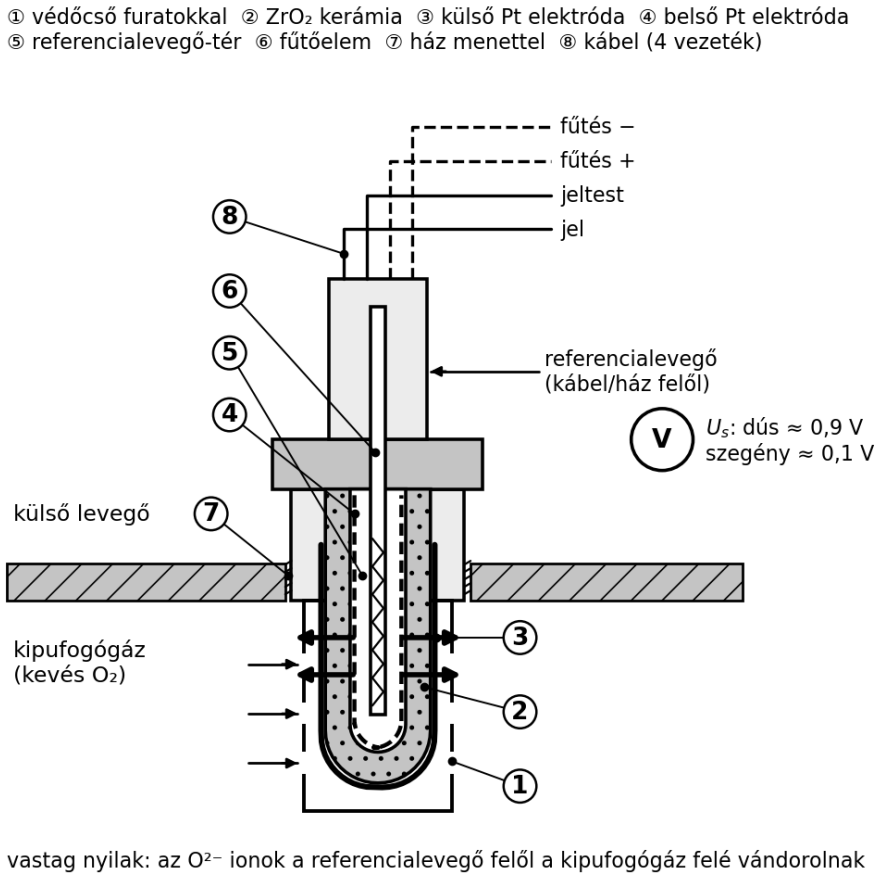
A három reakció csak akkor fut egyensúlyban, ha a gáz hőmérséklete eléri a gyártóra jellemző **light-off** hőmérsékletet, amely tipikusan néhány száz °C (példaérték 250–400 °C; ellenőrizendő: gyártói/javító irodalmi adat). Hideg motornál a katalizátor nem aktív, ezért a korszerű motorok gyújtás- és befecskendezési vezérlése emelt alapjárattal, késleltetett gyújtással vagy szekunder levegő-befúvással gyorsítja a felmelegedést.

A katalizátor tönkremenetele lehet termikus (túlhevítés, kiolvadás), kémiai (ólom, foszfor, cink, szilícium, el nem égett motorolaj adalékai miatti mérgezés) és mechanikai (a monolit repedése). Gyújtáskimaradásnál a katalizátorba kerülő el nem égett keverék az utóoxidáció során felhevül, ezért a gyújtáskimaradást a motorvezérlő folyamatosan figyeli, és adott esetben az adott henger injektorát lekapcsolja, hogy a katalizátort védje.

21.2.5. Lambdaszondák

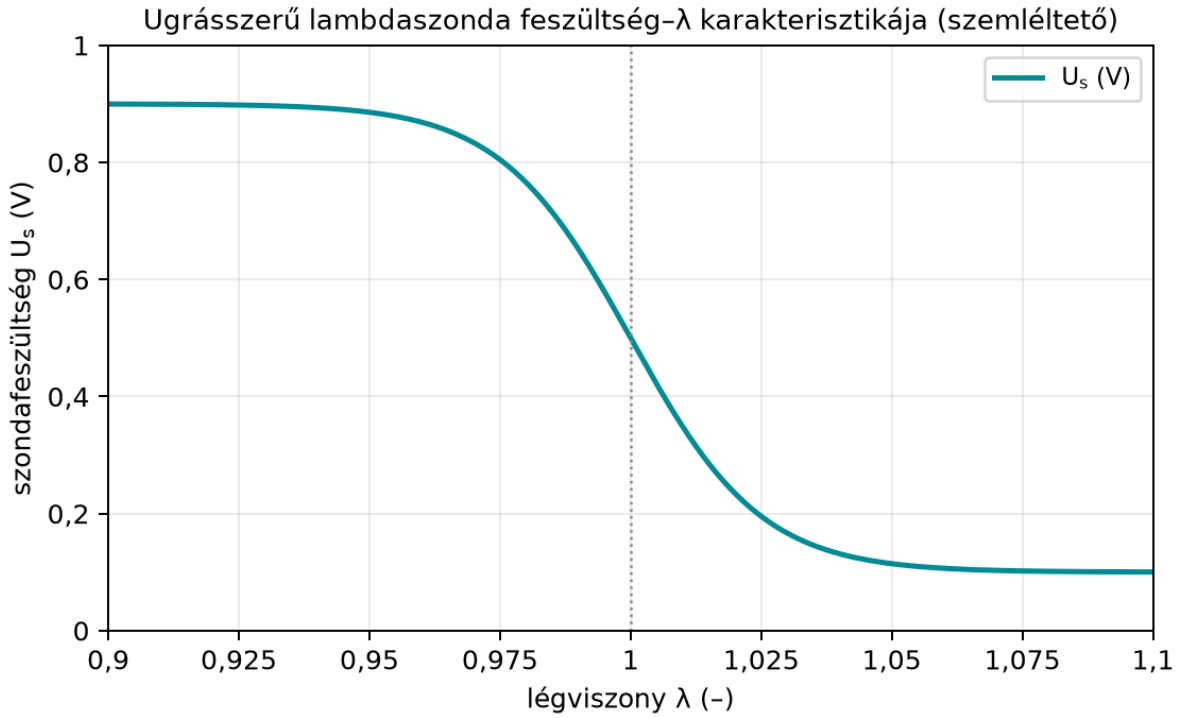
21.2.5.1. Ugrásszerű (cirkónium-dioxid) szonda

A hagyományos **cirkónium-dioxid** szonda (ZrO_2) egy porózus, ionvezető szilárd elektrolit, amelynek egyik oldala a kipufogógázzal, másik oldala a levegővel érintkezik. Ha a két oldal oxigénkoncentrációja eltér, az ionvándorlás miatt feszültség jelenik meg. A jel feszültsége $\lambda < 1$-nél (dús keverék) nagy, jellemzően 0,7–1,0 V; $\lambda > 1$-nél (szegény) kicsi, jellemzően 0,1 V alatt. A jel a $\lambda = 1$ tartományban meredeken vált, ezért a szonda kiválóan alkalmas a szabályozás referenciapontjának érzékelésére.



21.4. ábra. Ugrásszerű (ZrO_2) lambdaszonda metszete: védőcső, cirkónium-dioxid kerámia két platinaelektródával, referencialevegő-tér, fűtőelem, ház és négyeres kábel (sematikus)

A metszeten a kerámia (2) belső oldala a referencialevegővel (5), külső oldala a védőcső (1) furatain beáramló kipufogógázzal érintkezik. Az oxigénionok a nagyobb oxigénkoncentrációjú levegő felől a kipufogógáz felé vándorolnak, és a két platinaelektróda (3, 4) között feszültség jelenik meg: dús keveréknél (kevés szabad oxigén) nagy, szegénynél kicsi. A fűtőelem (6) a gyors üzemi hőmérsékletet biztosítja. A HTML-változatban a λ csúszkával állítható, és a szondafeszültség élőben követhető.



21.5. ábra. Ugrásszerű lambdaszonda feszültség–λ karakterisztikája (szemléltető) - Dús keverék ($\lambda < 1$): nagy feszültség, szegény keverék ($\lambda > 1$): kis feszültség. A logisztikus görbe a valós szonda ugrását közelíti; a tényleges karakterisztika hőmérsékletfüggő és enyhe hiszterézist mutat, a szintek új szondánál jellemzően 0,1 V alatt és 0,8 V felett vannak.

Az ábrán látható, hogy az ugrásszerű szonda nem lineárisan mér, hanem csak azt képes megbízhatóan megállapítani, hogy a keverék dús vagy szegény. Hidegen a szonda jelereje túl gyenge, ezért a szondát **fűtőszállal** látják el, hogy a gyújtás ráadását követően minél gyorsabban elérje az üzemi hőmérsékletet. A fűtés lehet egyszerű egyfokozatú, vagy a károsodott szonda vizsgálatához fontos **fűtőkör-ellenállás** mérésére alkalmas csatlakozóval ellátott.

21.2.5.2. Szélessávú lambdaszonda

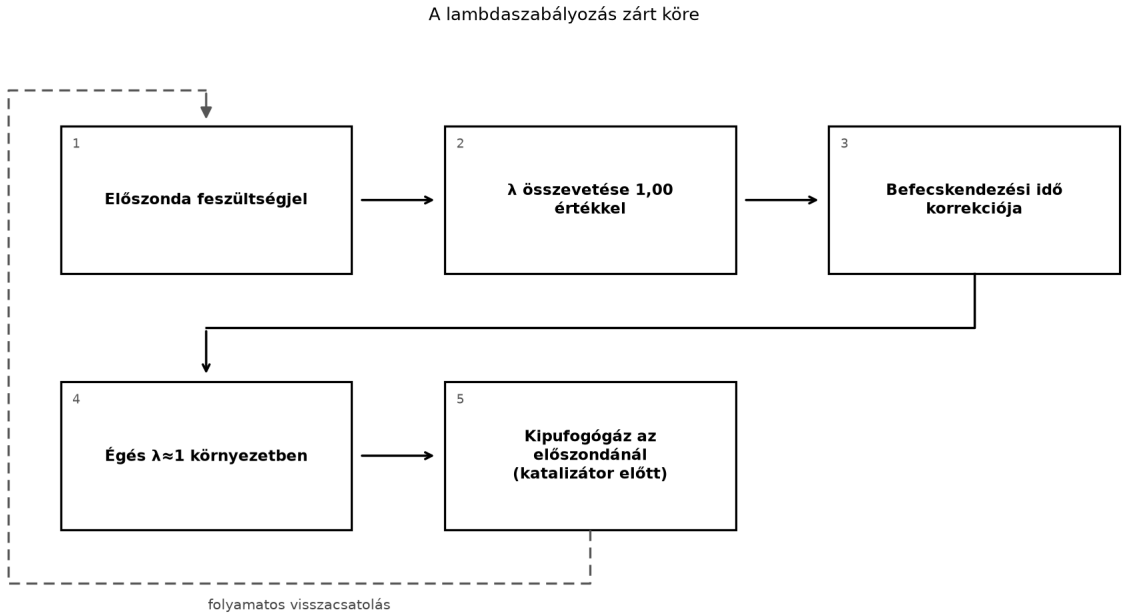
A **szélessávú** szonda (wideband/linear oxygen sensor) belső felépítése bonyolultabb: egy szűk csatornában oxigénpumpát és mérőcellát alakítanak ki. A vezérlés a pumpán átfolyó áramot szabályozza úgy, hogy a mérőcellában a λ=1-nek megfelelő egyensúly maradjon. A pumpa árama és iránya azután a kipufogógáz tényleges λ-jával arányos. Így a szonda széles λ-tartományban (a dús oldaltól a szegény, levegőhöz közeli tartományig; ellenőrizendő) folyamatos jelet ad. A szélessávú szonda a gyári motorvezérlésben korszerű Otto-motoroknál, rétegzett keverésű és bizonyos dízelmotoroknál fordul elő.

21.2.6. A lambdaszabályozás zárt köre és adaptációja

A motorvezérlő a befecskendezési időt úgy módosítja, hogy a katalizátor előtti ugrásszerű szonda jele váltakozzon. Ez a klasszikus **kétállapotú szabályozás**: ha a szonda dúsat jelez (feszültség nagy), a vezérlő rövidíti a befecskendezési időt; ha szegényet (feszültség kicsi), hosszabbítja. Emiatt a λ folyamatosan egy kis mértékben, jellemzően ±2–3 % (ellenőrizendő: gyártói adat) ide-oda leng. A lengés frekvenciáját a motor fordulatszáma, a gázáram és a szonda válaszideje

határozza meg; elöregedett szonda jele lassabb, ezért a szabályozás frekvenciája csökken, és a katalizátor hatásfoka romlik.

A szabályozási kör:



21.6. ábra. A lambdaszabályozás zárt köre - A hurok az égés és a katalizátor ELŐTTI szonda között zárul: a motorvezérlő ennek jele alapján korrigálja a befecskendezési időt, hogy az égés $\lambda \approx 1$ körül lengjen. A katalizátor a hurkon kívül, utána van; a katalizátor utáni szonda csak diagnosztikai (az oxigéntároló képességet ellenőrzi).

A befecskendezési idő korrekcióját a vezérlő kétféle tanulóértékkel tárolja:

- **Rövid távú adaptáció (STFT)** – a pillanatnyi eltérést korrigálja, százalékban.
- **Hosszú távú adaptáció (LTFT)** – a tartósan fennálló eltérést, például tömítetlen szívócsatornát, eltérő injektor-folyási jellemzőt, elöregedett üzemanyagnyomás-szabályozót tanulja meg.

Ha például a szívócsőben vákuumszivárgás van, a motorvezérlő a mért levegőtömegnél több valós levegőt kap, ezért a λ szegény irányba tér el. A szonda ezt érzékeli, és a vezérlő dúsít; a hosszú távú adaptáció értéke pozitív százalékra nő. Az autószerelő számára ez a kulcsfontosságú diagnosztikai adat: a LTFT tartósan 0-tól messze pozitív értéke mechanikai szivárgásra, negatív értéke gyakran elfolyó injektorra vagy szoruló nyitott fojtószelepre utal.

A katalizátor utáni ugrásszerű szonda másik szerepet tölt be: a motorvezérlő annak feszültségjeléből és annak ingadozásából becsüli a katalizátor oxigéntároló képességét. Ép katalizátornál az utáni szonda jele a katalizátor kiegyenlítő hatása miatt lassan változik, jó közelítéssel 0,4–0,6 V közelében, a lengés amplitúdója kicsi. Kimerült katalizátornál az utáni szonda leköveti az első szonda váltakozó jelét, és a feszültség amplitúdója megnő, ami a fedélzeti diagnosztikában tipikusan **P0420** (katalizátor hatásfoka küszöb alatt) hibakóddal járhat.

21.2.7. Előírások és környezetvédelem

Előírás. Az európai és magyarországi kibocsátási követelmények a benzinmotoros járműveknél a CO, HC és NOx határértékeket fokozatosan szigorították; a katalizátorral szerelt járművek az Euro-normák szerint, a fedélzeti diagnosztikán (EOBD) keresztül ellenőrizhetők. A katalizátor eltávolítása, kiürítése vagy az EOBD-rendszer hatástalanítása a közúti forgalomban való részvétel feltételeinek megsértését jelenti, és a környezetvédelmi felülvizsgálaton, illetve a hatósági műszaki vizsgán elutasításhoz vezet (ellenőrizendő: hatályos emissziós és vizsgálati jogszabályok).

Környezetvédelem. A hibás lambdaszabályozás a CO- és HC-kibocsátást közvetlenül megnöveli, a NOx-határértékeket pedig a katalizátor hatásfokának romlásával túllépheti. Az ólommentes benzin használata kötelező, mert az ólom a katalizátor nemesfémjeit véglegesen mérgezi. A használt, cserére ítélt katalizátor értékes, nehézfém- és nemesfémtartalmú hulladéknak minősül, ezért csak engedéllyel rendelkező gyűjtőnek adható át; a katalizátor mosása, „kikopogtatása” vagy kiürítése tilos, mert a jármű a későbbi vizsgán kibocsátási határértéken felül teljesíthet.

21.2.8. Minőségellenőrzés

A műhelyi ellenőrzés során a következőket kell mérni és összevetni a gyártói javítási adattal:

1. **Előszonda-fűtés**: a fűtőkör ellenállása multiméterrel, tipikusan néhány ohm (példaérték 3–10 Ω; ellenőrizendő: gyártói adat). Tápfeszültség a fűtőkör csatlakozóján, és a motorvezérlő fűtésvezérlése.
2. **Jelváltás**: oszcilloszkóppal vagy rendszerteszter élőadat-menetben a katalizátor előtti szonda feszültsége. Új, meleg szonda terhelésváltáskor 0,9 V és 0,1 V között, másodpercenként többször vált. A lassú váltás elöregedett, alacsony hőmérsékletű vagy szennyezett szondát jelez.
3. **Adaptációk**: STFT és LTFT értékek. A hosszú távú adaptáció tartósan ±10 %-on kívüli értéke célzott hibakeresést igényel (szivárgás, tüzelőanyag-nyomás, légtömegmérő, injektor).
4. **Katalizátor utáni szonda**: meleg motoron, állandó fordulaton az utáni szonda feszültsége ne kövesse az előszonda váltakozását nagy amplitúdóval.
5. **Katalizátor hőmérséklete**: érintés nélküli hőmérővel a bemeneti és kimeneti csonk; a kimenet melegebb, ha a folyamat beindult.

A kibocsátás tényleges ellenőrzését gázelemzővel, a jármű hatósági környezetvédelmi vizsgálatán kell elvégezni.

21.2.9. Környezetvédelmi következmények és dokumentálás

A hibás lambdaszabályozás vagy katalizátor hibájának javításakor mindig el kell végezni a fedélzeti diagnosztika readiness (készenléti állapot) ellenőrzését, és a hibakód törlése után a gyártó által előírt teljes készenléti ciklus lefuttatását. A járművizsgálat előtt csak az összes készenléti monitor lefutása után szabad a járművet átadni, különben a hatósági környezetvédelmi felülvizsgálat eredménye érvénytelen lehet. A javítás során a kipufogógáz elszívásáról, a forró kipufogóelemek elleni védőkesztyűről és az esetleges tömítőanyagok biztonsági adatlapjának betartásáról kell gondoskodni.

21.2.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy 1,6 literes, szívó benzinmotoros járműben az EOBD-lámpa világított, a rendszerteszter **P0420** hibakódot olvasott. A tárolt fagyasztott keretes adatokban a katalizátor előtti szonda jelváltási frekvenciája normális volt, az STFT 0 ±3 % között ingadozott, a LTFT +2 % volt. Az élő adatokban meleg motoron, 2500 1/min állandó fordulaton az utáni szonda feszültsége nagy amplitúdóval követte az előszondát; teljesítményen az utáni szonda 0,1–0,8 V között lengett. A katalizátor előtti kipufogócső hőmérséklete 310 °C, a katalizátor utáni 295 °C volt (ellentmondásban a várt hőmérséklet-emelkedéssel, példaérték). A szonda cseréje nem oldotta meg a hibát; a katalizátor fizikai vizsgálata a monolit repedését mutatta. A hiba oka a korábbi, hosszú ideig fennálló gyújtáskimaradás volt, amely már a katalizátort is károsította.

21.2.11. Tipikus hibák

1. **A szonda jelét kis bemeneti ellenállású (analóg) műszerrel méri, vagy a jelkapcsokon ellenállást mér.** A cirkónium-dioxid szonda belső ellenállása nagy, ezért a kis bemeneti ellenállású műszer terheli. Helyes: legalább 10 MΩ bemenetű digitális műszer a feszültségszinthez, oszcilloszkóp a jelváltás frekvenciájához; ellenállást csak a fűtőkörön mérünk (a gyártói mérési utasítás szerint).
2. **A fűtőkör ellenőrzése nélkül cseréli a szondát, pedig a hibakódot a fűtőrelé, biztosító vagy vezeték szakadása okozta.** A szonda cseréje előtt a fűtőkör ellenállását, tápfeszültségét és a vezérlő kimenetét is meg kell mérni.
3. **A λ=1 szabályozást állandó, „szegény, tehát gazdaságos” üzemmel keveri.** Részterhelésen a λ=1 körüli lengés a katalizátor miatt szükséges; a szándékos elszegényítés csak szélessávú, speciális üzemmódban engedhető meg, ott is a gyártói vezérlés szerint.
4. **A katalizátor után jelzett lassú jelet a szonda hibájának tulajdonítja; a P0420 kódnál az utáni szonda jelét a katalizátor oxigéntároló képességével összefüggésben kell értékelni, nem önmagában.**

21.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az ugrásszerű lambdaszonda feszültsége λ=1-nél hirtelen vált, és dús keveréknél alacsony, szegénynél magas feszültséget ad?
2. A katalizátor mely három szennyező anyagot alakítja át egyidejűleg, és milyen λ-tartományban?
3. Miért fűtik a lambdaszondát?
4. Egy motor LTFT értéke tartósan +18 %. Melyik hiba valószínűbb: a szívórendszer vákuumszivárgása vagy az injektor túlfolyása?
5. Ép katalizátor esetén milyen a katalizátor utáni szonda feszültségjelének amplitúdója az előszondához képest?

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

21.2.13. Feladatok

1. feladat (A) Határozza meg a λ értékét, ha egy benzinmotor 1 kg üzemanyagot 13,0 kg levegővel éget el. Dús vagy szegény a keverék?

2. feladat (A) Adja meg a sztöchiometrikus levegő/üzemanyag tömegarányt benzinre, és számítsa ki, mekkora benzintömegáram szükséges 4,4 g/s levegőtömeg-áram mellett λ=1,00 eléréséhez.

3. feladat (B) Sorolja be a mérési eredményeket: meleg motoron a katalizátor előtti szonda feszültsége 0,15 V és 0,85 V között, másodpercenként kb. 3-szor vált; az utáni szonda 0,30 V és 0,60 V között, enyhén hullámzik. Ép vagy hibás a katalizátor? Indokolja.

4. feladat (B) Rajzolja le vagy írja le a lambdaszabályozás zárt körét. Jelölje, melyik szonda a szabályozó jel visszacsatoló eleme, és hol avatkozik be a motorvezérlő.

5. feladat (C) Magyarázza el, miért csökken a lambdaszabályozás jelváltási frekvenciája elöregedett válaszidejű előszondánál, és ez miért rontja a katalizátor hatásfokát.

6. feladat (D) Egy járművön P0130 hibakód (szondakör hiba, 1. bank, szenzor 1) szerepel. A fűtőkör ellenállása 4 Ω (gyári érték 4 Ω; ellenőrizendő), a fűtés tápfeszültsége 12,4 V, a szonda jelét terheletlenül 0,45 V-on állandónak méri. Állítson fel legalább két hipotézist, és adjon meg egy célzott mérési eljárást a hiba pontosítására.

21.2.14. Megoldások

21.2.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az ugrásszerű szonda feszültsége dúsnál **magas** (0,7–1,0 V), szegénynél **alacsony** (0,1 V alatt); a váltás λ=1-nél meredek.
2. A CO, HC és NOx; a három reakció $\lambda \approx 1$ tartományban, forró katalizátornál működik együtt.
3. A fűtés azért kell, hogy a szonda hideg motornál is elérje az üzemi hőmérsékletet, és a jel gyorsan stabil váltásra legyen képes.
4. Pozitív LTFT (dúsítás) valószínűbb oka a vákuumszivárgás, mert a mért levegőmennyiségnél több levegő jut a hengerbe, és a vezérlő dúsít. Az injektor túlfolyása negatív LTFT-t (elvételt) okozna.
5. Ép katalizátornál az utáni szonda amplitúdója kicsi, a jel lassan hullámzik, mert a katalizátor oxigéntárolása kiegyenlíti a λ ingadozását.

21.2.14.2. 1. feladat megoldása

Adott: $m_{\text{levegő}} = 13{,}0\,\text{kg}$, $m_{\text{benzin}} = 1\,\text{kg}$. Keresett: λ.

$$\lambda = \frac{13{,}0/1}{14{,}7} \approx 0{,}884$$

Mivel $\lambda < 1$, a keverék dús.

21.2.14.3. 2. feladat megoldása

Adott szívott levegőtömegáram $\dot{m}_{\text{levegő}} = 4{,}4\,\text{g/s}$. Keresett benzintömegáram λ=1,00-nál.

A sztöchiometrikus arány:

$$\frac{\dot{m}_{\text{levegő}}}{\dot{m}_{\text{benzin}}} = 14{,}7$$

$$\dot{m}_{\text{benzin}} = \frac{4{,}4}{14{,}7} \approx 0{,}299\,\text{g/s} \approx 0{,}3\,\text{g/s}$$

A mértékegység ellenőrzése: g/s osztva számmal, g/s-ban adódik; a nagyságrend reális alapjárati terhelésre.

21.2.14.4. 3. feladat megoldása

A katalizátor előtti szonda normálisan, gyorsan vált. Az utáni szonda amplitúdója kicsi, lassan mozog; ez egészséges katalizátorra utal, mert a TWC oxigéntároló képessége elsimítja a λ-ingadozást. Az értékek példaértékek, de a minőségi kép jellegzetes.

21.2.14.5. 4. feladat megoldása

A kör: előszonda → motorvezérlő (λ=1 összevetés) → befecskendezési idő korrekciója → égés $\lambda \approx 1$ → az előszonda méri a kipufogógázt (a katalizátor előtt). A katalizátor a hurkon kívül, utána van; az utószonda csak diagnosztikai szerepű. A beavatkozó a befecskendező szelep, a visszacsatoló jel az előszonda feszültsége.

21.2.14.6. 5. feladat megoldása

Elöregedett szonda lassabban reagál a λ-változásra, ezért a vezérlő befecskendezési idő korrekciója is késik. A λ hosszabb ideig tart dús, illetve szegény oldalon, a lengés frekvenciája csökken, az átlag eltolódhat, és a katalizátor oxigéntároló képessége rövid ideig kimerül. Ez rontja a CO/HC-oxidáció és a NOx-redukció hatásfokát, és a fedélzeti diagnosztika lassú szondajelváltás hibakódot tárolhat.

21.2.14.7. 6. feladat megoldása

A 0,45 V állandó jel a motorvezérlő előfeszítő (bias) feszültsége: a vezérlő nem lát szondajelet. Ez történik szakadt jel- vagy jeltest-vezeték esetén, illetve ha a szondaelem nem működik (hideg vagy elöregedett szonda). Hipotézisek: 1) szakadás a jel- vagy a jeltest-vezetékben; 2) a szondaelem nem működik: elöregedett, vagy a fűtést a vezérlő nem kapcsolja be (a 12,4 V táp ellenére a test oldali vezérlés hiányozhat; ellenőrizendő oszcilloszkóppal). A fűtőkör 4 Ω-os ellenállása önmagában azt mutatja, hogy a fűtőszál ép. Célzott mérés: üzemmeleg motoron a szonda saját csatlakozóján (visszaszúró tűvel, legalább 10 MΩ bemenetű digitális műszerrel vagy oszcilloszkóppal) mérjük a jelet; ha ott 0,1 és 0,9 V között vált, a kábelköteg szakadt (lecsatlakoztatott állapotban vezetékellenállás-mérés); ha ott is állandó, a szonda hibás.

21.2.15. Rövid összefoglaló

A háromutas katalizátor (TWC) CO, HC és NOx együttes átalakítását végzi, de csak akkor, ha az égés λ-ja nagyon szűk tartományban, λ≈1 körül van, és a katalizátor üzemi hőmérsékleten üzemel. A hordozón elhelyezkedő washcoat és a platina, palládium, ródium nemesfémek gyorsítják az oxidációs és redukciós reakciókat. Az ugrásszerű cirkónium-dioxid lambdaszonda feszültsége dúsnál 0,7–1,0 V, szegénynél 0,1 V alatt, λ=1-nél meredeken vált; a szélessávú szonda folyamatos jelet ad szélesebb tartományban. A motorvezérlő a katalizátor előtti szonda jeléből kétállapotú szabályozással tartja a λ-t 1 közelében, és a rövid, illetve hosszú távú adaptációval korrigálja a kopásokat és eltéréseket. A katalizátor utáni szonda a katalizátor oxigéntároló képességét ellenőrzi; a megnövekedett amplitúdó P0420 hibakódhoz vezethet. (A benzinmotoros részecskeszűrőről lásd: Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok.) A katalizátor eltávolítása vagy az EOBD manipulálása tilos.

Továbbvitt eredmény. A lambdaszabályozás zárt körét és az adaptációs értékek értelmezését használjuk a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD, a Gázelemzés és füstölésmérés, a Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára, valamint a(z) A motorirányítás alapjai alfejezetekben. A hibás TWC diagnosztikája és a szonda jelváltási frekvenciája az Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok alfejezet emissziós környezetébe illeszkedik.

21.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Európai uniós és ENSZ-EGB kibocsátási előírások, EOBD-követelmények (ellenőrizendő: hatályos rendelet- és szabványszámok, határértékek).
- Gyártói javítási adatok: szonda fűtőellenállása, jelváltási frekvencia, LTFT tartományok, katalizátor hőmérsékleti értékek (ellenőrizendő: gyártói adat).
- Gázelemző és rendszerteszter gyártói utasításai a mérési eljáráshoz.
- Szakirodalmi reakció-egyenletek és szerkezeti leírások: a TWC felépítése, nemesfém-hatás (ellenőrizendő: aktuális forrásmű).

21.3. Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő

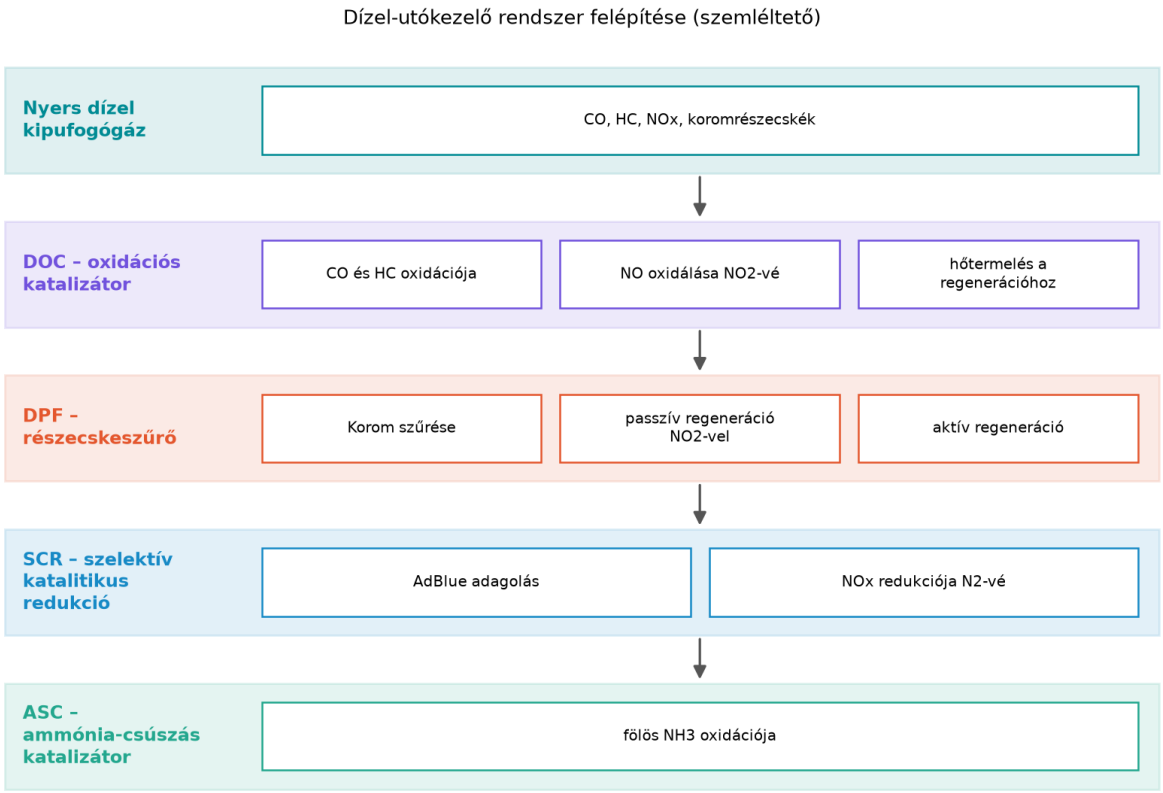
21.3.1. Motiváció

Egy ügyfél azzal hozza be dízel autóját, hogy „szervizre szorul a részecskeszűrő”, időnként füstöl, és hosszú városi használat után mintha gyengébb lenne a motor. A műhelyben a rendszerteszter DPF-regenerációt vagy éppen SCR-rendszer hibáját mutatja. Ahhoz, hogy a hibát ne csak tünetileg kezeljük, ismernünk kell a korszerű dízelmotorok kipufogógáz-utókezelő rendszerének felépítését: miért van szükség oxidációs katalizátorra, részecskeszűrőre és NOx-utókezelésre, hogyan működik az AdBlue-adagolás, és miért életveszélyes vagy jogellenes a rendszerek kiiktatása.

21.3.2. Szemléletes kép

Képzeljük el a kipufogógáz útját a motortól a kipufogócső végéig. A nyers dízel kipufogógáz szén-monoxidot (CO), elégetlen szénhidrogéneket (HC), nitrogén-oxidokat (NOx) és koromrészecskéket (PM) tartalmaz. A mai személygépkocsikban a gáz először jellemzően egy **oxidációs katalizátoron (DOC)**, majd egy **részecskeszűrőn (DPF)**, ezután pedig egy **NOx-utókezelő**

egységen halad át – ez lehet **NOx-tároló katalizátor (NSC)** vagy **szelektív katalitikus redukció (SCR)** AdBlue-adagolással. A sorrend gyártótól és motorváltozattól függ, a lényeg azonban az, hogy mindegyik elem más káros anyagot alakít át vagy távolít el.



21.7. ábra. Dízel-utókezelő rendszer felépítése (szemléltető) - A rétegek a kipufogógáz áramlási irányában követik egymást; a sorrend típusfüggő, egyes rendszerekben az SCR a DPF előtt is lehet.

A fenti rétegábra a tipikus sorrendet mutatja. A gyakorlatban az ECU a hőmérséklet-, nyomás- és NOx-érzékelők jelei alapján vezérli a regenerációt és az AdBlue-befecskendezést.

21.3.3. Definíciók és rendszerszemlélet

Definíció. A **dízel oxidációs katalizátor (DOC, diesel oxidation catalyst)** olyan katalitikus bevonatú, méhsejt-szerkezetű elem, amely a kipufogógázban lévő szén-monoxidot és elégetlen szénhidrogéneket szén-dioxiddá és vízzé oxidálja, továbbá a nitrogén-monoxid (NO) egy részét nitrogén-dioxiddá (NO_2) alakítja. A keletkező NO_2 a részecskeszűrő passzív regenerációjában is részt vesz.

Definíció. A **dízel részecskeszűrő (DPF, diesel particulate filter)** olyan, jellemzően kerámia (cordierit vagy szilícium-karbid) alapú szűrő, amely a kipufogógáz koromrészecskéit mechanikusan visszatartja. A felhalmozódott kormot időszakosan, magas hőmérsékleten oxidálják (regenerálják).

Definíció. A **NOx-tároló katalizátor (NSC, NOx storage catalyst; más néven LNT, lean NOx trap)** olyan katalizátor, amely szegény keverékű (oxigénfelesleges) üzemben a NOx-ot

kémiailag megköti, majd rövid, gazdag keverékű (oxigénhiányos) fázisban redukáló közegben nitrogénné alakítja.

Definíció. A **szelektív katalitikus redukció (SCR, selective catalytic reduction)** olyan NOx-csökkentő eljárás, amelyben a kipufogógázba juttatott karbamid-oldatból (AdBlue) ammónia (NH_3) keletkezik, és ez a katalizátor felületén a NOx-ot nitrogénné (N_2) és vízzé (H_2O) redukálja.

Definíció. Az **AdBlue** 32,5 tömegszázalékos, nagy tisztaságú karbamid-oldat (AUS 32, aqueous urea solution), amely az SCR-rendszer redukálószerének forrása. Fagyáspontja körülbelül -11 °C (ellenőrizendő: a termékre vonatkozó ISO 22241 szabvány szerinti pontos érték).

Összefüggés. A dízel-utókezelő lánc célja, hogy a motor hatásfokának megőrzése mellett a jogszabályi határértékek alá szorítsa a CO, HC, NOx és részecske-kibocsátást. A folyamat hőmérsékletfüggő: a DOC jellemzően 200–300 °C felett kezd hatékonyan működni, a DPF aktív regenerációja 550–650 °C körüli hőmérsékletet igényel, az SCR pedig 180–400 °C közötti tartományban dolgozik jól (ellenőrizendő: a konkrét gyártói értékek).

21.3.4. Felépítés és működés

21.3.4.1. Oxidációs katalizátor (DOC)

A DOC felépítése hasonlít az Otto-motorok háromutas katalizátorához: fém vagy kerámia hordozó, amelynek csatornáit nagy fajlagos felületű, nemesfém-tartalmú (jellemzően platina, palládium) bevonat borítja. A dízelmotorok szegény keverékkel működnek, ezért a háromutas katalizátor itt nem alkalmazható, a DOC viszont oxigénfeleslegben is oxidálja a CO-t és a HC-t:

$$2\,\mathrm{CO} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\,\mathrm{CO_2}$$

Az elégetlen szénhidrogének pedig szén-dioxiddá és vízzé égnek el a katalizátor felületén:

$$\mathrm{C}_x\mathrm{H}_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)\mathrm{O_2} \rightarrow x\,\mathrm{CO_2} + \frac{y}{2}\,\mathrm{H_2O}$$

A DOC további fontos feladata a **NO oxidálása NO_2-vé**:

$$2\,\mathrm{NO} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\,\mathrm{NO_2}$$

Ez a reakció azért kulcsfontosságú, mert a keletkező NO_2 erős oxidálószer; a részecskeszűrőben tárolt kormot már 250–350 °C körül is oxidálni tudja, ami a passzív regeneráció alapja. A DOC az aktív regeneráció során is szerepet kap: utóinjektálással vagy kipufogó-üzemanyag-befecskendezéssel bejuttatott szénhidrogén a katalizátoron oxidálódik, és a felszabaduló hő felmelegíti a mögötte lévő DPF-et.

21.3.4.2. NOx-tároló katalizátor (NSC/LNT)

Az NSC a DOC-hoz hasonló hordozón NOx-tároló anyagokat (jellemzően bárium-oxid) és nemesfém katalizátort tartalmaz. Működése két ütemben történik:

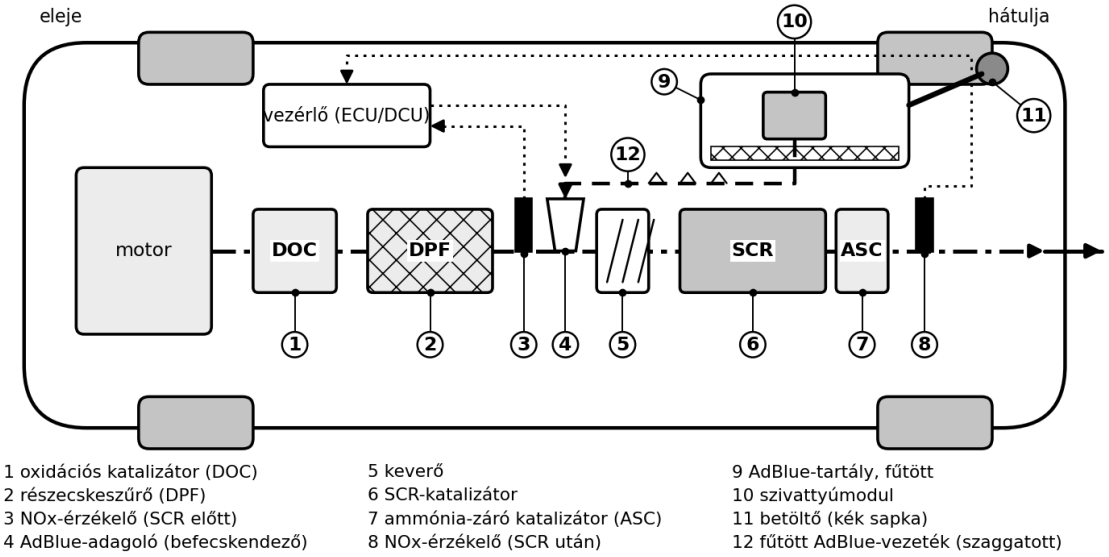
1. **Tárolási fázis (szegény üzem).** A motor hosszú ideig oxigénfelesleggel jár, ezért a katalizátor felületén a NO először NO_2-vé oxidálódik, majd a bárium-karbonáttal nitrát ($Ba(NO_3)_2$) formájában kémiailag megkötődik.
2. **Regenerálási fázis (gazdag üzem).** A motorvezérlő rövid időre (néhány másodpercre) oxigénhiányos keveréket állít be, például késői beinjektálással vagy a szívóoldali fojtással. Ilyenkor a nitrát elbomlik, a felszabaduló NOx pedig a redukáló anyagok (CO, HC, H_2) segítségével nitrogénné redukálódik.

Az NSC előnye, hogy nem igényel külön AdBlue-tartályt és -adagolót, ezért kisebb járművekben gyakori. Hátránya, hogy a tároló kapacitása korlátozott, a regenerálás üzemanyag-fogyasztás-növekedéssel jár, és kéntartalmú tüzelőanyaggal a tároló anyag mérgeződhet (szulfátosodás). A korszerű rendszerekben ezért az NSC mellett vagy helyett gyakran SCR-t alkalmaznak.

21.3.4.3. Szelektív katalitikus redukció (SCR) és AdBlue

Az SCR-rendszer fő elemei:

- AdBlue-tartály (gyakran fűtéssel),
- AdBlue-szivattyú vagy nyomásmodul,
- adagolószelep (injektor) a kipufogórendszerben,
- keverő (mixer), amely az AdBlue-t finoman elporlasztja és a gázárammal elegyíti,
- SCR-katalizátor (jellemzően vanádium- vagy zeolit alapú),
- ammónia-csúszás katalizátor (ASC, ammonia slip catalyst), amely a fel nem használt ammóniát oxidálja,
- NOx-érzékelők az SCR előtt és után,
- hőmérséklet-érzékelők,
- a motorvezérlő (vagy külön adagoló-vezérlő) által irányított rendszermodul.



21.8. ábra. Az SCR-rendszer elemeinek elrendezése a járművön, alulnézeti vázlat: oxidációs katalizátor, részecskeszűrő, NOx-érzékelők, AdBlue-adagoló, keverő, SCR- és ammónia-záró katalizátor, fűtött AdBlue-tartály szivattyúmodullal és fűtött vezetékkel (sematikus; a sorrend típusfüggő)

A vázlaton a kipufogógáz a DOC (1) és a DPF (2) után az első NOx-érzékelőhöz (3) ér; ezután az adagoló (4) fecskendezi be az AdBlue-t, amelyet a keverő (5) oszlat el, majd az SCR-katalizátor (6) és az ammónia-záró katalizátor (7) következik, végül a második NOx-érzékelő (8). Az AdBlue a fűtött tartályból (9) a szivattyúmodulon (10) és a fűtött vezetéken (12) át jut az adagolóhoz; a betöltő (11) kék sapkás. A szerelő a hibakeresésnél ezeket az elemeket keresi.

Az SCR működése során a kipufogórendszerbe fecskendezett AdBlue először a forró gázban **termolízissel** ammóniára és izociánsavra bomlik:

$$(\mathrm{NH_2})_2\mathrm{CO} \rightarrow \mathrm{NH_3} + \mathrm{HNCO}$$

Az izociánsav ezután vízgőzzel **hidrolízissel** további ammóniává és szén-dioxiddá alakul:

$$\mathrm{HNCO} + \mathrm{H_2O} \rightarrow \mathrm{NH_3} + \mathrm{CO_2}$$

A keletkező ammónia az SCR-katalizátoron a NOx-ot nitrogénné redukálja. A leggyakoribb úgynevezett normál SCR-reakció:

$$4\,\mathrm{NO} + 4\,\mathrm{NH_3} + \mathrm{O_2} \rightarrow 4\,\mathrm{N_2} + 6\,\mathrm{H_2O}$$

Ha a DOC előzőleg NO₂-ot is termelt, akkor a gyors SCR-reakció játszódik le:

$$2\,\mathrm{NO} + 2\,\mathrm{NO_2} + 4\,\mathrm{NH_3} \rightarrow 4\,\mathrm{N_2} + 6\,\mathrm{H_2O}$$

A gyors reakció alacsonyabb hőmérsékleten is hatékony, ezért a DOC és az SCR együttműködése fontos. Az adagolt AdBlue mennyisége a NOx-tömegáramtól függ: ha túl kevés, a NOx nem

alakul át, ha túl sok, a fölösleges ammónia kijuthat a légkörbe (ammónia-csúszás, NH3-slip), amit az ASC oxidál:

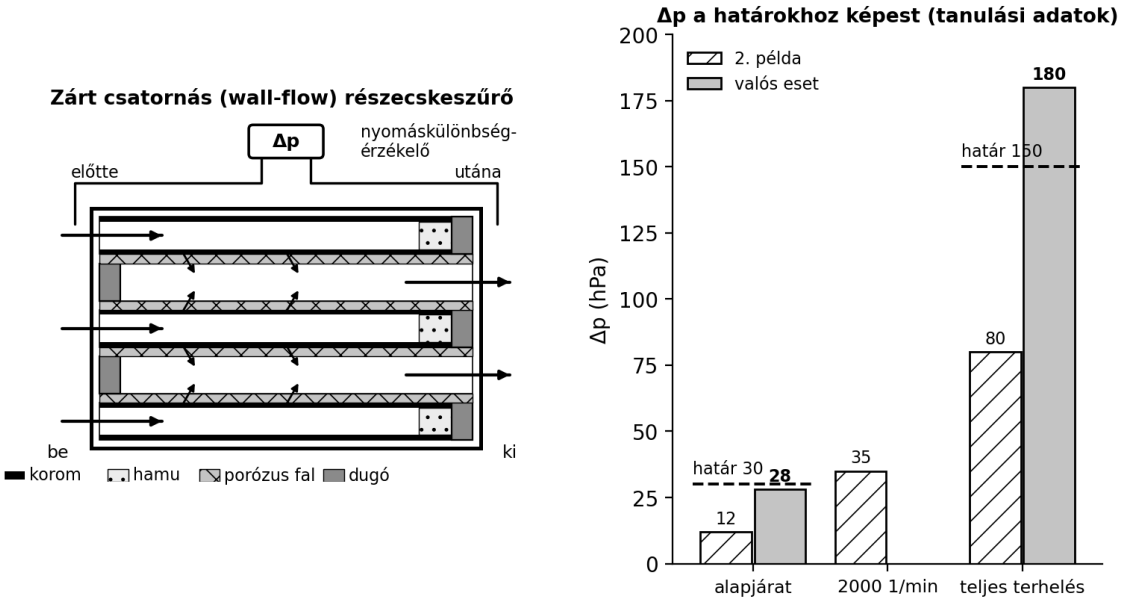
$$4\,NH_3 + 3\,O_2 \rightarrow 2\,N_2 + 6\,H_2O$$

Kristályosodás és fagyás. Az AdBlue vizes oldat, amely −11 °C körül megfagy. A befagyott folyadék térfogata megnő, ezért a tartályt, a vezetékeket és az adagolót fűteni kell. A jármű indítása után a rendszer fűtőbetétekkel vagy hűtőfolyadék-körrel felolvasztja az AdBlue-t. Ha a folyadék beszárad vagy kristályosodik, fehér lerakódás keletkezhet az adagolószelepen és a keverőn, ami eltömítheti a rendszert. A kristályosodásra hajlamos helyeken a gyártók gyakran úgy vezetik a rendszer nyomásmentesítését, hogy a leállítás után a vezetékekből visszaszívják a folyadékot a tartályba.

21.3.4.4. Részecskeszűrő (DPF)

A DPF leggyakoribb kivitele a **zárt csatornás (wall-flow) szűrő**. A méhsejt-szerkezet csatornáinak be- és kimenete felváltva van lezárva: a kipufogógáz belép a nyitott végű csatornába, de mivel a másik vége zárt, a gáz a porózus falon keresztül szivárog át a szomszédos, kimeneti oldalon nyitott csatornába. A koromrészecskék a falon fennakadnak, a megtisztult gáz pedig távozik.

A szűrőben felhalmozódó korom mennyiségét a vezérlő elsősorban a **nyomáskülönbség-érzékelő** jeléből, valamint számítási modellekből becsli. Az érzékelő a DPF előtti és utáni nyomást méri; minél több a korom, annál nagyobb az áramlási ellenállás, tehát annál nagyobb a nyomáskülönbség. A rendszer ezen kívül hőmérséklet-érzékelőket is használ.



21.9. ábra. A zárt csatornás részecskeszűrő hosszmetszete (gázút, korom- és hamuréteg, Δp-érzékelő) és a mért nyomáskülönbségek a példahatárokhoz képest: 2. kidolgozott példa és a valós eset (tanulási adatok, ellenőrizendő)

A metszeten a gáz a nyitott bemeneti csatornákba lép, a porózus falon át jut a szomszédos kimeneti csatornákba; a korom a bemeneti csatornák falán, a hamu azok végén gyűlik. A jobb oldali oszlopok szerint a 2. példa értékei (12 és 80 hPa) a 30, illetve 150 hPa-es példahatár alatt

vannak, a valós eset 28 hPa-es alapjárati értéke még éppen alatta, a 180 hPa-es teljes terhelésű viszont fölötte – ezért ott regeneráció indokolt. A HTML-változatban saját mért értékek és határok is megadhatók.

A DPF regenerációjának két alapvető módja van:

1. **Passzív regeneráció.** Ha a kipufogógáz hőmérséklete tartósan elég magas (például országúti vagy autópályás üzemben), és a DOC elegendő NO₂-ot termel, a korom folyamatosan, lassan oxidálódik. Ez az üzemanyag-fogyasztást nem növeli, mert a motor külön beavatkozás nélkül biztosítja a feltételeket.
2. **Aktív regeneráció.** Ha a passzív oxidáció nem elég, a vezérlő szándékosan megemeli a kipufogógáz hőmérsékletét 550–650 °C környékére. Ezt befecskendezési stratégiákkal (késői fő befecskendezés, kipufogóütemű vagy utóinjektálás) vagy a kipufogórendszerbe épített külön üzemanyag-befecskendezővel érik el. A hő hatására a korom szén-dioxiddá ég:

$$\mathrm{C} + \mathrm{O_2} \rightarrow \mathrm{CO_2}$$

Az aktív regeneráció során a motorvezérlő jellemzően emelt alapjáratot tart, és a folyamat néhány perctől néhány tíz percig tarthat. Ha az aktív regeneráció nem fejeződik be, mert a járművet leállítják, a rendszer a következő út során újra próbálkozik.

Kényszerregenerálás. Amikor a jármű városi, rövid távú használat miatt már nem tudta végrehajtani az aktív regenerációt, és a koromtöltet elér egy kritikus szintet, a gyártói diagnosztikai műszerrel kényszerregenerálást lehet indítani. Ezt csak megfelelő körülmények között (jól szellőztetett műhely, megfelelő hűtőfolyadék- és olajhőmérséklet, hibamentes érzékelők) szabad elvégezni, a gyártói eljárás szerint. A kényszerregenerálás magas kipufogógáz-hőmérséklettel jár, ezért a jármű alatt vagy közelében éghető anyag nem lehet.

Figyelem. A kényszerregenerálás 20–30 percig járó motort és 600–650 °C-os kipufogógázt jelent. Zárt térben csak hőálló kipufogógáz-elszívóval (a szokásos gumitömlő megolvadhat) vagy a gyártó szerint szabadtéren szabad végezni; a jármű a folyamat alatt nem hagyható felügyelet nélkül, a kipufogóvég 1–2 m-es körzetében nem lehet éghető anyag, tűzoltó készülék legyen kéznél (értékek tanulási példák, ellenőrizendő: gyártói eljárás).

Hamutartalom. A szűrő nemcsak kormot, hanem a motorolajból és a tüzelőanyagból származó éghetetlen hamut is visszatart. A hamu nem ég el a regeneráció során, ezért a DPF hosszú futásteljesítmény után hamuval telítődik. A hamu eltávolítása jellemzően csak speciális tisztítóberendezéssel vagy szűrőcserével lehetséges. A DPF élettartamát ezért a megfelelő alacsony hamutartalmú motorolaj (low SAPS) használata is védi.

21.3.5. Kidolgozott példák

21.3.5.1. 1. példa – AdBlue-fogyasztás becslése

Adott: Egy dízel személygépkocsi gázolaj-fogyasztása 6,5 l/100 km. Az SCR-rendszer AdBlue-adagolása a gyártótól és a terheléstől függően jellemzően a gázolaj-fogyasztás 3–5%-a (térfogatra, ellenőrizendő: gyártói adat). Tegyük fel, hogy a jármű átlagos AdBlue-fogyasztása a gázolaj-fogyasztás 4%-a.

Keresett: AdBlue-fogyasztás 100 km-re és 20 000 km éves futásra.

Megoldás:

$$V_{\text{AdBlue, 100}} = 6{,}5\,\text{l} \cdot 0{,}04 = 0{,}26\,\text{l}/100\ \text{km}.$$

Éves futásra:

$$V_{\text{AdBlue, év}} = 0{,}26\,\text{l}/100\ \text{km} \cdot 20\,000\,\text{km} = 52\,\text{l}.$$

Ellenőrzés: 52 liter évente körülbelül havi 4,3 liter, ami egy átlagos autó esetén reális nagyságrend (ellenőrizendő: a típusra jellemző tényleges fogyasztás).

21.3.5.2. 2. példa – DPF nyomáskülönbség és regeneráció

Adott: Egy DPF-rendszer nyomáskülönbség-érzékelője a jármű diagnosztikai műszerén alapjáraton 12 hPa (kb. 12 mbar) értéket mutat, 2000 1/min fordulatszámon terheletlen állapotban 35 hPa, teljes terhelésen pedig 80 hPa értéket mérünk. A gyártói javítási útmutató szerint a koromtöltet magas, ha az alapjárati nyomáskülönbség meghaladja a 30 hPa-t, vagy ha a teljes terhelésű érték tartósan 150 hPa fölé emelkedik (tanulási példa, ellenőrizendő: gyártói adat).

Keresett: Állapítsuk meg, hogy a mért értékek normálisak-e, és indokolt-e aktív regeneráció.

Megoldás: A mért alapjárati 12 hPa és teljes terhelésű 80 hPa értékek a megadott határértékek alatt vannak, tehát a szűrő koromtöltete valószínűleg nem kritikus. Az értékek emelkedő tendenciája viszont azt jelzi, hogy a szűrő fokozatosan telítődik, ezért a járművel érdemes hosszabb, magasabb terhelésű utat megtenni a passzív regeneráció elősegítésére. Ha a rendszerteszter koromtöltet-modellje is magas értéket mutat, gyártói eljárás szerint aktív vagy kényszerregenerálás indítható.

21.3.5.3. 3. példa – NOx-átalakítási hatásfok

Adott: Az SCR előtti NOx-érzékelő 450 ppm NOx-ot mutat, az SCR utáni érzékelő pedig 45 ppm értéket. **Keresett:** Az SCR-rendszer átalakítási hatásfoka.

Megoldás:

$$\eta_{\text{NOx}} = \frac{450 - 45}{450} = \frac{405}{450} = 0{,}9 = 90\,\%.$$

Ellenőrzés: A 90% feletti NOx-átalakítás egy kiforrott, meleg SCR-katalizátoron reális. Hideg motoron vagy hibás AdBlue-adagolás esetén az érték jelentősen rosszabb lehet.

21.3.6. Előírások és környezetvédelem

Előírás. A dízelüzemű járművek típusjóváhagyásához az Európai Unióban a típusjóváhagyási keretrendszer és a kibocsátási előírások szerint meghatározott szén-monoxid-, szénhidrogén-, nitrogén-oxid- és részecske-kibocsátási határértékeket kell teljesíteni (ellenőrizendő: a hatályos EU-rendelet pontos száma, a jelenleg érvényes Euro 6d/Euro VI szakasz és a vizsgálati ciklusok – WLTP, WHSC/WHTC – előírásai). A korszerű dízelmotorok az Euro 5/6 (személygépkocsik és kisteherautók) és Euro VI (nehézgépjárművek) szintjén jellemzően részecskeszűrőt és/vagy NOx-utókezelő rendszert (SCR vagy NSC) igényelnek. A fedélzeti diagnosztika (EOBD) kötelezően figyeli az utókezelő rendszer hatékonyságát, és meghibásodás esetén hibakódot tárol, valamint

a műszerfalon figyelmeztető lámpát kapcsol (ellenőrizendő: az EOBD-re vonatkozó hatályos előírások).

Környezetvédelem. A dízel-utókezelő rendszerek eltávolítása, a DPF, SCR, EGR vagy AdBlue-rendszer manipulálása, a katalizátor kiürítése vagy a szoftveres módosítás tilos és jogellenes. Az ilyen beavatkozás a jármű típusbizonyítványát érvényteleníti, a közúti ellenőrzésen vagy műszaki vizsgán azonnali elégtelenséget vonhat maga után, és a jármű kibocsátása a sokszorosára nőhet (ellenőrizendő: a hatályos hazai közlekedési és környezetvédelmi jogszabályok szankciói). A hibás DPF-ből eltávolított korom, hamu, valamint az elhasznált katalizátor veszélyes hulladék lehet; a szűrőket és katalizátorokat a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó előírások szerint kell gyűjteni és leadni. Az AdBlue a bőrt és a szemet irritálhatja, a kiömlött folyadékot fel kell itatni; a beszáradt karbamid lerakódás meleg vízzel tisztítható.

Figyelem. A DPF regeneráció során a kipufogórendszer hőmérséklete és a kipufogógáz hőmérséklete nagyon magas, akár 600–650 °C is lehet. A regenerációt ezért csak jól szellőztetett helyen, éghető anyagoktól távol, a gyártói eljárás szerint szabad végezni. Zárt térben járó motornál kötelező a kipufogógáz-elszívás. Az AdBlue-adagoló rendszer nyomás alatt állhat; a rendszert csak a gyártó által megadott nyomásmentesítés után szabad szerelni.

21.3.7. Minőségellenőrzés

A dízel-utókezelő rendszerek ellenőrzése a következő mérésekkel történhet:

1. **OBD-hibakódok kiolvasása.** A DPF, SCR, AdBlue és DOC hibái jellemzően hibakódot adnak (pl. szűrőtöltet túl magas, regeneráció elmaradása, AdBlue-adagolóhiba, NOx-átalakítási hatásfok alacsony – a konkrét kódok gyártófüggők).
2. **Élő adatok megfigyelése.** Vizsgáljuk a DPF nyomáskülönbségét, a kiszámított koromtöltet, a regeneráció állapotát, a kipufogógáz-hőmérsékleteket, az SCR előtti/utáni NOx-értékeket, az AdBlue-szintet és -nyomást.
3. **Nyomáskülönbség-érzékelő ellenőrzése.** A csövek sérülésmentesek, nem cseréltek-e fel, az érzékelő nullpontja megfelelő-e (gyújtás bekapcsolva, álló motornál jellemzően 0 hPa körüli érték).
4. **AdBlue-minőség és fagyás.** Ellenőrizzük a folyadék szintjét, és ha a hiba fagyásra vagy kristályosodásra utal, vizsgáljuk a tartályfűtés, a vezetékfűtés és az adagoló működését. A tüzelőanyaggal vagy vízzel szennyezett AdBlue refraktométerrel vagy vezetőképesség-méréssel kiszűrhető (ellenőrizendő: a gyártói vizsgálati módszer).
5. **Kényszerregenerálás után.** A regenerálás akkor sikeres, ha a nyomáskülönbség és a koromtöltet értéke a gyártói határ alá csökken, és a regeneráció állapota „befejezve” jelzést mutat.

21.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset – DPF-el nem regenerálódó városi dízelautó. A tulajdonos elmondja, hogy autójával szinte csak 3–5 km-es városi utakat tesz meg, és a műszerfalon időnként világít a részecskeszűrő-figyelmeztető lámpa. A rendszerteszter a DPF nyomáskülönbségét alapjáraton 28 hPa, teljes terhelésen 180 hPa értéket mutat, a koromtöltet modellje pedig 80%-os. A hibakódok között gyakori regeneráció-elmaradásra utaló bejegyzés szerepel.

Vizsgálat. A szerviz először ellenőrzi, hogy nincs-e más hiba (EGR-szelep elakadás, tömegáram-mérő szennyezett, turbófeltöltő töltőnyomás-hiba), mert ezek megakadályozhatják a regenerációt. Ezután a gyártói diagnosztikai műszerrel elindítja a kényszerregenerálást megfelelő körülmények között, hőálló elszívóval, felügyelet mellett. A folyamat alatt a hűtőfolyadék-hőmérsékletet, a

kipufogógáz-hőmérsékletet és a nyomáskülönbséget figyelik. A regeneráció végén a koromtöltet 10% alá csökken, a nyomáskülönbség alapjáraton 8 hPa lesz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Tanulság. A tisztán városi használat nem kedvez a DPF-nek, ezért az ügyfélnek javasolni kell, hogy hetente legalább egyszer tartós, meleg motort igénylő utat tegyen. Ha ez nem lehetséges, a jármű kiválasztásánál érdemes figyelembe venni a használati módot.

Eset – SCR/AdBlue kristályosodás. Egy másik járműben az SCR-rendszer hibát jelez, a NOx-átalakítási hatásfok alacsony. A szerviz az AdBlue-tartályt és az adagolót átvizsgálva fehér kristályos lerakódást talál az adagolószelep környékén. A fagyáspontmérés azt mutatja, hogy az AdBlue összetétele megfelelő, ezért a hiba oka a beszáradás és a nem megfelelő leürítés. A gyártói útmutató szerint az adagolót tisztítják, a vezetékeket átöblítik, és ellenőrzik a visszaszívó funkciót. A javítás után az SCR hatásfoka visszaáll 90% fölé.

21.3.9. Tipikus hibák

1. **Hiba: A DPF eltávolítása vagy kiürítése.** A koromszűrő eltávolítása, a kerámiamag kifúrása vagy a rendszer szoftveres kiiktatása tilos. A jármű a beavatkozás után füstöl, a NOx- és részecske-kibocsátás megnő, és a hatósági vizsgán azonnal elutasítható. **Helyes gyakorlat:** a hibás DPF-et gyári vagy jóváhagyott utángyártott egységre cseréljük, és a regeneráció feltételeit helyreállítjuk.
2. **Hiba: AdBlue helyett víz vagy más folyadék betöltése.** A víz, fagyálló vagy rossz minőségű karbamid-oldat tönkreteheti az SCR-katalizátort és az adagolót. **Helyes gyakorlat:** csak a gyártó által előírt, szabványos AUS 32 AdBlue-t használjunk, és a tartályt megfelelően jelöljük.
3. **Hiba: A kényszerregenerálás indítása hideg motorral vagy hibás érzékelőkkel.** A regeneráció nem lesz hatékony, és a motorolaj hígulhat üzemanyaggal. **Helyes gyakorlat:** először a motor hőmérsékletét és az alaprendszereket ellenőrizzük, csak azután indítsunk regenerálást.
4. **Hiba: A regeneráció megszakítása.** Ha a vezető a folyamat közben leállítja a motort, a regeneráció félbemarad, és a korom tovább halmozódik. **Helyes gyakorlat:** ha a műszerfalon jelzés világít, a gyártói utasítás szerint járjunk el; ha lehet, ne állítsuk le a motort a folyamat alatt.
5. **Hiba: A nyomáskülönbség-érzékelő csöveinek felcserélése.** A felcserélt vagy sérült csövek téves méréshez vezetnek, ezért a vezérlő hamisan ítélheti meg a koromtöltetet. **Helyes gyakorlat:** a csöveket mindig jelöljük meg, és az eredeti nyomvonalnak megfelelően szereljük vissza.

21.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a DOC a NO-ot NO_2-vé oxidálja, és ezzel a DPF passzív regenerációját segíti? Indokolj!
2. Írd le az SCR-rendszer legfontosabb reakcióját, és nevezd meg a redukálószer forrását!
3. Mekkora az AdBlue fagyáspontja, és miért kell fűteni a tartályt és a vezetékeket?
4. Mi a különbség a DPF passzív és aktív regenerációja között?
5. Miért tilos a DPF, SCR vagy EGR manipulálása? Sorolj fel legalább két következményt!
6. Számold ki: ha egy autó gázolaj-fogyasztása 7,0 l/100 km, az AdBlue-fogyasztás pedig a gázolaj-fogyasztás 5%-a, mennyi AdBlue fogy 15 000 km-en?

21.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a DOC, DPF, NSC és SCR rövidítések jelentését, és írd le mindegyik fő feladatát egy-egy mondatban!

2. feladat (A). Egy DPF nyomáskülönbség-érzékelője alapjáraton 8 hPa, teljes terhelésen 60 hPa értéket mutat. A gyártói adat szerint az alapjárati határ 25 hPa, a teljes terhelésű határ 140 hPa. Normális-e a szűrő állapota? Indokolj!

3. feladat (B). Az SCR előtti NOx-érzékelő 500 ppm értéket, az utáni érzékelő 75 ppm értéket mutat. Számítsd ki a NOx-átalakítási hatásfokot! Ha a hatásfok 85% alá csökken, hibakód tárolódik (feltételezett példa), most várható-e hibakód?

4. feladat (B). Rendezd helyes sorrendbe a dízel-utókezelő elemeket a kipufogógáz áramlási irányában, ha a jármű DOC, DPF, SCR és ASC elemekkel rendelkezik! Indokold, miért előnyös, ha a DOC a DPF előtt van!

5. feladat (C). Egy városi dízelautó DPF-rendszere rövid utak miatt rendszeresen nem tud aktív regenerációt végrehajtani. Magyarázd el a passzív regeneráció feltételeit, és javasolj legalább két olyan intézkedést, amely csökkenti a DPF eltömődésének kockázatát!

6. feladat (D). A diagnosztikai műszer magas DPF-koromtöltetet és magas nyomáskülönbséget mutat, de a szűrőt fizikailag megvizsgálva a csatornák nem tűnnek eltömődöttnek. A nyomáskülönbség-érzékelő csövei épek és nincsenek felcserélve. Mi lehet a hiba? Sorolj fel legalább két lehetséges okot, és írd le, hogyan döntenéd el, melyik áll fenn!

21.3.12. Megoldások

21.3.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A DOC oxidálja a NO-ot NO_2-vé, és a keletkező NO_2 erős oxidálószer, amely a DPF-ben lerakódott kormot már 250–350 °C körül oxidálni tudja, vagyis passzív regenerációt biztosít.
2. A legfontosabb SCR-reakció: $4\,NO + 4\,NH_3 + O_2 \rightarrow 4\,N_2 + 6\,H_2O$. A redukálószer forrása az AdBlue (32,5%-os karbamid-oldat), amelyből termolízissel és hidrolízissel ammónia keletkezik.
3. Az AdBlue fagyáspontja körülbelül −11 °C. Fűteni kell, mert a fagyott AdBlue térfogata megnő, és a tartály, a vezetékek vagy az adagoló sérülhet; a befagyott folyadék megakadályozza a NOx-csökkentést.
4. Passzív regeneráció: a DOC által termelt NO_2 a kormot folyamatosan, magasabb kipufogógáz-hőmérsékletű üzemben (pl. országúti haladás) oxidálja, a motor külön beavatkozása nélkül. Aktív regeneráció: a vezérlő szándékosan 550–650 °C-ra emeli a kipufogógáz-hőmérsékletet (pl. utóinjektálással), hogy a felhalmozódott kormot elégesse.
5. A DPF, SCR vagy EGR manipulálása tilos: a jármű kibocsátása a határérték fölé nő, a típusbizonyítvány érvényét veszti, a műszaki vizsga elutasítható, és egészségkárosító anyagok kerülnek a levegőbe. Ezenkívül a beavatkozás jogellenes és büntethető.
6. $V_{\text{AdBlue, 100}} = 7{,}0\,\text{l} \cdot 0{,}05 = 0{,}35\,\text{l}/100\ \text{km}$; 15 000 km-re: $0{,}35\,\text{l}/100\ \text{km} \cdot 150 = 52{,}5\,\text{l}$. Tehát körülbelül 53 liter AdBlue fogy.

21.3.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A).
- DOC: dízel oxidációs katalizátor; oxidálja a CO-t és HC-t, NO_2-ot termel és hőt szolgáltat a DPF-regenerációhoz.
- DPF: dízel részecskeszűrő; mechanikusan kiszűri a koromrészecskéket.
- NSC: NOx-tároló katalizátor; szegény üzemben tárolja a NOx-ot, gazdag fázisban redukálja nitrogénné.
- SCR: szelektív katalitikus redukció; AdBlue-ból ammóniát állít elő, amely a NOx-ot N_2-vé és H_2O-vá redukálja.

2. feladat (A). A mért alapjárati $8\,\text{hPa} < 25\,\text{hPa}$ és a teljes terhelésű $60\,\text{hPa} < 140\,\text{hPa}$, tehát a nyomáskülönbség a határértékek alatt van. A szűrő állapota valószínűleg normális; a koromterhelés még nem indokol regenerációt.

3. feladat (B).

$$\eta_{\text{NOx}} = \frac{500 - 75}{500} = \frac{425}{500} = 0{,}85 = 85\%.$$

Mivel a 85 % pontosan a küszöbértéken van, de nem alatta, hibakód még nem várható; az érték azonban a határon van, ezért a rendszert (AdBlue-minőség, adagoló, NOx-érzékelők) tovább kell vizsgálni.

4. feladat (B). Helyes sorrend: DOC → DPF → SCR → ASC. A DOC előnyös a DPF előtt, mert NO_2-ot termel, amely a szűrő passzív regenerációját segíti, és a DOC-ban lejátszódó exoterm reakciók hője is előmelegíti a DPF-et.

5. feladat (C). A passzív regeneráció feltétele a kellően magas kipufogógáz-hőmérséklet és a DOC által termelt NO_2 jelenléte. Városi rövid utakon a motor és a kipufogórendszer nem melegszik fel, ezért a passzív oxidáció elmarad. Javaslatok: hetente legalább egyszer tartós, meleg motort igénylő út (pl. országúti haladás); a motorolaj előírt low SAPS-olajra cseréje; a levegőszűrő és a befecskendezők karbantartása, hogy ne növekedjen a koromképződés; a regenerációhoz szükséges rendszerek (EGR, turbó, hőmérséklet-érzékelők) hibamentessége.

6. feladat (D). Ha a DPF fizikailag nincs eltömődve, de a diagnosztika magas koromtöltetet és nyomáskülönbséget jelez, lehetséges okok:
- a nyomáskülönbség-érzékelő hibás (eltolódott nullpont, elektromos hiba),
- a koromtöltet-modell hamis értéket számol (például korábbi sikertelen regenerációk miatt, vagy a szoftver frissítésre szorul),
- a nyomásmérő csövek részben eltömődtek, szűkültek vagy hegesztettek,
- a DPF előtti hőmérséklet- vagy nyomásérzékelő hibás adatot szolgáltat.

Döntési lehetőség: először hasonlítsuk össze a tényleges nyomáskülönbséget egy külső, kalibrált nyomásmérővel a gyártói mérési ponton. Ha az érték alacsony, az érzékelőt vagy a csöveket ellenőrizzük. Ha az érték magas, a szűrő vagy a kipufogórendszer eltömődését kell vizsgálni (pl. ellennyomás-mérés a DOC előtt).

21.3.13. Rövid összefoglaló

A korszerű dízelmotorok kipufogógáz-utókezelése négy fő elemből állhat: a DOC oxidálja a CO-t és a HC-t, valamint NO_2-ot termel; a DPF mechanikusan kiszűri a kormot; a NOx-tároló katalizátor (NSC) vagy az SCR-rendszer csökkenti a nitrogén-oxidokat; az ASC a fölösleges ammóniát oxidálja. A DPF passzív regenerációja NO_2-vel, folyamatosan, magasabb hőmérsékleten zajlik; aktív regenerációja pedig a vezérlő által 550–650 °C-ra emelt hőmérsékleten égeti el a kormot.

Az SCR-rendszer AdBlue-ból termolízissel és hidrolízissel ammóniát állít elő, amely a NOx-ot nitrogénné és vízzé redukálja. Az AdBlue −11 °C körül fagy meg, kristályosodásra hajlamos, ezért a rendszert fűteni kell. A DPF nyomáskülönbség-érzékelője a koromterhelést becsli; a kényszerregenerálást csak a gyártói eljárás szerint, ellenőrzött körülmények között szabad végezni. A DPF, SCR, EGR vagy AdBlue-rendszer eltávolítása és manipulálása tilos, jogellenes, és a hatósági vizsgán elégtelenséget von maga után. **Továbbvitt eredmény.** A DPF és SCR működését és regenerációs stratégiáját felhasználjuk a(z) Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok, a(z) Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára, valamint a(z) Gázelemzés és füstölésmérés alfejezetekben.

21.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hatályos uniós és hazai környezetvédelmi és közlekedési jogszabályok, ENSZ-EGB (ECE) előírások a kipufogógáz-kibocsátásról és fedélzeti diagnosztikáról, gyártói javítási utasítások és katalógusadatok, az AdBlue minőségére vonatkozó ISO 22241 szabvány.

Ellenőrizendő állítások: az Euro 5/6 és Euro VI pontos hatálya, az aktuális kibocsátási határértékek és vizsgálati ciklusok (WLTP, WHSC/WHTC), a DPF regenerációs hőmérséklet-tartományok és nyomáskülönbség-határértékek (gyártói adat), a NOx-átalakítási hatásfokra vonatkozó hibakód-küszöb, az AdBlue fagyáspontjának pontos értéke, valamint a kibocsátásvédelmi rendszerek manipulálására vonatkozó szankciók. A megadott számértékek mind tanulási példák.

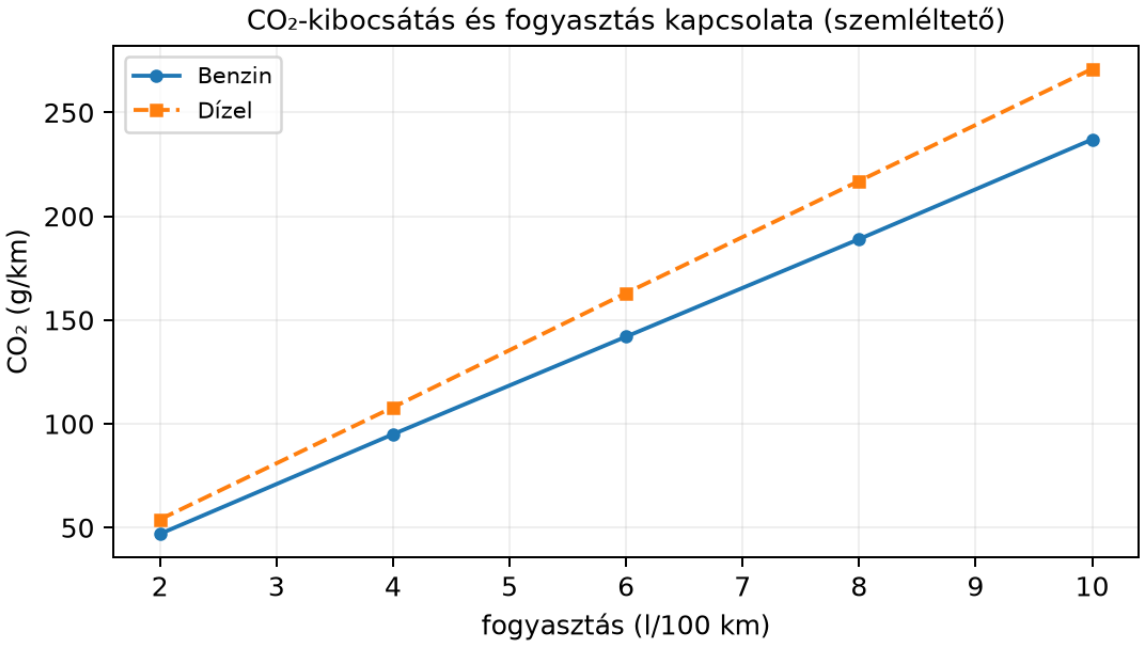
21.4. Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok

21.4.1. Motiváció

A műhelyben gyakori beszélgetés: az ügyfél megvesz egy használt autót, és azt kérdezi, hogy a járműve „Euro 6-os-e”, mert a belvárosi behajtási zónában csak ilyen autóval parkolhat. Egy másik ügyfél LPG-re szeretné alakíttatni az autóját, mert az gázüzemben olcsóbb, de nem tudja, hogy a 15 éves szívómotorja alkalmas-e rá, és milyen időszakos tartályvizsgálatot kell majd betartani. A szervizben ezek a kérdések akkor is előjönnek, amikor a műszaki vizsga előtt a környezetvédelmi felülvizsgálaton az emissziós értékeket nézzük, vagy amikor az AdBlue-rendszer hibáját keressük. Ebben az alfejezetben összekötjük a kipufogógáz-utókezelést a jármű hivatalos besorolásával, a fogyasztással és a tüzelőanyag-választással.

21.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy egyszerű grafikont, amelyen a vízszintes tengely a fogyasztás, a függőleges tengely pedig a szén-dioxid-kibocsátás. A benzin és a gázolaj eltérő meredekségű egyenest rajzol, mert a gázolaj sűrűbb és szénben gazdagabb, ezért literenként több CO_2 keletkezik. Ugyanakkor a dízelmotor fogyasztása gyakran alacsonyabb, így a valós kibocsátás a két hatás eredője. A grafikonról leolvasható, hogy egy 6 l/100 km-es benzines autó nagyjából 140 g/km CO_2-t, míg egy ugyanilyen fogyasztású dízel nagyjából 160 g/km CO_2-t bocsát ki.



21.10. ábra. CO2-kibocsátás és fogyasztás kapcsolata (szemléltető) - Szemléltető, számított adatsor a szövegben megadott fajlagos értékek alapján; nem mérési eredmény.

A későbbi fejezetekben, például a vizsgafelkészülés során ezt a „Euro-osztály, tüzelőanyag, fogyasztás” összefüggést kell majd szakszerűen elmagyaráznunk.

21.4.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Az **Euro-norma** a közúti járművek típusjóváhagyásához előírt kipufogógáz-kibocsátási osztály, amely az adott járműkategóriára meghatározza a szén-monoxid (CO), a szénhidrogén (HC), a nitrogén-oxidok (NO_x), a részecsketömeg (PM) és – az újabb osztályoknál – a részecskeszám (PN) határértékeit. A jármű forgalmi engedélye és a gyártói adattábla jelöli az emissziós besorolást.

Összefüggés. A tüzelőanyag elégetésekor az üzemanyagban lévő szénből szén-dioxid (CO_2) keletkezik. Közelítőleg:

$$m_{\mathrm{CO_2}} = V_{\mathrm{ü}} \cdot \rho \cdot w_{\mathrm{C}} \cdot \frac{44}{12},$$

ahol $m_{\mathrm{CO_2}}$ a keletkező CO_2 tömege, $V_{\mathrm{ü}}$ az elégetett tüzelőanyag térfogata, ρ a tüzelőanyag sűrűsége, w_{C} a széntartalom tömegaránya, $\frac{44}{12}$ pedig a CO_2 és a szén móltömegének aránya. Fogyasztásra vetítve:

$$\frac{m_{\mathrm{CO_2}}}{L} = C \cdot 10 \cdot \rho \cdot w_{\mathrm{C}} \cdot \frac{44}{12},$$

ahol C a fogyasztás l/100 km-ben, az eredmény pedig g/km-ben adódik. Benzinre tipikusan $\rho \approx 0{,}75\,\mathrm{kg/l}$ és $w_{\mathrm{C}} \approx 0{,}86$, így a szorzó $23{,}65\,\mathrm{g/km}$ per l/100 km. Gázolajra $\rho \approx 0{,}85\,\mathrm{kg/l}$ és $w_{\mathrm{C}} \approx 0{,}87$, így a szorzó $27{,}1\,\mathrm{g/km}$ per l/100 km. **Ez közelítés, nem hatósági mérési eljárás.**

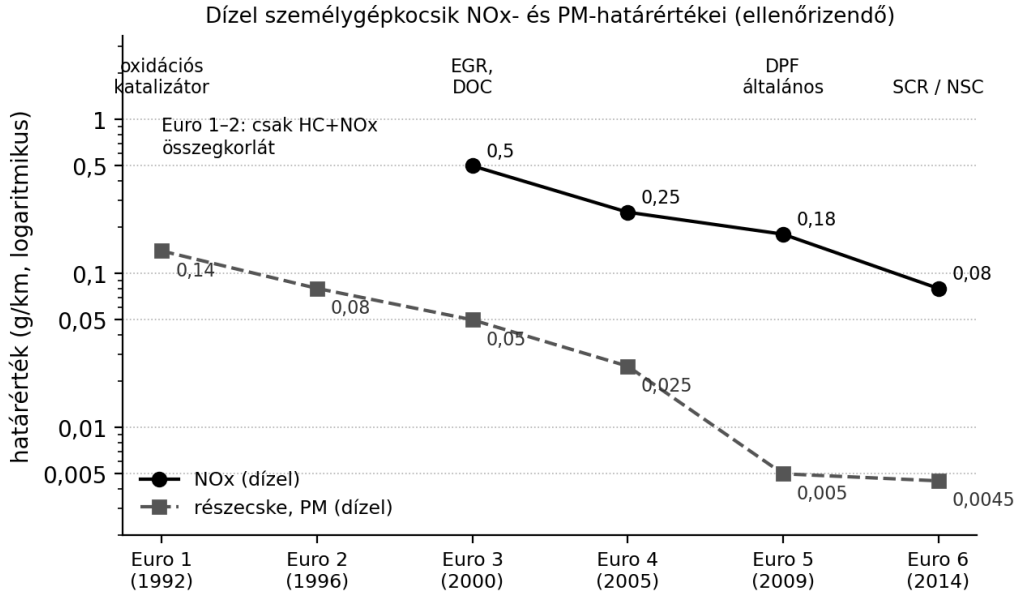
Szabály. A CO_2-kibocsátás nem azonos az Euro-normában szabályozott károsanyag-kibocsátással: a CO_2 az üvegházhatású gázok közé tartozik, és a fogyasztással arányos, míg a CO, HC, NO_x és PM lokális légszennyezők, amelyeket a motor és az utókezelés csökkent.

Előírás. Az EU típusjóváhagyás keretében a motoroknak meg kell felelniük a hatályos Euro-kibocsátási osztálynak; a forgalomba helyezéshez és a forgalomban tartáshoz a jármű környezetvédelmi besorolása szükséges (ellenőrizendő: a hatályos alaprendelet, pl. (EU) 2018/858 és a kibocsátási végrehajtási rendeletek). A laboratóriumi WLTP- és a valós vezetési RDE-vizsgálat összekapcsolása a típusjóváhagyás része; a határértékek és az alkalmazási időpontok gyakran változnak (ellenőrizendő: a mindenkori hatályos Euro-osztály).

Környezetvédelem. A használt motorolaj, a tüzelőanyag maradéka, a gáztartályok eltávolítása és a hűtőfolyadék veszélyes hulladék. A hibás lambdaszonda, a kiürült AdBlue-tartály, a katalizátor vagy a részecskeszűrő kiiktatása jogellenes és a levegőminőséget rontja; a szervizben csak szakszerű javítás végezhető.

21.4.4. Az Euro-normák fejlődése és a vizsgálati ciklusok

Az Euro-normák a kezdetektől fokozatosan szigorodtak. Az első osztályok (Euro 1–2) elsősorban a CO és HC határértékét csökkentették, és kötelezővé tették a szabályozott katalizátort a benzinmotoroknál. Az Euro 3–4 megjelenése az EOBD rendszerrel és a dízelek NO_x- és részecske-kibocsátásának korlátozásával járt. Az Euro 5–6 korszakban a dízelmotoroknál a részecskeszűrő, majd a NO_x-csökkentő utókezelés (NSC vagy SCR) vált gyakorlatilag általánossá. A jelenlegi, szigorított Euro 6d és az arra épülő további szakaszok a valós közúti mérésekre is hangsúlyt helyeznek (ellenőrizendő: a hatályos fázisnevek és az Euro 7 átmenet időpontja).



21.11. ábra. Dízel személygépkocsik NOx- és részecske-határértékei Euro 1-től Euro 6-ig, logaritmikus skálán, a megjelenő utókezelési technológiákkal (a számok a megjelenés előtt a hatályos jogszabályból ellenőrizendők)

A diagram logaritmikus skáláján jól látszik a nagyságrendi csökkenés: a dízel NOx-határ Euro 3-tól Euro 6-ig kb. a hatodára (0,50 → 0,08 g/km), a részecskehatár Euro 1-től Euro 6-ig kb. a harmincad részére (0,14 → 0,0045 g/km) csökkent (ellenőrizendő). Euro 1–2-nél még csak HC +

NOx összegkorlát volt. Ez magyarázza, miért vált a DPF Euro 5-től, a NOx-utókezelés (SCR vagy NSC) Euro 6-tól gyakorlatilag általánossá. A HTML-változatban a benzines értékek és a lineáris skála is megjeleníthető.

A régi, kizárólag laboratóriumi NEDC-ciklust a **WLTP** (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) váltotta fel, amely nagyobb sebességeket, gyorsabb gyorsulásokat és reálisabb üzemállapotokat használ, ezért ugyanarra a járműre általában magasabb CO_2- és fogyasztásértéket ad, mint a NEDC. Az **RDE** (Real Driving Emissions) vizsgálat közúton, hordozható mérőrendszerrel (PEMS) ellenőrzi a NO_x- és részecske-kibocsátást; ezzel a laboratóriumi trükközés nehezebbé vált. A haszonjárművek és nehéz tehergépkocsik motorjaira külön Euro I–VI osztályokat írnak elő, eltérő vizsgálati ciklusokkal (WHSC, WHTC – ellenőrizendő: pontos jelölés).

21.4.4.1. Az Euro-besorolás gyakorlati helye

A műhelyben a legfontosabb, hogy a jármű azonosító okmányaiból és az adattáblából olvassuk ki a környezetvédelmi besorolást. Magyarországon a forgalmi engedélyben az uniós V.9 rovat a környezetvédelmi kategóriát (Euro-osztályt) adja meg, a hazai környezetvédelmi osztály-kód pedig számmal jelöli a besorolást (ellenőrizendő: a pontos rovat és a kódtábla a hatályos jogszabály szerint). A katalógus- és típusadatokból a motor és az utókezelő rendszer felépítése is a besoroláshoz köthető.

21.4.5. CO_2-szabályozás és a fogyasztás kapcsolata

A CO_2-kibocsátás nem része a klasszikus Euro határértékeknek, hanem az éghajlatvédelem és az energiapolitika területén külön szabályozzák. Az új személygépkocsikra az EU flottaszintű CO_2-célértéket ír elő, amelyet a gyártóknak a járműpark átlagára kell teljesíteniük; az érték évtizedről évtizedre csökken, a túllépés pedig bírságot von maga után (ellenőrizendő: a mindenkori célszám és az ösztönző/bírság rendszer). Ezért a gyártók a fogyasztást csökkentő hibrid, részleges hibrid és elektromos hajtások felé mozdultak el, és a jármű fedélzeti számítógépe is pontosan méri a fogyasztást.

Számítás. A fenti képlet szerint:

$$m_{\mathrm{CO_2/km}} = C \cdot 10 \cdot \rho \cdot w_{\mathrm{C}} \cdot \frac{44}{12}.$$

Például benzinre a szorzó 23,65 g/km per l/100 km, gázolajra 27,1 g/km per l/100 km.

Példa. Egy benzines autó fogyasztása 5,8 l/100 km. A közelítő CO_2-kibocsátása:

$$m_{\mathrm{CO_2}} = 5{,}8 \cdot 23{,}65 = 137\,\mathrm{g/km}.$$

Példa. Egy dízelautó CO_2-kibocsátása 118 g/km. A közelítő fogyasztása:

$$C = \frac{118}{27{,}1} = 4{,}35\,\mathrm{l/100\ km}.$$

A két példa a számítás menetét mutatja (a két autó nem összehasonlítható). Azonos CO_2-kibocsátáshoz dízelből kevesebb liter elég, mert a gázolaj literenként több szenet tartalmaz (27,1 vs. 23,65 g/km per l/100 km).

21.4.6. Alternatív tüzelőanyagok

Az alábbiakban a leggyakoribb alternatív gáz- és folyékony tüzelőanyagok műhelyi szempontból legfontosabb jellemzőit foglaljuk össze.

Tüzelőanyag	Tárolás / nyomás	Jellemző előny	Jellemző hátrány / kockázat
LPG (autógáz)	cseppfolyós, kb. 8 bar	alacsonyabb ár, kisebb CO_2- és részecske-kibocsátás (ellenőrizendő)	sűrűbb gőz, mélygarázs-korlát, tartályvizsgálat
CNG (földgáz)	sűrített gáz, 200 bar	nagy oktánszám, alacsony CO_2/energia	nagy nyomás, nagy tartály, kisebb hatótáv
Bioetanol (E10/E85)	folyékony, benzinhez keverve	megújuló, magas oktánszám	anyagkompatibilitás, hidegindítás
Biodízel (FAME) / HVO	dízelhez keverve vagy tisztán	megújuló, kevesebb korom	üzemanyag-rendszer-kompatibilitás, oxidáció
Hidrogén (cellás vagy égetésű)	sűrített gáz (350–700 bar) vagy folyékony	lokálisan nulla CO_2	tárolás, töltőinfrastruktúra, érzékeny technológia
Szintetikus üzemanyag	folyékony, mint a benzin/dízel	a meglévő motorokban változtatás nélkül használható (drop-in), megújuló elv	gyártási energiaigény, költség

Megjegyzés. A táblázat minőségi, tanulási áttekintés; a tárolási nyomások és a kompatibilitási előírások a gyártó és a hatályos szabályozás szerint változnak (ellenőrizendő).

21.4.6.1. LPG-üzem

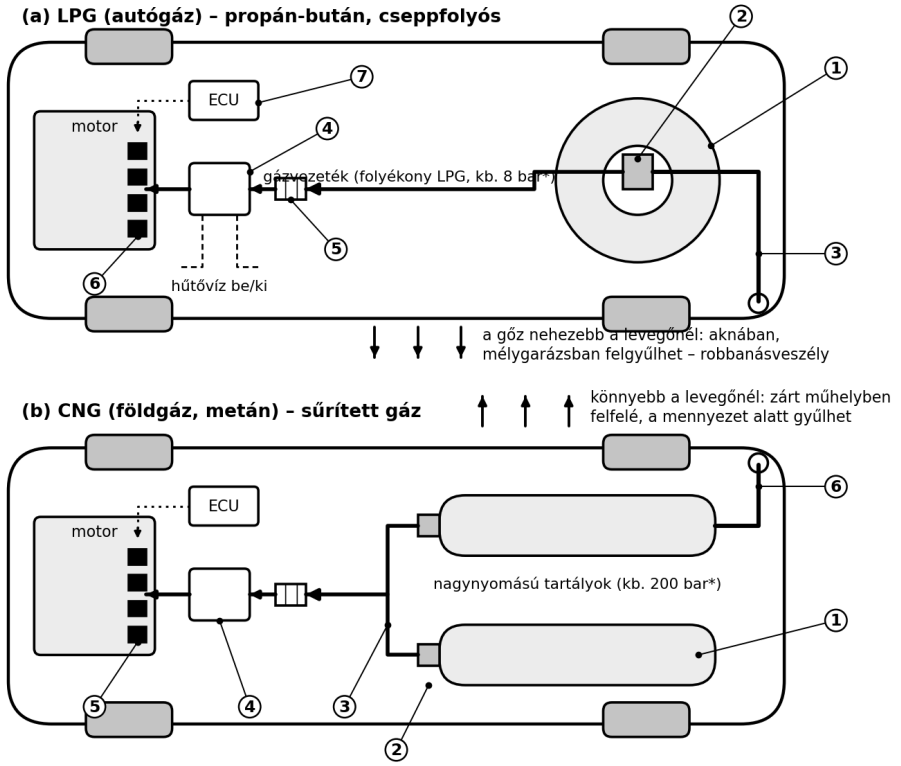
Az LPG (autógáz) propán-bután keverék, amely a tartályban cseppfolyós állapotban, kb. 8 bar nyomáson van. A rendszer fő elemei: a tartály (általában a pótkerék helyén vagy a padló alatt), a tartálycsonkon lévő biztonsági mágnesszelep és túlfolyásgátló, a párologtató-nyomáscsökkentő, valamint a gázbefecskendező szelepek. A folyékony gáz a párologtatóban gáz halmazállapotúvá válik, nyomása csökken, majd a motor elektronikus vezérlője a gázadagolót úgy szabályozza, hogy a keverék összetétele a benzinüzeméhez hasonló legyen. A modern, soronkénti LPG-befecskendezés pontos üzemanyag-elosztást biztosít, és motorhiba esetén automatikusan visszakapcsol benzinre.

Figyelem. Az LPG-gőz nehezebb a levegőnél, ezért zárt, rosszul szellőző helyen, mélygarázsban vagy aknában felgyűlhet; szivárgás esetén robbanásképes keverék alakulhat ki. Gáztartály bontása, hegesztése vagy javítása tilos; az LPG-tartályt a hatályos előírások szerint időszakosan nyomáspróbával és szemrevételezéssel kell vizsgálni (ellenőrizendő: a hazai időszakos vizsgálati gyakoriság és tartalmi követelmények).

21.4.6.2. CNG-üzem

A sűrített földgáz (CNG) elsősorban metán, amelyet a jármű tartályában 200 bar körüli nyomáson tárolnak. A motor oldalán nagy nyomású, többlépcsős nyomáscsökkentő csökkenti le a befecskendezők számára megfelelő értékre. A metán nagy oktánszáma miatt a motor nagyobb sűrítési aránnyal vagy feltöltéssel üzemelhet, de az átalakítatlan benzinmotor csak csökkentett teljesítménnyel használja. A CNG-tartályok nagyobb helyet foglalnak, a hatótáv általában kisebb, mint benzin- vagy LPG-üzemben.

Figyelem. A CNG-tartály nagy nyomású, ezért sérült vagy korrodált tartályt, csővezetéket és nyomáscsökkentőt soha ne javítsunk házi módszerrel. A földgáz könnyebb a levegőnél, ezért zárt műhelyben felfelé szellőzik; a szivárgás robbanásveszélyes, a tartályvizsgálatot a hatályos nyomástartó edény-előírások szerint kell végezni (ellenőrizendő: időszakosság és vizsgálóhely).



LPG: ① tartály ② multiszelep ③ betöltő ④ párologtató-nyomáscsökkentő ⑤ gázszűrő ⑥ gázbefecskendezők ⑦ ECU
CNG: ① tartályok ② tartályszelep ③ nagynyomású vezeték ④ nyomáscsökkentő ⑤ gázbefecskendezők ⑥ betöltő * ellenőrizendő (R67/R110)

21.12. ábra. Az LPG- és a CNG-rendszer elemei a járművön (felülnézeti vázlat). Biztonság: az LPG-gőz nehezebb a levegőnél, aknában és mélygarázsban felgyűlhet; a földgáz könnyebb, zárt műhelyben a mennyezet alatt gyűlhet; gáztartályt bontani, hegeszteni, házilag javítani tilos (a szerelvények és nyomások ellenőrizendők: ENSZ-EGB R67/R110)

Az LPG-rendszerben a tóruszalakú tartály multiszelepéből a cseppfolyós gáz a párologtató-nyomáscsökkentőbe jut, ahol a hűtővíz hője elpárologtatja; a gáz innen a gázszűrőn át a gázbefecskendezőkhöz kerül. A CNG-rendszerben a nagynyomású tartályokból a tartályszelepen és a nagynyomású vezetéken át a többlépcsős nyomáscsökkentő adja a gázt a befecskendezőknek. A HTML-változatban a két rendszer között át lehet váltani, és rámutatásra megjelenik az elemek neve.

21.4.6.3. Bioüzemanyagok, hidrogén és szintetikus tüzelőanyagok

A **bioetanol** erjesztésből származó etil-alkohol, amelyet benzinnel kevernek. Az E10 jelölés legfeljebb 10% bioetanolt tartalmaz; a jármű töltősapkáján vagy a kezelési útmutatóban jelölik, hogy a motor engedélyezett-e E10-re. A régebbi, tömítéseiben és üzemanyagcsöveiben nem ellenálló járműveken az E10 magasabb oldószerhatása szivárgást, a vízmegkötő hajlama pedig korróziót okozhat. Az E85 rugalmas üzemű (flex fuel) járművekhez való, és jelentősen magasabb etanoltartalma miatt hidegindítási segédlete szükséges.

A **biodízel** (FAME) növényi olajokból vagy állati zsírokból készült metil-észter, amelyet dízelhez kevernek. A **HVO** (hidrogénezett növényi olaj) kémiailag tisztább, nagy cetánszámú, jól keverhető hagyományos gázolajjal, és kevesebb lerakódást okoz. A dízel befecskendező rendszerek anyagkompatibilitása és az üzemanyagszűrő gyakoribb cseréje miatt a gyártó engedélyét mindig ellenőrizni kell.

A **hidrogén** tüzelőanyag-cellás járműben elektromos áramot termel, vagy belső égésű motorban elégethető; lokálisan nulla CO_2-kibocsátású. A tárolás 350–700 bar nyomáson vagy folyékony hidrogénként történik, ezért a rendszer anyagai, a tömítések és a szivárgásérzékelők kritikusak. A hidrogén rendkívül széles gyúlékonysági tartománya miatt a gyártói szivárgásvizsgálat és a szellőztetés kiemelt munkahelyi követelmény.

A **szintetikus üzemanyagok** (e-fuels, PtL) megújuló villamos energiából készült, a hagyományos benzinnel vagy gázolajjal elegyíthető folyékony tüzelőanyagok. Előnyük, hogy a meglévő járműparkban szinte változtatás nélkül használhatók, de a gyártás energiaigénye és költsége jelenleg magas. A gyártói jóváhagyás és a szabvány szerinti minőség itt is elsőbbséget élvez.

21.4.7. Minőségellenőrzés

A műhelyben az emissziós besorolást és a tüzelőanyag-kompatibilitást az alábbi lépésekkel ellenőrizzük:

1. Járműazonosítás: alvázszám, motorszám és a gyártói szoftveres adatbázis vagy a forgalmi engedély szerinti környezetvédelmi osztály.
2. Az utókezelő rendszer elemeinek megléte: katalizátor, részecskeszűrő, SCR/AdBlue-egység, lambdaszondák – szemrevételezéssel és a diagnosztikai kiolvasással.
3. EOBD/OBD readiness: a kipufogógáz-utókezelést felügyelő monitorok állapota; csak kész (ready) állapotban mehet a jármű a hatósági emissziós vizsgálatra.
4. Tüzelőanyag-töltősapka és a kezelési útmutató jelölése az E10/E85, LPG/CNG vagy dízel-bio keverékek engedélyezésére.
5. Gáztartályos járműveknél a tartályvizsgálati matrica és az érvényességi idő ellenőrzése.

A gyártói javítási utasítások és a hatályos műszaki vizsga-előírások itt is elsőbbséget élveznek.

21.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy használtautó-vásárlás előtti műhelyi átvizsgáláson az ügyfél 2007-es dízel személygépkocsit hozott. A forgalmi engedély szerint a környezetvédelmi besorolás „Euro 4” volt. A város, ahová az ügyfél naponta bejárna, a behajtási zónában Euro 5 vagy magasabb osztályt írt elő (a behajtási feltétel helyi rendeletben szerepel – ellenőrizendő). A diagnosztikai műszerrel kiolvastuk a motorkódokat, és megállapítottuk, hogy a jármű nem rendelkezik gyári részecskeszűrővel, a NO_x-tároló katalizátora pedig öreg. Az ügyfélnek elmagyaráztuk, hogy a jármű nem felel meg a zóna követelményének, és a besorolás nem változtatható meg egyszerű szereléssel, mert a

típusjóváhagyáshoz kötött; osztálymódosítás csak a hatóság által elfogadott, típusjóváhagyott utólagos rendszerrel és a hatóság eljárásában lehetséges (ellenőrizendő). A tanulság: a műszaki vizsgán az emissziós mérés a régi, kisebb osztályú járműnél is sikeres lehet, de a behajtási korlátozás külön szabály.

Egy másik esetben egy 2003-as benzinmotoros autó tulajdonosa E10-es benzint tankolt, amitől a tüzelőanyag-szintadó tömítése megduzzadt és enyhe szivárgás jelentkezett. A gyártói anyagkompatibilitási lista szerint a típus nem volt E10-re engedélyezett. A javítás során a tüzelőanyagrendszer érintett rugalmas elemeit E10-álló változatra cseréltük, és az ügyfélnek javasoltuk, hogy csak E5-ös benzint tankoljon.

21.4.9. Gyakorlati útmutató

21.4.9.1. Emissziós besorolás és tüzelőanyag-kompatibilitás ellenőrzése a szervizben

Cél: annak megállapítása, hogy a jármű mely Euro-osztályba tartozik, és mely tüzelőanyagokat szabad használni.

Jármű- és adatazonosítás: rendszám, alvázszám, motorszám; a forgalmi engedély emissziós rovata (ellenőrizendő: rovatjelölés); a gyártói típusadat.

Szükséges eszközök: diagnosztikai rendszerteszter, zseblámpa, digitális fényképezőgép vagy telefon, a gyártói online szervizadatbázis elérése, szivárgáskereső spray gázüzemű járműhöz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Gáztartályos járművön a gázrendszer bontását csak arra jogosított és a tartályvizsgálati előírásokat ismerő személy végezheti.

Munkalépések:

1. Gyújtás ki, a jármű rögzítése (kézifék, sebességváltó P vagy 1. fokozat, alátéték).
2. Olvasd ki a jármű azonosító adatait, és rögzítsd a forgalmi engedély környezetvédelmi besorolását.
3. Keresd meg a gyártói adattáblán vagy a motortérben az emissziós kódot, és hasonlítsd össze a gyártói adatbázisban szereplő típusjóváhagyási adattal.
4. Szemrevételezéssel ellenőrizd a kipufogórendszer utókezelő elemeit: katalizátor, DPF, SCR-katalizátor, AdBlue-befecskendező, lambdaszondák. Egy hiányzó vagy kiütött elem típusjóváhagyási eltérést jelent.
5. Kösd be a rendszertesztert, olvasd ki az emissziós rendszer hibakódjait és a readiness-monitorok állapotát.
6. Nézd meg a töltősapkán vagy a betöltőnyílásnál a tüzelőanyag-jelölést (pl. „E10”, „E85”, „Diesel”, „AdBlue”, „CNG”).
7. Gázüzemű járműnél ellenőrizd a tartályvizsgálati címké(k) érvényességét, és szivárgáskereső spray-vel vizsgáld meg a csatlakozókat.
8. Dokumentáld az eredményeket a munkalapon; a besorolást és a kompatibilitást foglald írásba az ügyfél számára.

Ellenőrzési pontok: a gyártói adathoz képest az utókezelő elemek azonosíthatók; a rendszerteszter nem jelez emissziós hibakódot; a readiness-monitorok kész állapotúak; a tartályvizsgálati matrica a hatályos határidőn belül van (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

Tipikus hibák: a környezetvédelmi osztály összekeverése a CO_2 értékkel; a tüzelőanyag-jelölés figyelmen kívül hagyása; a gáztartály-vizsgálat elmulasztása.

21.4.10. Tipikus hibák

1. **A CO_2-t Euro-határértékként kezelni.** A CO_2 a fogyasztással arányos üvegházhatású gáz, nem szerepel az Euro 1–6 levegőminőségi határértékei között; az ügyfél „Euro 6 = 95 g/km” képletbe illesztése hibás.
2. **A WLTP-érték azonosítása a régi NEDC-értékkel.** A WLTP nagyobb terheléseket használ, ezért ugyanarra a járműre magasabb fogyasztás és CO_2 adódik; ezt a használtautó-hirdetésben gyakran keverik.
3. **E10 tankolása nem engedélyezett járműbe.** A magasabb etanoltartalom megduzzaszthatja a tömítéseket, vízmegkötéssel korróziót és szegényebb hidegindítást okozhat; ellenőrizni kell a gyártói engedélyt.
4. **CNG/LPG-tartály nyomás alatti bontása.** A nyomáscsökkentő vagy a csővezeték bontásakor a rendszer nyomásmentesítése nélkül gáz áramlik ki; gázfelhő és robbanásveszély.
5. **Az utókezelő „kiváltása” a besorolás megtartása mellett.** A DPF, EGR vagy AdBlue eltávolítása után a jármű nem felel meg az eredeti Euro-osztálynak, és a hatósági ellenőrzésen vagy a közúti emissziómérésen is elbukhat.

21.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az Euro 6-os benzinmotoros jármű CO_2-kibocsátása nem haladhatja meg a 95 g/km-t.
2. Igaz vagy hamis? A WLTP ciklus általában magasabb fogyasztási értéket ad, mint a korábbi NEDC.
3. Számítsd ki: mennyi a közelítő CO_2-kibocsátása egy 7,2 l/100 km fogyasztású benzines autónak?
4. Milyen fizikai különbség van az LPG és a CNG tartálynyomása között, és ez miért fontos a tartályos járműveknél?
5. Miért nem szabad a hiányzó részecskeszűrőt egyszerűen csővel pótolni?
6. Mi a teendő, ha egy 2004-es benzinmotoros autó tulajdonosa E10-es benzint tankol, de a töltősapkán nincs E10-jelölés?

21.4.12. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A 95 g/km az új személygépkocsik EU flottaszintű CO_2-célértéke (ellenőrizendő: az adott időszaki érték), nem az Euro 6 egyedi határértéke.
2. Igaz. A WLTP nagyobb sebességű, gyorsabb és reálisabb ciklus, ezért általában magasabb fogyasztást és CO_2-t ad.
3. $m_{CO_2} = 7{,}2 \cdot 23{,}65 = 170\,\text{g/km}$.
4. Az LPG kb. 8 bar nyomású cseppfolyós gáz, a CNG kb. 200 bar nyomású sűrített gáz (ellenőrizendő: tartályonként). A nagyobb nyomás miatt a CNG-tartály vastagabb falú, kisebb térfogatú és szigorúbb nyomástartó edény-előírást követ.
5. A részecskeszűrő a típusjóváhagyás része, eltávolítása a jármű kibocsátási besorolását érvényteleníti, a koromkibocsátás megnő, és a jármű a hatósági vizsgán elbukik, sőt a forgalomból is kivonható.
6. Ellenőrizni kell a gyártói tüzelőanyag-jóváhagyást; ha a típus nem E10-engedélyes, akkor E5-ös benzint kell használni, és a már feltankolt E10-et le kell cserélni, a rendszert ellenőrizni.

21.4.13. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg, mit jelöl az „Euro 6d” a személygépkocsiknál, és mi a lényegi különbség a laboratóriumi WLTP és az RDE között.

2. feladat (A). Számítsd ki egy 4,9 l/100 km fogyasztású dízelautó közelítő CO_2-kibocsátását g/km-ben.

3. feladat (B). Egy CNG-üzemű autó 5,2 kg földgázt fogyaszt 100 km-en. A földgáz sűrűsége normál állapotban kb. 0,72 kg/m³, fűtőértéke kb. 45 MJ/kg. A benzin sűrűsége 0,75 kg/l, fűtőértéke 32 MJ/l. Hány liter benzin energiaegyenértékének felel meg a 100 km-re eső CNG-fogyasztás?

4. feladat (B). Rajzold le egyszerű kapcsolási vázlaton az LPG-rendszer fő elemeit: tartály, mágnesszelep, párologtató/nyomáscsökkentő, gázadagoló, befecskendezők, motorvezérlő. A testpont és a biztonsági vezeték is szerepeljen.

5. feladat (C). Egy 2009-es, Euro 5 besorolású dízel autó AdBlue-rendszere hibás, és a műszerfalon a „NOx-hiba – indítás letiltva” üzenet jelenik meg. Elemezd, mi történhet, ha valaki a rendszer tesztelését megkerülve a motorvezérlő szoftverét „kiürítésre” módosítja, és milyen szervizkövetkezményei lehetnek.

6. feladat (D). Egy LPG-üzemű autó motorja meleg üzemben, gázüzemben rángat, benzinüzemben hibátlan. Sorold fel a lehetséges okokat a rendszer elemei szerint, és írd le, milyen méréseket végeznél a hibakeresés során.

21.4.14. A feladatok megoldásai

1. feladat. Az Euro 6d a személygépkocsik hatályos, szigorított kibocsátási osztálya, amely már a valós közúti mérési konformitási követelményeket is tartalmazza (ellenőrizendő: a fázis pontos elnevezése és a határértékek). A WLTP laboratóriumi ciklus, amely a görgős fékpadon meghatározott sebesség-idő profilt követ; az RDE közúton, PEMS-műszerrel mér, ezért a valós forgalmi helyzetekben is ellenőrzi a NO_x- és részecske-kibocsátást.

2. feladat. Adott: $C = 4{,}9\,\text{l}/100\,\text{km}$, dízel szorzó $27{,}1\,\text{g/km}$ per l/100 km. Keresett: $m_{\mathrm{CO_2}}$. Képlet: $m_{\mathrm{CO_2}} = C \cdot 27{,}1$. Behelyettesítve: $4{,}9 \cdot 27{,}1 = 132{,}8\,\text{g/km}$, kerekítve $133\,\text{g/km}$. Ellenőrzés: a 4,9 l/100 km dízel reális, a CO_2 130–140 g/km nagyságrendjébe esik.

3. feladat. Adott: CNG-fogyasztás $m_{\mathrm{CNG}} = 5{,}2\,\text{kg}$, fűtőérték $H_{\mathrm{CNG}} = 45\,\text{MJ/kg}$, benzin fűtőérték $H_{\mathrm{benz}} = 32\,\text{MJ/l}$. Keresett: benzin-egyenérték literben. Képlet: energia $= m_{\mathrm{CNG}} \cdot H_{\mathrm{CNG}} = 5{,}2 \cdot 45 = 234\,\text{MJ}$. Benzin térfogat: $V = \frac{234}{32} = 7{,}31$. A CNG-autó 100 km-re 5,2 kg földgáz elfogyasztása tehát körülbelül 7,3 l benzin energiájának felel meg.

4. feladat. A diagram szöveges leírása: a rajz bal oldalán az LPG-tartály, alatta a mágnesszelep; a tartályból folyékony gáz vezet a párologtató-nyomáscsökkentőbe, amelynek hűtőköréből motorhűtőfolyadék melegíti. A nyomáscsökkentő után gáz halad az elosztóhoz, onnan a soronkénti gázbefecskendező szelepekhez a szívócsőbe. A motorvezérlő az akkumulátor és a gyújtáskapcsolás felől kap táplálást, és testpontra van kötve. A mágnesszelep relén keresztül kapcsol be, az ütközésérzékelő vagy a gyújtás kikapcsolása megszakítja. A testpont `31`, a gyújtás `15`, az akkumulátor `30` kapocsjelöléssel szerepel.

5. feladat. Ha a jármű AdBlue- vagy SCR-rendszere hibás, a motorvezérlő szoftveresen letiltja az indítást, hogy ezzel kényszerítse ki az utókezelő javítását. A rendszer kiiktatása vagy a szoftver módosítása jogellenes, a jármű elveszíti a típusjóváhagyási konformitását, a NO_x-kibocsátás megnő, a hatósági RDE-mérésen elbukhat, és a gyártó garanciális/szavatossági felelőssége is

megszűnik. A szerviznek a hibakód alapján az AdBlue-szivattyút, a befecskendezőt, a hőmérséklet- és NO_x-érzékelőket, a vezetékeket és a kivezető katalizátor állapotát kell vizsgálnia, majd a javítás után a rendszerteszterrel el kell végezni az adaptációt és az emissziós readiness futásokat.

6. feladat. Lehetséges okok: az LPG gázadagoló vagy befecskendező szelep hibája meleg üzemben, a párologtató-nyomáscsökkentő elégtelen fűtése vagy a membrán repedése, a gázszűrő szennyeződése, a mágnesszelep vagy a tartálycsonk szivárgása, a motor elektronikus vezérlőjének hibás gázüzemű feltöltése, valamint a gyújtás szikraköz túl nagy, ami gázüzemben nehezebben gyújt. Mérések: először OBD-kiolvasás, az üzemanyag-trimmek és a lambdaszonda jelének ellenőrzése benzin- és gázüzemben; gáznyomás mérése a nyomáscsökkentő után, a párologtató hőmérsékletének mérése, a befecskendező szelepek ellenállásának és működtetésének vizsgálata, valamint a gázrendszer szivárgáskeresése. A hibás elemet a gyártói javítási utasítás szerint kell cserélni, és a javítás után a gázrendszer tömörségvizsgálatát és a próbaútját elvégezni.

21.4.15. Rövid összefoglaló

Az Euro-norma a közúti járművek típusjóváhagyási kipufogógáz-kibocsátási osztálya, amely a CO, HC, NO_x, PM és – újabb osztályoknál – a részecskeszám határértékeit szabja meg. A laboratóriumi WLTP és a valós vezetési RDE együtt ellenőrzi a kibocsátást; a WLTP a fogyasztást is reálisabban adja meg. A CO_2 nem része a klasszikus Euro-határértékeknek, hanem a fogyasztással arányos éghajlatvédelmi mutató: benzinre közelítőleg 23,65 g/km per l/100 km, gázolajra 27,1 g/km per l/100 km a szorzó. Az alternatív tüzelőanyagok közül az LPG cseppfolyós gáz kb. 8 bar nyomáson, a CNG sűrített földgáz kb. 200 bar nyomáson tárolt; a bioetanol, a biodízel/HVO, a hidrogén és a szintetikus üzemanyagok csak a gyártói engedély szerint használhatók. A gáztartályok időszakos vizsgálatát, a szivárgásellenőrzést és az utókezelő rendszer (DPF, SCR, AdBlue, katalizátor) meglétét minden szervizben ellenőriznünk kell. **Továbbvitt eredmény.** Az Euro-besorolás és a tüzelőanyag-választás ismeretét a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok fejezetben összekapcsoljuk a jogszabályi, fogyasztási és utókezelési feladatokkal.

21.4.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az EU típusjóváhagyási keretrendszerére, az ENSZ-EGB emissziós előírásaira (pl. R83, R101 – ellenőrizendő), a hazai műszaki vizsgálati és környezetvédelmi szabályozására, valamint a gyártói tüzelőanyag- és tartályvizsgálati előírásokra épül. Ellenőrizendő: a hatályos Euro-osztály és az Euro 7 átmeneti időpontja, a WLTP/RDE határértékek, a CO_2-flottacélérték, a forgalmi engedély emissziós rovatjelölése, az LPG/CNG-tartály időszakos vizsgálati gyakorisága, a bioüzemanyag-keverékek engedélyezése és a hidrogén-üzemű járművek kezelési előírásai. A számítási példákban megadott sűrűség, széntartalom és fűtőérték tipikus, tanulási érték; a konkrét járműhöz a gyártói adat a mérvadó.

VI. RÉSZ – Erőátvitel, futómű, kormányzás és fékrendszerek

22 Tengelykapcsolók és nyomatékváltók

22.1. Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus

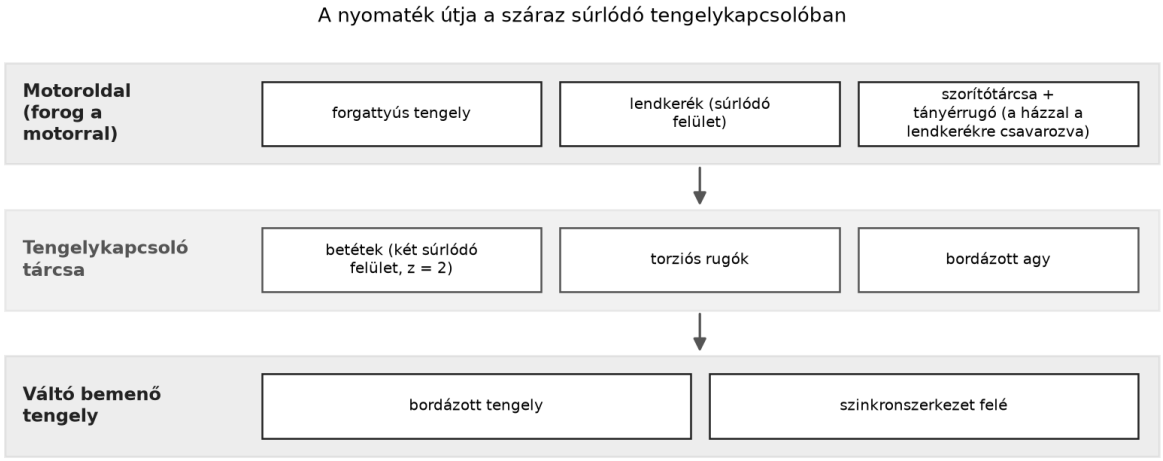
22.1.1. Motiváció

A műhelyben gyakori ügyfélpanasz: „emelkedőn a motor fordulatszáma felugrik, de a kocsi nem gyorsul”, vagy „nehéz váltani, rángat induláskor”. Ilyenkor a szerelő elsőként a tengelykapcsoló – műhelyi nevén kuplung – állapotát vizsgálja. A kuplung ugyanolyan kopó szerkezet, mint a fékbetét, csak éppen a motor forgatónyomatékát kapcsolja. Ha rosszul ítéljük meg a hibáját, feleslegesen szétszedhetjük a váltót, vagy éppen ellenkezőleg: elkopott tárcsával engedjük vissza az autót, amely pár ezer kilométerrel később újra cserére szorul. Ebben az alfejezetben a száraz súrlódó, a kettős tömegű lendkerekes és a hidrodinamikus tengelykapcsoló elvét tanuljuk meg úgy, hogy a hiba okát és a javítás lépéseit is megértsük.

22.1.2. Szemléletes kép

Képzeljük el a motor lendkerekét, amely a forgattyús tengelyhez kapcsolódik, és a váltó felé néz. A lendkerék sík felületéhez nyomódik a tengelykapcsoló tárcsa, amelynek mindkét oldalán súrlódó betét van. A tárcsát a szorítótárcsa (nyomólap) szorítja a lendkerékhez; a szorítóerőt tányérrugó adja. A tárcsa agya a váltó bemenő tengelyének bordázatán csúszik, tehát a súrlódási nyomaték a tárcsán keresztül hajtja a váltót. A pedál lenyomásakor a kinyomócsapágy a tányérrugó belső nyelvére nyom, a rugó elengedi a szorítótárcsát, a súrlódó kapcsolat megszűnik, a motor és a váltó elválik egymástól.

Az alábbi rétegábra a legfontosabb részegységeket mutatja, felülről lefelé haladva a hajtás útján:



22.1. ábra. A nyomaték útja a száraz súrlódó tengelykapcsolóban - Szemléltető réteges felépítés egytárcsás tányérrugós kuplungnál; a nyilak a nyomaték útját jelölik. A működtető elemek (pedál, fő- és munkahenger, kinyomóvilla, kinyomócsapágy) nyomatékot nem visznek, ezért nincsenek a nyomatékútban. A szerkezeti részleteket a gyártói javítási kézikönyv tartalmazza.

A rétegábra nem szerelési rajz, hanem a nyomaték útját mutatja: a lendkerék és a vele együtt forgó szorítótárcsa súrlódással hajtja a tárcsát, a tárcsa bordázott agya pedig közvetlenül a váltó bemenő tengelyét. A működtető elemek (pedál, fő- és munkahenger, kinyomóvilla, kinyomócsapágy) nyomatékot nem visznek, ezért nincsenek az ábra nyomatékútjában. A tényleges csavarkiosztást, a gyártói jelöléseket és a beépítési irányt mindig a gyártói javítási kézikönyv szerint kell ellenőrizni.

22.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A jármű tengelykapcsolója (clutch; „kuplung”) a motor és a hajtáslánc közé épített oldható, nyomatékátvivő kapcsolat, amely lehetővé teszi a motor járását álló járműnél, a nyomaték fokozatos felépítését induláskor, valamint a nyomatékváltó fokozatainak kapcsolását a motor forgatónyomatékának megszakításával.

Definíció. A száraz súrlódó tengelykapcsoló olyan kapcsoló, amely a nyomatékot súrlódó felületpárok súrlódási nyomatékával viszi át, hűtőfolyadék nélkül, levegőben. Személyautókban leggyakrabban egytárcsás, tányérrugós kivitelű.

Összefüggés. A száraz súrlódó tengelykapcsoló átvihető nyomatéka az alábbi képlettel számítható:

$$M_{\mathrm{K}} = z\,\mu\,F_{\mathrm{n}}\,r_{\mathrm{m}}$$

ahol:

- M_{K} – a tengelykapcsolóval átvihető súrlódó nyomaték, Nm-ben;
- z – a súrlódó felületpárok száma, egytárcsás kuplungnál $z = 2$, mert a tárcsa mindkét oldalán súrlódik;
- μ – a betét és a lendkerék/szorítótárcsa közötti súrlódási tényező;
- F_{n} – a szorítóerő, N-ben;
- r_{m} – a súrlódó felület közepes sugara, m-ben.

Szabály. A tengelykapcsolót mindig nagyobb nyomatékra méretezik, mint a motor maximális nyomatéka. A gyakorlatban:

$$M_{\mathrm{K}} \geq \beta\, M_{\mathrm{motor,max}}$$

ahol β a biztonsági tényező, jellemzően 1,3–1,8 közötti érték (ellenőrizendő: gyártói adat). Ha a kuplung ennél kevesebbet visz át, megcsúszik, ha viszont túlzottan erős, a hajtáslánc kapcsolása rángatós és a pedál indokolatlanul nehéz lesz.

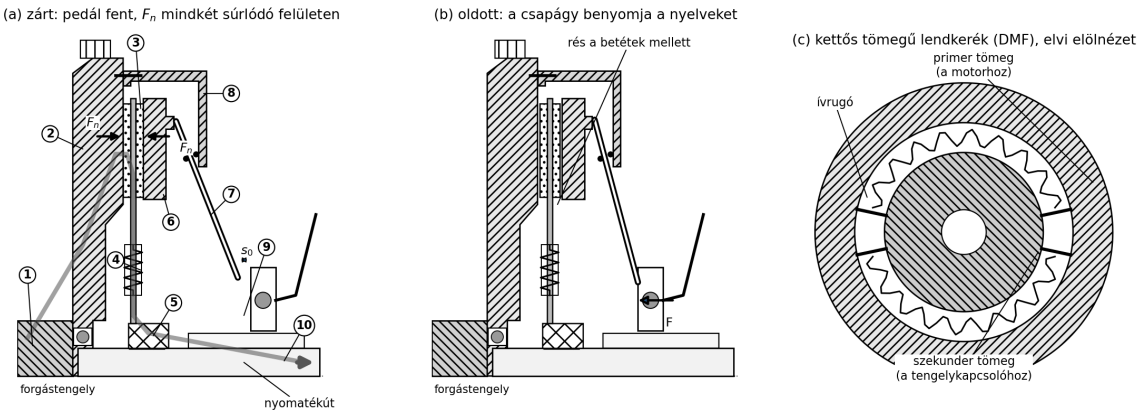
22.1.4. Felépítés és működés

22.1.4.1. Az egytárcsás tengelykapcsoló részei

A modern egytárcsás, tányérrugós kuplung fő részei:

- **Lendkerék:** a forgattyús tengelyhez csavarozott tömeges tárcsa, amelynek egyik oldala súrlódó felület. A lendkerék tárolja a forgási energiát, és kiegyenlíti a motor lökésszerű nyomatékát.
- **Tengelykapcsoló tárcsa:** középen aggyal rendelkezik, amely a váltó bemenő tengelyének bordázatán elmozdulhat, de forgásirányban kötött. A tárcsa két oldalán szegecselt vagy ragasztott súrlódó betétek vannak.
- **Szorítótárcsa (nyomólap):** a tányérrugó a szorítótárcsát a lendkerékhez nyomja, ezáltal a kuplungtárcsa a két felület közé szorul.
- **Tányérrugó:** kúpos, tányér alakú rugó, amely a szorítótárcsára nyomóerőt ad. Előnye, hogy a kopással a szorítóerő kevésbé csökken, mint a csavarrugós megoldásnál.
- **Kinyomócsapágy:** a pedál lenyomásakor a tányérrugó belső nyelvére nyom. A kinyomócsapágy a váltó bemenő tengelyére illeszkedő hüvelyen fut.
- **Kinyomó villa, hidraulikus munkahenger, pedál:** a vezető lábától a kinyomócsapágyig közvetítik az oldóerőt.

Az energiafolyam: a motor forgatja a lendkereket, a lendkerék súrlódása a betéten keresztül viszi a nyomatékot a tárcsára, a tárcsa agya pedig a váltó bemenő tengelyét hajtja.



1 forgattyús tengely · 2 lendkerék · 3 tárcsa betétekkel · 4 torziós rugó · 5 bordázott agy · 6 szorítótárcsa · 7 tányérrugó · 8 kuplungház · 9 kinyomócsapágy · 10 bemenő tengely
Sematikus, nem méretarányos félmetszet; s_0 holtjáték, F_n szorítóerő, szürke sáv: nyomatékút (a betétek két oldalán, z = 2).

22.2. ábra. Egytárcsás tányérrugós tengelykapcsoló félmetszete zárt és oldott állapotban, mellette a kettős tömegű lendkerék elvi vázlata

Az ábra (a) részén a tányérrugó külső pereme a szorítótárcsát a lendkerék felé nyomja, így a tárcsa két betétje két súrlódó felületen ($z = 2$) kapja az F_n szorítóerőt; a kinyomócsapágy és a nyelvek között az s_0 holtjáték látszik. A (b) részen a csapágy a nyelveket a motor felé nyomja, a rugó a billenőpontjain átbillen, a külső perem elengedi a szorítótárcsát, és a betétek mellett rés nyílik. A HTML-változatban a pedálút és a betétkopás csúszkájával követhető, hogyan csökken a szorítóerő és az átvihető nyomaték (az 1. példa adataival zárt állapotban 264,6 Nm), és hogyan fogy el a kopással a holtjáték.

22.1.4.2. Csavarrugós és tányérrugós kivitel

A **csavarrugós** tengelykapcsoló régebbi személyautókban és nehéz haszongépjárművekben található. A szorítóerőt több, a szorítótárcsa hátoldalán egyenletesen elosztott tekercsrugó adja. Előnye a nagyobb állíthatóság, hátránya, hogy a kopással a rugóerő jobban csökken, és a szerkezet nagyobb, nehezebb (ellenőrizendő: gyártói kivitel).

A **tányérrugós** tengelykapcsoló egyszerűbb, könnyebb, olcsóbban gyártható, és a tányérrugó a súrlódó betét kopásakor is jobban megtartja a szorítóerőt. Ma személyautókban szinte kizárólag ezt alkalmazzák.

22.1.4.3. Kéttárcsás és lemezes tengelykapcsoló

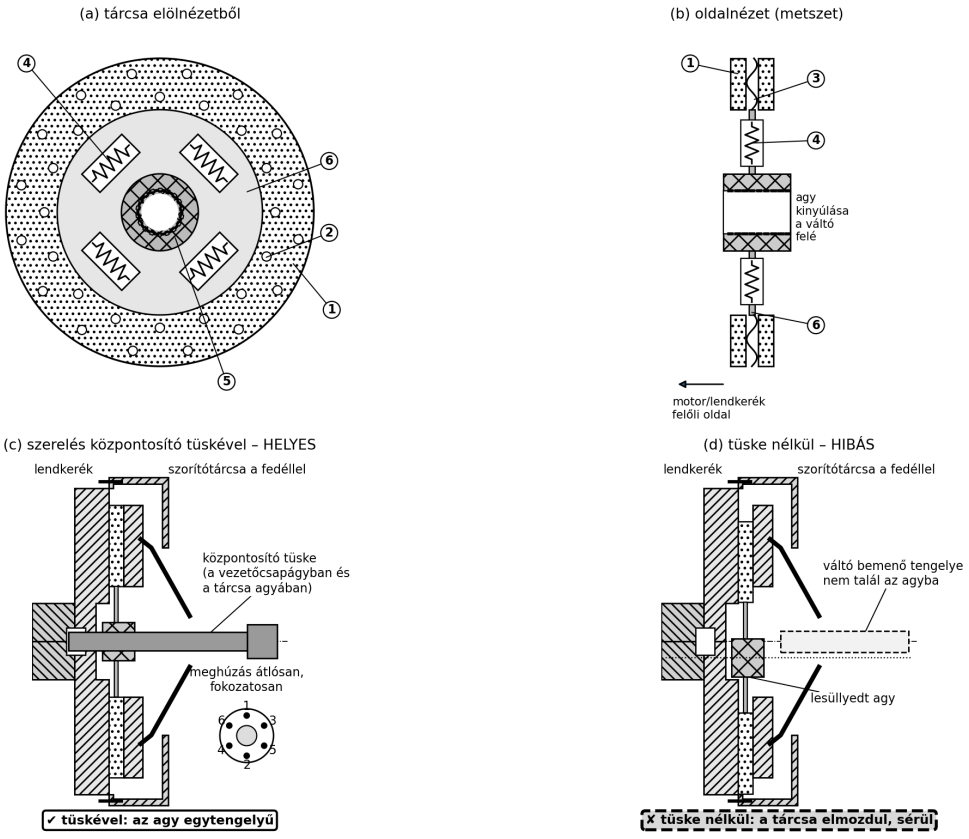
Nagy nyomatékú járműveknél, például tehergépkocsikban, **kéttárcsás** kivitelt használnak. Ilyenkor két súrlódó tárcsa és egy közbenső lemez van, így a súrlódó felületpárok száma $z = 4$. Ugyanakkora átmérővel közel kétszeres nyomaték vihető át, mint egytárcsásnál.

A **lemezes** tengelykapcsoló sok vékony lemezből áll, gyakran olajban fut, például motorkerékpárokban, motorsportban és egyes haszongépjárművekben. Előnye a kis szerkezeti méret, a lágy kapcsolás és az olajhűtés által elszállított hő. Személyautókban ritkábban találkozik vele a szerelő, de az automata váltók egyes belső tengelykapcsolói is lemezes kivitelűek.

22.1.4.4. A tárcsa kialakítása

A tengelykapcsoló tárcsa nem merev: a betét és az agy között torziós rugók vannak. Ezek a motor forgási egyenetlenségét, a hajtáslánc torziós lengéseit csillapítják, és lágyabb kapcsolást tesznek lehetővé. A modern tárcsákban a torziós rugók mellett kiegészítő súrlódó csillapító gyűrű is van, amely a rugók berezgését fékezi.

A betét anyaga hőálló, súrlódó kompozit. A régebbi betétek azbesztet is tartalmazhattak, ezért a por fújása tilos, a munkát porszűrő maszkban kell végezni (ellenőrizendő: a jármű korától függően). A betétkopás ellenőrzésekor a szegecsek süllyedését is mérni kell: ha a süllyedés a gyártói minimum alá csökken, a tárcsa cserés.



1 súrlódó betét · 2 szegecsek (a szegecsfej mélysége a betét felülete alatt: kopásmérési hely, határérték gyártói adat) · 3 rugós betéthordozó (axiális rugózás)
4 torziós rugók súrlódó csillapítóval · 5 agy bordázattal · 6 hordozólemez. Sematikus, nem méretarányos rajz; a csavarok meghúzási nyomatéka és sorrendje gyártói adat (ellenőrizendő).

22.3. ábra. A tengelykapcsoló-tárcsa részei és a tárcsa központosítása tüskével a szorítótárcsa felszerelésekor

Az ábra felső része a tárcsa részeit mutatja: a súrlódó betéteket, a szegecseket (a szegecsfej mélysége a kopás mérési helye), a rugós betéthordozót, a torziós rugókat és a bordázott agyat, valamint a beépítési irányt. Az alsó rész a csere kulcsmozzanatát mutatja: a központosító tüske a főtengely vezetőcsapágyába és a tárcsa agyába illeszkedik, amíg a szorítótárcsa csavarjait átlósan, fokozatosan meghúzzuk; tüske nélkül a tárcsa elmozdul, és a váltó bemenő tengelye nem talál az agyba.

22.1.4.5. Mechanikus és hidraulikus működtetés, holtjáték, önutánállító

A **mechanikus működtetés** pedálból, bowdenhuzalból vagy rudazatból, kinyomóvillából és kinyomócsapágyból áll. A pedálon **holtjátékot** kell biztosítani: a pedál elején egy kis szabad út jelzi, hogy a kinyomócsapágy nem ér a tányérrugóhoz. Ha nincs holtjáték, a kinyomócsapágy folyamatosan forog, és a tányérrugót nyomja, ami kuplungcsúszást és csapágykopást okoz. A pontos pedál-holtjáték értéke járműtípusonként változik, ezért mindig a gyártói javítási adatot kell követni (ellenőrizendő).

A **hidraulikus működtetésnél** a pedál egy főfékhengerhez hasonlító főhengert mozgat, a fékfolyadék egy munkahengerbe jut, amely a kinyomóvillát vagy közvetlenül a kinyomócsapágyat működteti. A hidraulikus rendszer légtelenítése kötelező, és a fékfolyadék cseréjét a gyártói ütemterv szerint kell végezni (ellenőrizendő: gyártói adat). Sok modern rendszer **önutánállító**: a kopás miatt a kinyomócsapágy helyzete automatikusan utánáll, így a pedál holtjátéka állandó

marad. Ha a rendszer szivárog vagy levegős, a kuplung „nem old ki”, azaz a váltó fokozatai nehezen kapcsolhatók.

22.1.4.6. Kettős tömegű lendkerék (DMF)

Definíció. A kettős tömegű lendkerék (dual mass flywheel, DMF) olyan lendkerék, amely két tömegből áll: a primer oldal a motorhoz, a szekunder oldal a tengelykapcsolóhoz csatlakozik, a kettő között rugós–csillapító rendszer van, amely a motor torziós lengéseit elszigeteli a hajtásláncától.

A hagyományos lendkerék merev tömege a motor minden lökésszerű nyomatékát átadja a hajtáslánc nak. A DMF ehelyett a primer és szekunder tömeg közötti ívrugókkal elnyeli a csúcslökéseket, csökkenti a váltó, a kardántengely és a hajtott kerék rezgését, emellett alacsonyabb fordulatszámon is lehetővé teszi a csendesebb járást (ellenőrizendő: gyártói tervezési elv).

A DMF **jellemző hibái**: kopogás, csattogás alapjáraton és leállításkor; rángatás induláskor; a szekunder tömeg túlzott szögholtjátéka; a belső kenőanyag kiszivárgása; az indítófogaskoszorú sérülése. A DMF általában nem újítható fel, cserélendő, ha a gyártói mérési határértéken túl van (ellenőrizendő: gyártói adat). Fontos, hogy DMF-es járműnél ne cseréljük a lendkereket hagyományos merev lendkerékre, mert a torziós lengések károsítják a hajtásláncot.

22.1.4.7. Hidrodinamikus tengelykapcsoló

Definíció. A hidrodinamikus tengelykapcsoló (fluid coupling, Föttinger-tengelykapcsoló) olyan nyomatékátvivő, amelyben a hajtó és a hajtott oldal mechanikusan nem érintkezik; a nyomatékot folyadék áramlási energiája adja át.

A szerkezet két fő eleme a **szivattyúkerék** (hajtó oldal) és a **turbinakerék** (hajtott oldal). A szivattyúkerék felgyorsítja az olajat, az áramló olaj a turbinakerék lapátjaira hat, és nyomatékot ad le. Az átvitt nyomaték közel azonos a hajtó oldalon és a hajtott oldalon, de a turbina fordulatszáma kisebb, csúszás lép fel. A hatásfok:

$$\eta = \frac{n_{\text{turbina}}}{n_{\text{szivattyú}}}$$

A csúszás miatt a hidrodinamikus tengelykapcsolóban mindig van teljesítményveszteség:

$$P_{\text{v}} = M\left(\omega_{\text{szivattyú}} - \omega_{\text{turbina}}\right)$$

Előnye a lágy indítás, a rezgéscsillapítás és az, hogy nincs kopó súrlódó betét. Hátránya a csúszásból származó hő, a kisebb hatásfok és az, hogy nem képes teljesen mechanikusan zárni. Modern automata váltókban gyakran reteszelő tengelykapcsolóval (TCC) egészítik ki, amely a hidrodinamikus csúszást a megfelelő üzemállapotban megszünteti; ez a későbbi Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók alfejezetben kerül részletesen tárgyalásra.

22.1.5. Kidolgozott példák

22.1.5.1. 1. példa – Átvihető nyomaték számítása

Adott: egytárcsás tengelykapcsoló, $z = 2$; $\mu = 0{,}35$; $F_\mathrm{n} = 4\,200\,\mathrm{N}$; $r_\mathrm{m} = 0{,}09\,\mathrm{m}$.

Keresett: a kuplunggal átvihető nyomaték M_K.

Képlet:

$$M_\mathrm{K} = z\,\mu\,F_\mathrm{n}\,r_\mathrm{m}$$

Behelyettesítés:

$$M_\mathrm{K} = 2 \cdot 0{,}35 \cdot 4\,200\,\mathrm{N} \cdot 0{,}09\,\mathrm{m}$$

Számítás:

$$M_\mathrm{K} = 264{,}6\,\mathrm{Nm}$$

Ellenőrzés: a nagyságrend reális; egy közepes személyautó kuplungja 300–500 Nm-t is átvihet, ez az érték egy gyengébb betéttel vagy csökkent szorítóerővel összhangban van. A mértékegység Nm, mert $\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$ súrlódó nyomaték.

22.1.5.2. 2. példa – Szükséges szorítóerő méretezése

Adott: a motor maximális nyomatéka $M_\mathrm{motor,max} = 310\,\mathrm{Nm}$; biztonsági tényező $\beta = 1{,}7$; $\mu = 0{,}38$; $r_\mathrm{m} = 0{,}105\,\mathrm{m}$; $z = 2$.

Keresett: a szükséges szorítóerő F_n.

Képlet:

Először a szükséges átvihető nyomaték:

$$M_\mathrm{K,szüks} = \beta\,M_\mathrm{motor,max} = 1{,}7 \cdot 310\,\mathrm{Nm} = 527\,\mathrm{Nm}$$

Ezután $F_\mathrm{n} = \frac{M_\mathrm{K,szüks}}{z\,\mu\,r_\mathrm{m}}$.

Behelyettesítés:

$$F_\mathrm{n} = \frac{527\,\mathrm{Nm}}{2 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}105\,\mathrm{m}} = \frac{527}{0{,}0798}\,\mathrm{N}$$

$$F_\mathrm{n} \approx 6\,600\,\mathrm{N} = 6{,}6\,\mathrm{kN}$$

Ellenőrzés: a tányérrugós kuplung szorítóereje 5–8 kN nagyságrendű személyautóknál, így az eredmény elfogadható. Ha valaki a $z = 2$ tényezőt elfelejtené, és $z = 1$-gyel számolna, akkor 13,2 kN jönne ki, ami kétszeres, és indokolatlanul kemény pedálhoz vezetne. Ez a hiba a gyakorlatban ritkán fordul elő, de a számolásban tipikus ellenőrzési pont.

22.1.6. Minőségellenőrzés

A tengelykapcsoló ellenőrzésekor a következőket mérjük, mindig a gyártói javítási adatokhoz viszonyítva (ellenőrizendő):

- **Tárcsa betétvastagság:** tolómérővel mérve; a minimumot a gyártó adja meg.
- **Szegecssüllyedés:** a szegecsfej és a betét felülete közötti távolság; ha a szegecs eléri a felületet, a tárcsa cserés.
- **Tárcsa oldalirányú futása:** mérőórával, a gyártói futási határérték szerint.
- **A torziós rugók játéka:** a tárcsa agy és a betét közötti szögjáték, törött rugó esetén a tárcsa cserés.
- **Szorítótárcsa felülete:** repedés, hőkék elszíneződés, barázdák; a síkosság határértéke gyártói adat.
- **Tányérrugó:** repedés, deformáció, a szorítóerő fáradása.
- **Kinyomócsapágy:** zaj, holtjáték, egyenlőtlen futás; a csapágyat a kuplungcserénél általában mindig cserélni kell.
- **Lendkerék futófelülete:** repedés, hőnyomok, barázdák; DMF esetén szögholtjáték- és billegésmérés gyártói célszerszámmal.

Előírás. A tengelykapcsoló tárcsáját, szorítótárcsáját és kinyomócsapágyát általában egységcsomagként, egymással összefüggő csereszettként kell cserélni, és a csavarokat a gyártói előírás szerint, sok esetben új rögzítőelemekkel, megadott nyomatékkal kell meghúzni (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

22.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy dízel személyautó tulajdonosa azzal érkezik: „autópályán előzéskor a fordulatszám felszalad, de a sebesség nem követi, néha égett szag is van”. A tünet kuplungcsúszásra utal.

Tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás lánc:

1. **Tünet:** a motor fordulatszáma nő, a jármű gyorsulása elmarad, égett szag.
2. **Lehetséges okok:** kopott betét, olajos tárcsa (főtengely-szimmering), tányérrugó fáradt, nincs pedál-holtjáték, hidraulikus működtetés visszamarad.
3. **Mérés/vizsgálat:** a pedál holtjátékát és a hidraulikus rendszert ellenőrzik. Ezután tanműhelyben, oktató felügyeletével elvégezhető a csúszáspróba: a jármű a padlón áll (nem emelőn), kerékékekkel rögzítve, a rögzítőfék behúzva és az üzemi fék lenyomva; a jármű előtti és mögötti tér üres, zárt térben kipufogógáz-elszívás működik. Üzemmeleg motornál 3. vagy 4. fokozatot kapcsolnak, kb. 2000 1/min-en a kuplungpedált lassan felengedik: ép kuplungnál a motor néhány másodpercen belül lefullad, csúszó kuplungnál a fordulatszám alig esik. A próbát legfeljebb egyszer-kétszer, néhány másodpercig végzik (a gyártói eljárás elsőbbséget élvez; ellenőrizendő).
4. **Alkatrészvizsgálat:** a váltó bontásakor a tárcsa betétvastagsága 6,1 mm, a gyártói minimum 7,8 mm (tanulási példa; ellenőrizendő: gyártói adat). A szegecsek süllyedése is a kopási határ alatt van.
5. **Ok:** a betét elkopott, a szorítóerő már nem elegendő a motor nyomatékának átvitelére.
6. **Javítás:** komplett kuplungcsere tárcsával, szorítótárcsával, kinyomócsapággyal; a lendkerék futófelületét ellenőrzik, szükség esetén cserélik. A hidraulikát légtelenítik.
7. **Ellenőrzés:** próbaút, hegyen indulás, csúszáspróba. A hiba megszűnt.
8. **Megelőzés:** a pedálon ne pihentessük a lábunkat, a holtjátékot a gyári szervizeléskor ellenőrizni kell, a külső szimmering szivárgását komolyan kell venni.

22.1.8. A tengelykapcsoló cseréje – előkészítés

A tengelykapcsoló cseréje a hajtáslánc megbontásával jár, ezért az előkészítés a biztonságos munkavégzéshez elengedhetetlen. A teljes szerelési folyamatot a Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere alfejezet tárgyalja; itt az előkészítő lépéseket mutatjuk be.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Gyakorlati lépések:

1. **Járműazonosítás:** a jármű alvázszám, motorszám és típustábla szerinti azonosítása; a gyártói javítási adatok, nyomatékok, folyadék-előírások lekérése.
2. **Biztonsági előkészítés:** az akkumulátor negatív kapcsát lekötjük, a gyártói adatmentési előírás betartásával. A járművet emelőre vagy bakokra emeljük, a gyártói emelési pontokon; kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.
3. **Tűz- és környezetvédelem:** kipufogógáz-elszívással dolgozunk; a kuplungpor belégzése ellen porszűrő maszk, a régebbi betéteknél azbesztgyanú miatt pormentes munkavégzés szükséges (ellenőrizendő: a jármű típusa és kora).
4. **Szerelési sorrend előkészítése:** a váltóolaj leeresztése, ha a váltót bontani kell; a hajtáslánc védőlemez, futómű-alkatrészek, kardán vagy féltengelyek bontása a gyártói sorrend szerint.
5. **Szakaszos bontás:** a váltót megfelelően alátámasztva, a motor dőlését figyelembe véve bontjuk le a motortól. A váltó bemenő tengelyét nem szabad a kuplungtárcsával feszegetni, mert a tárcsa deformálódhat.
6. **Alkatrész-ellenőrzés a csere előtt:** a lendkerék futófelületét, a vezetőcsapágyat, a kinyomócsapágy-hüvelyt és a DMF állapotát ellenőrizzük, mielőtt az új alkatrészeket beépítjük.

Figyelem. A tengelykapcsoló cseréje során a váltó és a futómű elemei nehézek; a szerszámokat, emelőket és alátámasztásokat a gyártó által előírt teherbírás szerint kell használni. A közös nyomásterű dízelrendszer vagy a benzin-üzemanyagrendszer megbontása nem szükséges, de ha a hidraulikus kuplung fékfolyadékkal dolgozik, a fékfolyadék a fényezést marja; a kiömlött folyadékot azonnal fel kell itatni.

Környezetvédelem. A leeresztett váltóolaj, a fékfolyadék és az olajos rongy veszélyes hulladék; gyűjtőedényben, szelektíven, a hulladékgazdálkodási előírások szerint kell kezelni (ellenőrizendő: hatályos hazai jogszabály).

22.1.9. Tipikus hibák

1. **A z tényező elhagyása a számításban.** Egytárcsás kuplungnál a tárcsa mindkét oldala súrlódik, ezért $z = 2$. Ha valaki $z = 1$-gyel számol, a szükséges szorítóerőt kétszeresére becsüli, és rosszul értelmezi a kopást vagy a pedálerőt.

2. **Nincs holtjáték, és a kuplung csúszik.** Mechanikus működtetésnél a pedálon nincs szabad út, ezért a kinyomócsapágy folyamatosan nyomja a tányérrugót. A szerelő a tárcsát cseréli, de a holtjátékot nem állítja be, így a hiba hamar visszatér.

3. **A DMF cseréjének elmaradása.** Ha a jármű DMF-es, és a lendkereket nem ellenőrzik, csak a kuplungot cserélik, a megmaradt kopott DMF rángatást és zajt okoz. Ugyanígy hiba a DMF-et merev lendkerékre cserélni, mert a hajtáslánc torziós igénybevétele megnő.

4. **Hidraulikus kuplungnál levegő marad a rendszerben.** A hidraulikus rendszer megbontása után a légtelenítés elmarad, vagy nem a gyártói sorrendben történik. A tünet: a kuplung nem old ki teljesen, a váltó fokozatai nehezen kapcsolhatók.
5. **A lendkerék futófelületének elhanyagolása.** A szerelő új tárcsát épít be repedt, hőkárosodott vagy barázdált lendkerékre. Az új tárcsa egyenetlenül kopik, rángatás és idő előtti meghibásodás lesz a következmény.

22.1.10. Önellenőrzés

1. Miért $z = 2$ az egytárcsás tengelykapcsoló súrlódó felületpárjainak száma?
2. Igaz vagy hamis: a tányérrugó a kinyomócsapágyon keresztül a szorítótárcsát a lendkerékhez nyomja.
3. Melyik hibát okozza a túl kicsi pedál-holtjáték?
4. Számítsd ki az átvihető nyomatékot, ha $z = 2$, $\mu = 0{,}4$, $F_\mathrm{n} = 5\,000\,\mathrm{N}$, $r_\mathrm{m} = 0{,}1\,\mathrm{m}$.
5. Mi a kettős tömegű lendkerék feladata?
6. Miért kisebb a hidrodinamikus tengelykapcsoló hatásfoka, mint egy mechanikusan zárt kuplungé?

22.1.11. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel az egytárcsás, tányérrugós tengelykapcsoló hét fő elemét.

2. feladat (A) Határozd meg, mekkora szorítóerőre van szükség ahhoz, hogy az egytárcsás kuplung $M_\mathrm{K} = 280\,\mathrm{Nm}$ nyomatékot vigyen át, ha $\mu = 0{,}35$, $r_\mathrm{m} = 0{,}09\,\mathrm{m}$, $z = 2$.

3. feladat (B) Egy motor maximális nyomatéka $M_{\mathrm{motor,max}} = 260\,\mathrm{Nm}$, a biztonsági tényező $\beta = 1{,}5$. Mekkora legyen az átvihető M_K? Ha a súrlódó felület közepes sugara $r_\mathrm{m} = 0{,}095\,\mathrm{m}$ és $\mu = 0{,}36$, $z = 2$, mekkora szorítóerő szükséges?

4. feladat (B) Rajzold le szövegesen vagy egyszerű vázlattal a száraz súrlódó kuplung erőfolyamát: motor, lendkerék, szorítótárcsa, tárcsa, bordázott agy, váltó bemenő tengely. Jelöld, hol keletkezik a súrlódási nyomaték.

5. feladat (C) Egy kuplungtárcsa betétvastagsága újkor 8,4 mm, a szerelő 6,1 mm-t mér. A gyártói kopási határ 7,0 mm. Értékeld, hogy cserés-e a tárcsa, és magyarázd el, mi történik, ha tovább használják.

6. feladat (D) Egy kézi váltós járműnél a kuplung nem old ki teljesen: a váltó fokozatai nehezen kapcsolhatók, és a kinyomócsapágy felől nyikorgó hang hallatszik. Sorold fel a lehetséges okokat és a sorrendet, ahogyan a hibát vizsgálnád.

22.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Mert a tárcsa mindkét oldalán van súrlódó felület: a lendkerék és a szorítótárcsa felől is súrlódik.
2. Hamis. A tányérrugó a szorítótárcsát nyomja a lendkerék felé; a kinyomócsapágy a tányérrugó belső nyelvén keresztül oldja a nyomást.
3. Nincs megfelelő holtjáték, a kinyomócsapágy folyamatosan nyomja a tányérrugót, ezért a kuplung csúszik, a csapágy és a betét kopik.
4. $M = 2 \cdot 0{,}4 \cdot 5\,000 \cdot 0{,}1 = 400\,\mathrm{Nm}$.

5. A DMF elnyeli a motor torziós lengéseit, csökkenti a hajtáslánc rezgését, zaját, és lágyabb, csendesebb járást tesz lehetővé.
6. Mert a hidrodinamikus tengelykapcsolóban mindig van csúszás: a turbina fordulatszáma kisebb a szivattyúkerekénél, ez teljesítményveszteséggel jár.

1. feladat megoldása. A hét fő elem: lendkerék, tengelykapcsoló tárcsa, szorítótárcsa, tányérrugó, kinyomócsapágy, kinyomó villa, pedál/hidraulikus munkahenger. (A válaszban a bordázott agy is a tárcsa része.)

2. feladat megoldása. A képlet: $F_{\mathrm{n}} = \frac{M_{\mathrm{K}}}{z\,\mu\,r_{\mathrm{m}}} = \frac{280}{2 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}09} = \frac{280}{0{,}063} \approx 4\,444\,\mathrm{N} = 4{,}44\,\mathrm{kN}$.

3. feladat megoldása. A szükséges átvihető nyomaték: $M_{\mathrm{K}} = 1{,}5 \cdot 260 = 390\,\mathrm{Nm}$. A szorítóerő: $F_{\mathrm{n}} = \frac{390}{2 \cdot 0{,}36 \cdot 0{,}095} = \frac{390}{0{,}0684} \approx 5\,701\,\mathrm{N} = 5{,}7\,\mathrm{kN}$.

4. feladat megoldása. A motor forgatja a lendkereket. A lendkerék és a szorítótárcsa közé szorul a tengelykapcsoló tárcsa; a súrlódási nyomaték a tárcsa mindkét oldalán keletkezik. A tárcsa agya bordázott, ezért a váltó bemenő tengelyét hajtja. A szorítótárcsát a tányérrugó nyomja, a kinyomócsapágy oldja a kapcsolatot.

5. feladat megoldása. A mért 6,1 mm kisebb, mint a 7,0 mm kopási határ, tehát a tárcsa cserés. Ha tovább használják, a betét tovább kopik, a szegecsek elérhetik a lendkerék vagy a szorítótárcsa felületét, azok megsérülnek, a kuplung csúszni fog, és a motor nyomatéka nem jut el a hajtott kerekekre.

6. feladat megoldása. Lehetséges okok: kevés fékfolyadék vagy levegős hidraulikus rendszer; hibás főhenger vagy munkahenger; kopott, törött kinyomó villa vagy kinyomócsapágy; a váltó bemenő tengelyének bordázata ragad; a tányérrugó törött. Vizsgálati sorrend: pedál út és holtjáték ellenőrzése, fékfolyadék szint és szivárgás, hidraulika légtelenítés, külső szerelés szemrevételezés, majd a váltó bontása után a kinyomócsapágy, villa, tányérrugó és bordázat ellenőrzése.

22.1.13. Rövid összefoglaló

A száraz súrlódó tengelykapcsoló a motor és a váltó közötti oldható, súrlódó nyomatékátvivő kapcsolat. Az egytárcsás kuplung fő részei a lendkerék, a tengelykapcsoló tárcsa, a szorítótárcsa, a tányérrugó, a kinyomócsapágy és a működtető mechanizmus. A tárcsa mindkét oldala súrlódik, ezért $z = 2$; a nyomaték $M_{\mathrm{K}} = z\,\mu\,F_{\mathrm{n}}\,r_{\mathrm{m}}$. A tengelykapcsolót a motor maximális nyomatékánál nagyobb, β-biztonsági tényezővel méretezik. A tányérrugós kivitel a szorítóerőt a kopás ellenére jobban tartja, mint a csavarrugós. A pedál holtjátéka biztosítja, hogy a kinyomócsapágy ne nyomja a tányérrugót alaphelyzetben; ha nincs holtjáték, a kuplung csúszik. A kettős tömegű lendkerék a primer és szekunder tömeg közötti rugózással csillapítja a motor torziós lengéseit. A hidrodinamikus tengelykapcsoló folyadék áramlásával viszi át a nyomatékot, csúszása miatt hatásfoka kisebb, de lágy indítást biztosít. **Továbbvitt eredmény.** A tengelykapcsoló oldásának és zárásának, a súrlódó nyomaték képletének, valamint a DMF feladatának ismerete közvetlenül használt a Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet alfejezetben a fokozatváltás megértéséhez, és a Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere gyakorlati útmutatóban a kuplungcsere lépéseihez.

22.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási kézikönyvek és adatbázisok (tengelykapcsoló-alkatrészek, kopási határok, meghúzási nyomatékok), gépelem-tankönyvek (súrlódó tengelykapcsolók, hidrodinamikus hajtások). A hidrodinamikus tengelykapcsoló elve a Föttinger-féle fluid coupling klasszikus gépelem-tananyag.

Ellenőrizendő állítások: a példaként megadott súrlódási tényezők, közepes sugarak, szorítóerők, betétvastagságok, kopási határok és biztonsági tényezők; a pedál-holtjáték pontos értékei; a DMF mérési határértékei; a kuplungcsere során használt meghúzási nyomatékok és csereintervallumok; a hidrodinamikus tengelykapcsoló reteszelésének konkrét gyártói megoldásai.

22.2. Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet

22.2.1. Motiváció

Az autószerelő műhelyben az egyik leggyakoribb váltóhiba úgy jelentkezik, hogy az ügyfél elmondja: „hidegen recseg a kettes fokozat”, „nehéz bevenni a hármast”, vagy „kettesből visszaváltva megcsúszik, mintha kiugrana a fokozat”. A hiba mögött legtöbbször a kézi kapcsolású nyomatékváltó fogaskerékpárjainak, kapcsolóelemeinek vagy éppen a szinkronszerkezetnek a kopása áll. Ahhoz, hogy a szerelő meg tudja állapítani, melyik fokozat, melyik tengely és melyik kapcsolóelem hibás, először pontosan értenie kell a váltó felépítését, a fokozatok kapcsolásának mechanikáját és a fokozatáttétel számítását.

A gépkocsi hajtásláncában a belső égésű motor forgatónyomatéka önmagában ritkán elegendő minden járműállapot lefedésére: induláskor nagy vonóerő kell alacsony sebességen, autópályán pedig nagy sebesség kell mérsékelt motorfordulatszámon. A kézi kapcsolású nyomatékváltó erre a feladatra való: a motor és a hajtott kerekek közé fokozatosan változtatható áttételt iktat.

22.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy hosszmetszetben felvágott, ötfokozatú kézi váltót. A ház bal oldalán a tengelykapcsoló felől érkező **bemenő tengely (primer tengely)** látszik, rajta az állandóan kapcsolódó, kis fogaskerékkel. A ház jobb oldalán a **kimenő tengely (szekunder tengely)** fut, amely a hajtómű kimenetét továbbítja a kardántengely vagy a féltengelyek felé. A bemenő tengely alatt, vele párhuzamosan egy **melléktengely (lay shaft)** helyezkedik el, amelyen a különböző fokozatok fogaskerekei ülnek. A fokozatok kapcsolásakor egy **kapcsolóhüvely** tolódik el a kimenő tengely bordázatán, és a kiválasztott fogaskerék **kapcsolókoszorújához** kapcsolódik. A hüvely előtt **szinkrongyűrű** van, amely először súrlódással kiegyenlíti a forgó fogaskerék és a tengely fordulatszám-különbségét, majd a hüvely fogai a kapcsolókoszorúba kapcsolódnak. Ugyanezt a kapcsolási folyamatot szemlélteti az alábbi technológiai vázlat:



22.4. ábra. Szinkronizált kapcsolás folyamata - Szemléltető technológiai sorrend, nem mérési adat.

22.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A kézi kapcsolású nyomatékváltó (manual transmission; „kézi váltó”) olyan fogaskerekes hajtómű, amelyben a vezető választja ki a fokozatot, és mechanikus kapcsolóelemekkel – tolófogaskerékkel, kapcsolóköremmel vagy kapcsolóhüvellyel – köti össze a kiválasztott fogaskerékpárt, ezzel megváltoztatva a kimenő tengely fordulatszámát és nyomatékát.

Definíció. A fokozat áttétele egy fokozatpár esetén a hajtott (nagyobb) fogaskerék fogszáma osztva a hajtó (kisebb) fogaskerék fogszámával:

$$i = \frac{n_{\mathrm{be}}}{n_{\mathrm{ki}}} = \frac{z_{\mathrm{hajtott}}}{z_{\mathrm{hajtó}}}.$$

Itt n_{be} a bemenő, n_{ki} a kimenő fordulatszám, z_{hajtott} a kimenő oldali, $z_{\mathrm{hajtó}}$ a bemenő oldali fogaskerék fogszáma. Több fokozatpár esetén a rész-áttételek szorzódnak:

$$i_{\ddot{\mathrm{o}}} = i_1 \cdot i_2 \cdots i_n.$$

Az ideális nyomatékáttétel az áttétel reciprokjával arányos; veszteség nélkül:

$$M_{\mathrm{ki}} = M_{\mathrm{be}} \cdot i.$$

A valóságban a fogaskerék- és csapágysúrlódás miatt a kimenő nyomaték kisebb:

$$M_{\mathrm{ki}} = M_{\mathrm{be}} \cdot i \cdot \eta,$$

ahol η a fokozat hajtásláncának hatásfoka, kézi váltónál jellemzően $0{,}95 \ldots 0{,}98$ (ellenőrizendő: a gyártói adat). A nyomatékváltóban beépített fogaskerékpárok áttétele mindig a fogszámokból számolható, a modul (fogméret) nem befolyásolja az áttételt.

Összefüggés. Az előző fejezetben Menetellenállások és teljesítményszükséglet és Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás alfejezetben bevezetett teljes hajtásláncáttétel itt bomlik szét:

$$i_{\text{ö}} = i_{\text{váltó}} \cdot i_{\text{tengelyhajtás}}.$$

A váltó fokozatáttétele tehát a motor és a kerék közötti teljes áttétel egyik tényezője. Ezt a fokozatáttételt használjuk később a Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó alfejezetben a bolygóműves fokozatok és a Kardánhajtás, csuklók és féltengelyek alfejezetben a féltengely-áttételek értelmezésekor.

22.2.4. Felépítés és működés

22.2.4.1. A nyomatékváltó feladata

A belső égésű motor csak szűk fordulatszám-tartományban ad le megfelelően nagy nyomatékot, és alapjáraton nem tud nagy vonóerőt kifejteni. A váltó feladata:

- a motor nyomatékát a jármű igényeihez igazítani,
- a jármű sebességét és a motorfordulatszámot optimális tartományban tartani,
- lehetővé tenni az álló helyzetből való elindulást, a hátramenetet és a motorfék használatát,
- a tengelykapcsolón keresztül a motor és a hajtás szétválaszthatóságát kihasználva fokozatot váltani.

22.2.4.2. Szinkronszerkezet nélküli váltók

A korai kézi váltókban nem volt szinkronszerkezet. A kapcsolás két fő módon történt:

- **Tolófogaskerekes váltó:** a kapcsolandó fogaskerék a tengelyen hosszirányban eltolható, és közvetlenül a másik fogaskerékhez tolva kapcsolódik. A váltáshoz a fogaskerekek kerületi sebességét kézzel, a gázpedállal és a kuplunggal kellett összehangolni, különben a fogak recsegve ütköztek.
- **Kapcsolókörmös váltó:** a fogaskerekek állandóan kapcsolódnak, de egyikük (vagy egy kapcsolótest) oldalsó körmökkel kapcsolódik egy eltolható hüvelyhez. A kapcsolás akkor zajmentes, ha a két elem fordulatszáma közel azonos. A szinkron hiánya miatt itt is szükség van a fordulatszám kézi összehangolására, például „duplakuplungozásra”: visszakapcsoláskor a váltót üresbe teszik, a kuplungot felengedik, gázfröccsöt adnak, majd ismét kinyomják a kuplungot és kapcsolnak.

Megjegyzés. A régi járműveken, például haszongépjárművek váltójában gyakran találkozol kapcsolókörmös, nem szinkronizált fokozatokkal. A tanuló a mai szinkronizált váltót is könnyebben érti meg, ha tudja, hogy a szinkronszerkezet tulajdonképpen ezt a kézi fordulatszám-egyeztetést váltja ki súrlódó elemmel.

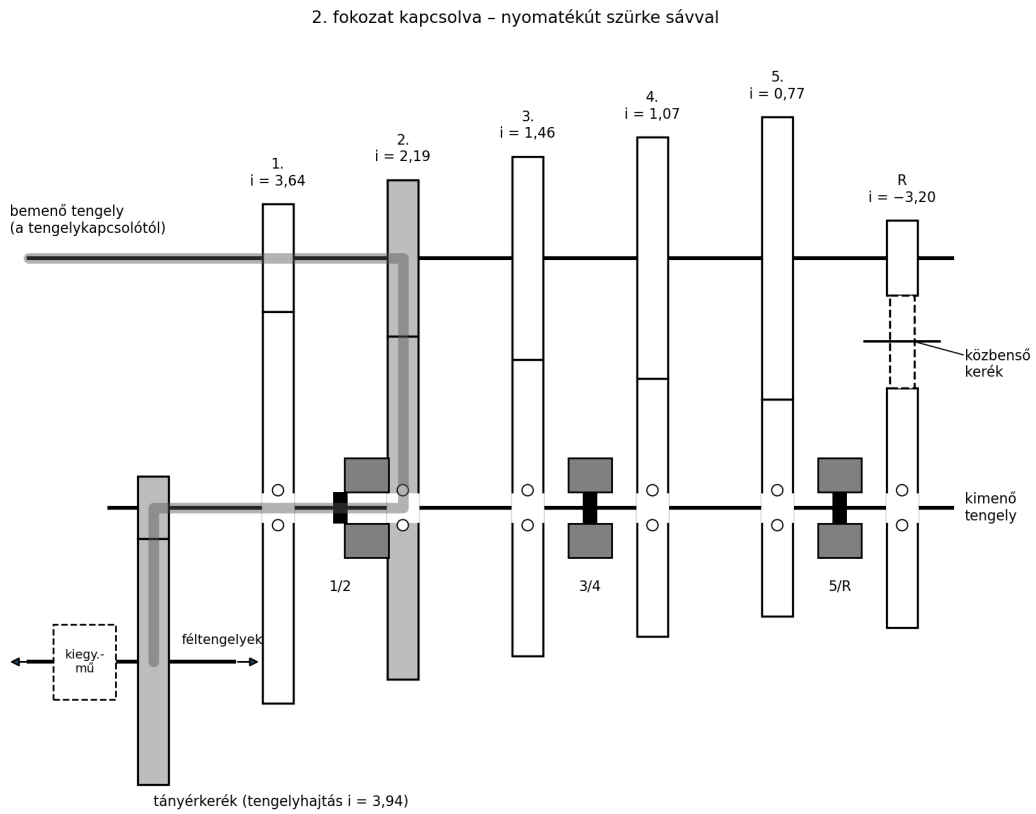
22.2.4.3. Kapcsolóhüvelyes váltó

A modern kézi váltó általában **kapcsolóhüvelyes**, vagyis a fokozatok fogaskerekei állandóan együtt forognak, és a kimenő tengely bordázatán eltolható **kapcsolóhüvely** kapcsolódik a választott fokozat **kapcsolókoszorújához**. A hüvelyt **váltóvillák** mozgatják, a villák pedig a váltókar és a váltóvilla-rúd segítségével tolódnak. A fokozatváltás pontos és biztonságos sorrendjét a **váltóreteszelés** – például golyós vagy lemezes retesz – biztosítja, hogy egyszerre csak egy fokozat legyen kapcsolható.

22.2.4.4. Két- és háromtengelyes elrendezés

A hajtáslánc építési helyétől függően két alapelrendezést különböztetünk meg:

- **Háromtengelyes elrendezés:** különálló **bemenő tengely**, **melléktengely** és **kimenő tengely** alkotja. A bemenő tengely a tengelykapcsoló felől hajtja a melléktengelyt egy állandó fogaskerékpáron át, a kimenő tengelyen lévő szabadon futó fogaskerekek pedig a melléktengely felől veszik fel a hajtást. Ez az elrendezés jellemző hosszmotoros, hátsókerék-hajtású járművekre (például klasszikus hátsókerék-hajtású személyautók, kisteherautók). A **direkt fokozat** itt a bemenő és a kimenő tengely közvetlen összekapcsolása, ilyenkor a melléktengely nem visz át nyomatékot, így a fokozat hatásfoka közel 100 %.
- **Kéttengelyes elrendezés:** nincs külön melléktengely, a fokozatpárok a bemenő és a kimenő tengely között közvetlenül kapcsolódnak. Ez a felépítés jellemző a keresztirányú motor beépítésű, elsőkerék-hajtású járművekre. A kimenő tengely a hajtott fogaskerekekkel együtt fut, a bemenő tengelyen lévő hajtó fogaskerekek állandóan kapcsolódnak a hozzájuk tartozó, a kimenő tengelyen szabadon forgó fogaskerekekkel. A kéttengelyes váltó általában **indirekt**, mert nincs közvetlen 1:1 kapcsolat, bár létezhet direkt fokozat is, ha a gyártó a bemenő és kimenő tengelyt tengelyirányban össze tudja kapcsolni.



Fehér téglalap: fogaskerék (a bemenő tengelyen fix, a kimenőn szabadon futó, ◦ csapágy); sötétszürke: kapcsolóhüvely; fekete: hüvelyagy a tengelyen.
Az áttételek szemléltető tanulási adatok (5. fokozat 0,77 és tengelyhajtás 3,94: a 4. feladat értékei), a valós értékek gyártói adatok (ellenőrizendő).

22.5. ábra. Kéttengelyes kézi váltó egyszerűsített metszete a fokozatpárokkal, a kapcsolóhüvelyekkel és a hátramenet közbenső kerekével; 2. fokozatban a nyomatékút kiemelve

Az ábrán a bemenő tengely fogaskerekei a tengelyhez rögzítettek, a kimenő tengely fogaskerekei csapágyon szabadon futnak. A kapcsolt fokozatban a kapcsolóhüvely a szabadon futó kereket a kimenő tengelyhez köti: a nyomaték a bemenő tengelyről a fokozatpáron, a hüvelyen és a kimenő tengelyen át a tengelyhajtás tányérkerekére jut. Hátramenetben a közbenső kerék fordítja meg a forgásirányt. A HTML-változatban a fokozat kiválasztásakor a nyomatékút, az áttétel és a kimenő, illetve kerékfordulatszám jelenik meg (az áttételek szemléltető tanulási adatok).

Definíció. A **direkt fokozat** a váltó azon fokozata, amelyben a bemenő és a kimenő tengely közvetlenül, fogaskerékáttétel nélkül kapcsolódik, így $i = 1$. A **közvetett (indirekt) fokozat** minden olyan fokozat, ahol a nyomatékátvitel fogaskerékpáron vagy párhuzamos tengelyen keresztül történik, így $i \neq 1$.

22.2.4.5. Ötfokozatú direkt és négyfokozatú indirekt váltó

- A klasszikus **ötfokozatú háromtengelyes váltó** gyakran a következő felépítésű: az 1–3. és az 5. fokozat a melléktengelyen keresztül ad át nyomatékot, a 4. fokozat direkt ($i = 1$), a bemenő és kimenő tengely összekapcsolásával; az 5. fokozat gyakran gyorsító (overdrive, $i < 1$). Ezért a 4. fokozatban a váltó mechanikai vesztesége kicsi, és a fokozat zajszintje is alacsony.
- A **négyfokozatú indirekt váltó** mind a négy fokozatát fogaskerékpárokon keresztül valósítja meg, direkt fokozat nincs. Ilyen elrendezést főleg elsőkerék-hajtású, keresztmotoros járművekben találsz, ahol a bemenő és a kimenő tengely párhuzamos, de nem esik egybe.

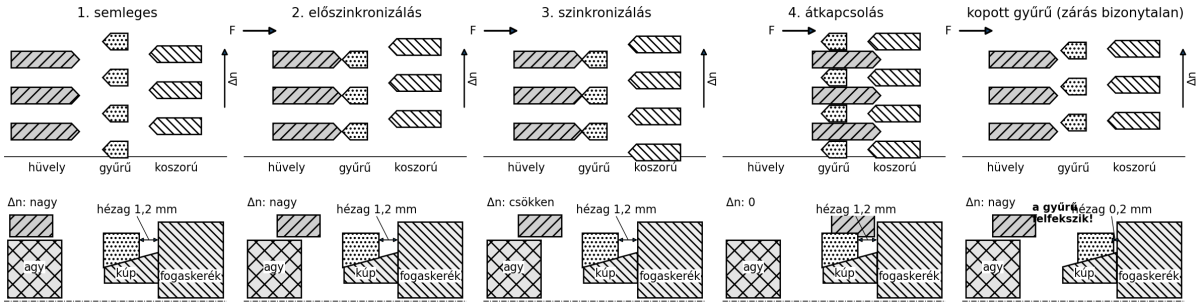
22.2.4.6. A szinkronszerkezet működése

A váltó legfontosabb kapcsolóeleme a **szinkronszerkezet**. Feladata, hogy a kapcsolandó fogaskerék és a tengely fordulatszámát a kapcsolás pillanata előtt kiegyenlítse, így a kapcsolóhüvely fogai recsegés nélkül tudnak a kapcsolókoszorúba csúszni.

A legegyszerűbb **kúpos szinkronszerkezet** fő részei:

- a kimenő tengely bordázatán eltolható, belső fogazatú **kapcsolóhüvely**, amelyet a váltóvilla tol (a hüvelyt középhelyzetben reteszelő elemek – golyó/rugó, nyomódarab – tartják),
- a **szinkrongyűrű**, belső kúpos felülettel és külső zárófogazattal,
- a fogaskerék oldalán kialakított **szinkronkúp**,
- a fogaskerék **kapcsolókoszorúja**, amelybe a hüvely belső fogazata kapcsolódik.

Kapcsoláskor a váltóvilla a hüvelyt a fokozat felé tolja. A hüvely először a szinkrongyűrűt nyomja rá a fogaskerék kúpos felületére. A fellépő súrlódási nyomaték elkezdi a fogaskerék fordulatszámát a tengely fordulatszámához közelíteni; amíg fordulatszám-különbség van, a súrlódási nyomaték a gyűrűt elfordulva tartja, és a gyűrű zárófogai elzárják a hüvely útját. Amikor a két fordulatszám kiegyenlítődött, a súrlódási nyomaték megszűnik, a gyűrű elfordul, a hüvely a zárófogakon átcsúszik a kapcsolókoszorúra, és ezzel a fokozat kapcsolt állapotba kerül.



Felül: kiterített fogazat felülnézetben (függőlegesen a kerület iránya); sraffozás: hüvely ///, szinkrongyűrű pontozott, kapcsolókoszorú \\\. Alul: egyszerűsített metszet a kúppal és a gyűrű–koszorú hézaggal. A hézag 1,2 mm (új) / 0,2 mm (kopott) szemléltető tanulási példa (nagyítva rajzolva); a határérték gyártói adat (ellenőrizendő).

22.6. ábra. A zárószinkron kapcsolása négy fázisban kiterített fogazaton, mellette a kopott szinkrongyűrű

Az ábra felső sora a hüvely, a szinkrongyűrű és a kapcsolókoszorú fogait síkba kiterítve mutatja: előszinkronizáláskor a kúpsúrlódás a gyűrűt kb. fél fogosztásnyit elfordítja, így a gyűrű zárófogai a hüvely fogaival szemben állnak, és amíg a fordulatszám-különbség meg nem szűnik, a hüvely nem juthat tovább; $\Delta n = 0$ esetén a hüvely visszafordítja a gyűrűt, és átcsúszik a koszorúba. Az alsó sor a kúpot és a gyűrű–koszorú hézagot mutatja: kopáskor a gyűrű mélyebbre ül a kúpon, ezért a hézag csökken (példa: 1,2 mm újonnan, 0,2 mm kopottan; a határérték gyártói adat, ellenőrizendő). A HTML-változat lépésenként játssza le a fázisokat a fordulatszám-különbség időbeli lefutásával, majd a kopott gyűrű recsegését.

A **többkúpos szinkronszerkezet** – például két- vagy háromkúpos – nagyobb súrlódó felületet biztosít kisebb átmérőn. Ez rövidebb szinkronidőt, kisebb kapcsolóerőt és jobb hidegüzemi komfortot ad, ezért az alsó fokozatokban gyakran ilyeneket építenek be. A szinkrongyűrűk jellemzően sárgarézből vagy más, kedvező súrlódási és kopási tulajdonságú anyagból készülnek, a felületük pedig finom rovátkolt vagy olajhornyolt kivitelű, hogy a váltóolaj ne csökkentse a súrlódást. A pontos anyag és kivitel gyártói adat (ellenőrizendő).

22.2.4.7. Elé- és utánkapcsolt szorzóváltó

Nagyobb haszongépjárműveknél és terepjáróknál a váltó mögé vagy elé **szorzóváltót** (range-splitter, osztómű) építenek. A szorzóváltó egy további fogaskerékpárt tartalmaz, amely a főváltó fokozatait két csoportra osztja: például **terep/lassú** és **közúti/gyors** tartományra. Így egy 4 fokozatú alapváltóból 8 előremeneti fokozat válik. Az **előtétes (elé kapcsolt) szorzó** a főváltó elé, a **utántétes (után kapcsolt) szorzó** mögé van beépítve. A kettő kombinációja – például 4 fokozat × 2 tartomány × 2 split – akár 16 fokozatot is eredményezhet. A szorzóváltó működtetése lehet kézi, pneumatikus vagy elektro-pneumatikus, és a fokozatváltás gyakran szinkronizált vagy kapcsolókörmös.

22.2.4.8. A nyomatékváltó javításának előkészítése

Ha a váltó felújításra szorul, a hibafelvételezéshez pontosan dokumentálni kell a tünetet, a fokozatot, az olaj állapotát és a zaj jellegét. A váltó kiszerelése előtt a járművet azonosítani, az akkumulátort le kell kötni, és a váltóolajat le kell engedni. A javítás során minden csapágyat, szinkrongyűrűt, kapcsolóhüvelyt és fogaskereket a gyártói kopási határok szerint kell vizsgálni. A szinkrongyűrű belső kúpos felületén éles rovátkák jelenléte a kopást jelzi; ha a rovátkák lekoptak, a szinkronhatás megszűnik, és a fokozat recsegni fog. A hüvely belső fogainak és a kapcsolókoszorú fogainak kihajlása, letöredezése szintén kopási ok.

22.2.5. Kidolgozott példák

22.2.5.1. 1. példa: fokozatáttétel és kimenő nyomaték

Egy háromtengelyes, ötfokozatú hátsókerék-hajtású jármű váltójában az 1. fokozat a melléktengelyen keresztül kapcsolódik: az állandó fogaskerékpár fogszáma $z_1 = 17$ (bemenő tengely) és $z_2 = 29$ (melléktengely), az 1. fokozati pár fogszáma $z_3 = 14$ (melléktengely) és $z_4 = 24$ (kimenő tengelyen szabadon futó kerék). A fokozat hatásfoka $\eta = 0{,}96$, a motor a kapcsolás pillanatában $M_{\mathrm{be}} = 180\,\mathrm{Nm}$ nyomatékot ad le.

Számítás. Az 1. fokozat áttétele:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{29}{17} \cdot \frac{24}{14} \approx 1{,}706 \cdot 1{,}714 \approx 2{,}92.$$

A kimenő tengelyen fellépő nyomaték:

$$M_{\mathrm{ki}} = M_{\mathrm{be}} \cdot i \cdot \eta = 180\,\mathrm{Nm} \cdot 2{,}92 \cdot 0{,}96 \approx 505\,\mathrm{Nm}.$$

Ellenőrzés: Az áttétel 1-nél nagyobb, tehát lassító áttétel, ami emelkedőn és elinduláskor nagyobb nyomatékot ad. A kimenő nyomaték a belépő nyomaték közel háromszorosa, ami egy 1. fokozatnál reális nagyságrend. ∎

22.2.5.2. 2. példa: teljes áttétel és fordulatszám-átszámítás

Ugyanez a jármű 1. fokozatban, a váltó áttétele $i_{\text{váltó}} = 2{,}92$, a tengelyhajtás áttétele $i_{\text{tengelyhajtás}} = 4{,}10$. Mennyi a teljes áttétel, és hány fordulattal forog a kardántengely, ha a motor fordulatszáma $n_{\text{motor}} = 3\,000$ 1/min?

Számítás. A teljes áttétel:

$$i_{\text{ö}} = i_{\text{váltó}} \cdot i_{\text{tengelyhajtás}} = 2{,}92 \cdot 4{,}10 \approx 11{,}97.$$

A kardántengely (a differenciálmű bemenő) fordulatszáma:

$$n_{\text{kardán}} = \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\text{váltó}}} = \frac{3\,000}{2{,}92} \approx 1\,027 \text{ 1/min}.$$

A kerék fordulatszáma pedig:

$$n_{\text{kerék}} = \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\text{ö}}} = \frac{3\,000}{11{,}97} \approx 251 \text{ 1/min}.$$

Ellenőrzés: Az áttételek szorzata nagyobb, mint bármelyik tényező, a fordulatszám a hajtáslánc mentén lecsökken, a nyomaték pedig arányosan megnő, ami az energiamérleggel összhangban van. ∎

22.2.6. Minőségellenőrzés

A váltó felújítása előtt az alábbi ellenőrzőlista segít a hibafelvételezésben:

1. Olajszint és olajállapot: fémreszelék, víz, égett szag.

2. Váltókar és váltóvilla-rúd holtjátéka, a kapcsolási kép beállítása.

3. Fokozatok kapcsolhatósága hideg és meleg motornál, recsegés, kiugrás.

4. Zajterhelés fokozatonként, különösen a gázadás és motorfék üzemállapotokban.

5. Szinkrongyűrűk belső kúpos felületének rovátkoltsága; a gyűrű és a kapcsolókoszorú közötti hézag a kúpra nyomott gyűrűn, hézagmérővel (minimum, például 0,5 mm – ellenőrizendő: gyártói adat).

6. Kapcsolóhüvely belső fogainak és a kapcsolókoszorú fogainak kopása, kihajlása.

7. Csapágyak játéka, a tengelyek radiális és axiális hézagai (jellemző példa: 0,05–0,15 mm, ellenőrizendő: gyártói adat).

22.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy elsőkerék-hajtású, 1,6 literes benzinmotoros autó tulajdonosa arra panaszkodik, hogy a 3. fokozat hidegen recseg, melegen is nehezebben kapcsolható, és gyorsításkor néha „kiugrik” a fokozat. A szerelő először ellenőrzi a váltóolajat: a leeresztett olaj sötét, enyhén fémporos, de nincs benne nagyobb fémdarab. Ezután a járművet próbaútra viszi, és azt tapasztalja, hogy a recsegés kizárólag a 3. fokozat kapcsolásakor jelentkezik, a többi fokozat rendben kapcsolódik. A tünet a 3. fokozat szinkrongyűrűjének kopására utal.

A váltó szétszerelése után a szerelő a szinkrongyűrűt a fogaskerék kúpjára nyomva hézagmérővel megméri a gyűrű és a kapcsolókoszorú közötti hézagot: új állapotban például 1,0–1,5 mm, a kopási határ 0,5 mm (ellenőrizendő: gyártói adat); a mért érték 0,2 mm, tehát a gyűrű a kopott kúpon túl mélyre ül. A belső kúpos felület rovátkái teljesen lekoptak. A hiba oka a szinkrongyűrű elhasználódása. A javítás a 3. fokozat szinkrongyűrűjének, kapcsolóhüvelyének és szükség szerint a kapcsolókoszorúnak a cseréje a gyártói csapágy- és tömítéskészlettel együtt. Az összeszerelés után a 3. fokozat kapcsolása recsegésmentes, a próbaút során a fokozat nem ugrik ki.

22.2.8. Gyakorlati útmutató

Cél: A kézi kapcsolású váltó kiszerelésének előkészítése, a hibafelvételezés dokumentálása és a szétszerelés előtti ellenőrzések elvégzése.

Jármű- és adatazonosítás: VIN-szám, motorszám, váltókód, gyártási év, kapcsolási kép. A pontos típust és a meghúzási nyomatékokat a gyártói javítási adatbázisból kell lekérdezni (ellenőrizendő).

Szükséges szerszámok: kéziszerszám-készlet, nyomatékkulcs, váltóemelő vagy emelőbak, olajleeresztő edény, folyadékgyűjtő, akkumulátor-kábeleltávolító, mechanikus vagy elektronikus mérőműszer.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. A járművet sík, teherbíró padlón állítsd le, rögzítsd a kerekeket, és működtesd a rögzítőféket. A jármű alá csak a gyártói emelési pontokon elhelyezett bakokról vagy emelőről szabad bemenni; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni **tilos**.

2. A gyújtást kapcsold ki, a kulcsot távolítsd el. Kötsd le az akkumulátort először a negatív, majd a pozitív saruról, és szigeteld le a sarukat (ellenőrizendő: a modern járműveken adatmentés és a gyártói előírás).

3. Emeld meg a járművet, helyezd biztonságos bakokra, és szereld le az alsó védőburkolatot.

4. Helyezz olajleeresztő edényt a váltó alá, és engedd le a váltóolajat a gyártói meleg- vagy hidegleeresztési előírás szerint. A fáradt olajat veszélyes hulladékként gyűjtsd.

5. Jelöld meg a hajtott tengelyek, a kardántengely és a váltó csatlakozásainak helyzetét, majd bontsd meg a hajtáslánc elemeit a gyártói sorrend szerint. A kardántengelyt rögzíteni kell a leesés ellen.

6. Szereld le a váltókar-huzalozást, a sebességváltó mechanizmust, a féltengelyeket vagy a kardántengelyt, a tengelykapcsoló-működtetőt és a váltó felfüggesztő bakjait. A motort a gyártó szerinti motortartó híddal (felülről) vagy alátámasztással rögzítsd, mielőtt a váltó- vagy motortartó bakot oldod. A váltót a gyártói emelővel vagy váltóemelővel támaszd alá.

7. A váltót váltóemelőn, rögzítőhevederrel biztosítva, óvatosan húzd le a motorhoz való illesztő csapokról és engedd le; kézi leemelés tilos (a váltó tömege személyautónál kb. 30–50 kg, ellenőrizendő). Ne támaszkodj a bemenő tengelyre, mert az a tengelykapcsoló tárcsát és a főtengely szimmeringet is megsértheti.

8. A váltót szállítsd a szerelőpadra, és a szétszerelés előtt mérd meg a bemenő/kimenő tengely játékát, a fokozatok kapcsolhatóságát és a kapcsolóvilla-rudak reteszelését. Minden mért és megfigyelt értéket írj fel a munkalapra.

9. A szétszereléshez használd a gyártói célszerszámokat, különösen a csapágy- és szinkronhüvely-leszedőt. A fogaskerekek és a szinkrongyűrűk kopását mérőórával, tolómérővel és hézagmérővel ellenőrizd.

10. A beépítés során minden rögzítőelemet a gyártói nyomatékra húzz meg (például váltóház-csavarok 45–65 Nm, ellenőrizendő), az új tömítéseket és olajtöltetet a gyártói adatok szerint használd. A váltóolaj pontos típusát és mennyiségét a gyártói specifikáció adja meg.

Környezetvédelem. A fáradt váltóolajat, az olajos törlőrongyot, a fémreszeléket és a selejt alkatrészeket a helyi veszélyes hulladék-kezelési előírások szerint gyűjtsd és szállíttasd el (ellenőrizendő: a hulladékokról szóló törvény és rendeletei).

22.2.9. Tipikus hibák

1. **Az áttétel reciprokját számolják.** Gyakori hiba, hogy a hajtó/hajtott fogszámot fordítva osztják, és így 3,5 helyett 0,29 áttételt kapnak. A fokozat 1-nél kisebb áttétele gyorsító fokozat lenne, ami az alsó fokozatnak ellentmond. **Helyes gyakorlat:** $i = z_{\text{hajtott}} / z_{\text{hajtó}}$, és a nyomaték is nő, ha $i > 1$.

2. **A szinkronszerkezetnél azonnal a fogakra gondolnak.** A recsegés oka legtöbbször nem a hüvely vagy a koszorú fogainak törése, hanem a szinkrongyűrű kúpos felületének kopása. **Helyes diagnosztika:** először a gyűrű–koszorú hézagot és a rovátkoltságot ellenőrizd.

3. **A váltóolajat nem ellenőrzik a szétszerelés előtt.** Az olaj állapota sokat elárul: fémreszelék, víz, sárgás hab vagy égett szag azonnal irányítja a hibafelvételezést. **Helyes gyakorlat:** mindig engedd le és vizsgáld meg az olajat, mielőtt a váltót szétszereled.

4. **A direkt és indirekt váltót összekeverik.** Egy háromtengelyes váltónál a direkt fokozatban a teljesítmény a bemenő tengelyről közvetlenül a kimenő tengelyre folyik, ezért nincs fogaskerék-dobozveszteség. Az indirekt váltónál minden fokozat fogaskeréken megy át. **Helyes ismeret:** a szerelőnek tudnia kell, hogy a váltó elrendezéséből melyik fokozat lehet direkt.

22.2.10. Önellenőrzés

1. Egy váltó 1. fokozatában a hajtó fogaskerék 11, a hajtott 34 fogú. Mekkora az áttétel? Gyorsító vagy lassító fokozat?

2. Mit jelent a direkt fokozat, és miért kedvező a hatásfoka?

3. Vázold fel a szinkronizált kapcsolás folyamatát három lépésben.

4. Mi a különbség a tolófogaskerekes és a kapcsolóhüvelyes váltó között?

5. Egy jármű 4 fokozatú alapváltóját 2 tartományú szorzóváltóval bővítik. Hány előremeneti fokozata lesz?

6. Miért **tilos** erőltetni a váltókart, ha a fokozat recsegve próbál bekapcsolódni?

22.2.11. Feladatok

1. feladat (A)
a) Definiáld a fokozat áttételét, és add meg a képletet fogszámokkal.
b) Egy váltó 2. fokozatában a hajtó fogaskerék $z_1 = 17$, a hajtott $z_2 = 45$. Számítsd ki az áttételt, és döntsd el, hogy ez lassító vagy gyorsító fokozat.

2. feladat (A)
Röviden ismertesd a szinkronszerkezet feladatát, és nevezd meg a fő részeit.

3. feladat (B)
Egy háromtengelyes váltó 1. fokozata két fogaskerékpáron keresztül ad át nyomatékot: a bemenő tengelyről a melléktengelyre $z_1 = 19$, $z_2 = 31$, majd a melléktengelyről a kimenő tengelyre $z_3 = 14$, $z_4 = 29$. A fokozat hatásfoka $\eta = 0{,}95$, a motor nyomatéka $M_{\text{be}} = 210\,\text{Nm}$. Számítsd ki a fokozat teljes áttételét és a kimenő tengelyen fellépő nyomatékot.

4. feladat (B)
Egy elsőkerék-hajtású jármű 5. fokozatban halad. A motor fordulatszáma $n_{\text{motor}} = 4\,000$ 1/min, a váltó 5. fokozatának áttétele $i_{\text{váltó}} = 0{,}77$, a tengelyhajtás áttétele $i_{\text{tengely}} = 3{,}94$. A kerék gördülési sugara $r_{\text{d}} = 0{,}31\,\text{m}$. Számítsd ki a kerék fordulatszámát és a jármű sebességét km/h-ban. (A 0,377-es állandó forrása a korábbi fejezet.)

5. feladat (C)
Egy váltó fokozatainak áttételei: 1. $i_1 = 3{,}64$, 2. $i_2 = 2{,}19$, 3. $i_3 = 1{,}46$, 4. $i_4 = 1{,}00$, 5. $i_5 = 0{,}81$. Magyarázd el, miért csökken az áttétel és miért csökken a fokozatok közötti lépésköz (fokozatugrás) a magasabb fokozatok felé. Melyik fokozat lehet direkt, és miért? A fokozatok közötti arányokat is számítsd ki.

6. feladat (D)
Egy haszongépjármű vezetője szerint a 4. fokozat terhelés alatt „kiugrik”, de csak 4.-ben, és recsegés nélkül is nehezen kapcsolható. A váltó háromtengelyes, 4 fokozata direkt, a többit fogaskerék hozza létre. A próbaút során a szerelő azt tapasztalja, hogy a 4. fokozat nincs teljesen reteszelve, a váltókar fokozatban hagyva 1–2 mm-rel elmozdul előre-hátra. Mi lehet az ok? Milyen mérésekkel ellenőriznéd, és mi lenne a javítás?

22.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. $i = 34/11 \approx 3{,}09$, tehát lassító fokozat.

2. A direkt fokozat a bemenő és kimenő tengely közvetlen kapcsolása, $i = 1$, ezért nincs fogaskerék-dobozveszteség, a hatásfok majdnem 100 %.

3. 1) A kapcsolóhüvely a szinkrongyűrűt a fogaskerék kúpjára nyomja, 2) a súrlódás kiegyenlíti a fordulatszámot, 3) a hüvely fogai a kapcsolókoszorúba kapcsolódnak.

4. A tolófogaskerekes váltóban magát a fogaskereket tolják el, a kapcsolóhüvelyesben a fogaskerekek állandóan kapcsolódnak, és egy hüvely kapcsol.

5. $4 \times 2 = 8$ előremeneti fokozat.

6. Mert a fogak recsegése fogletöredezést, a váltóvilla elhajlását vagy a szinkrongyűrű károsodását okozhatja; a helyes megoldás a kuplung ellenőrzése, a fordulatszám-egyeztetés vagy a váltó javítása.

1. feladat (A)
a) **Definíció:** $i = z_{\text{hajtott}}/z_{\text{hajtó}}$.
b) $i = 45/17 \approx 2{,}65$, lassító fokozat, mert $i > 1$.

2. feladat (A)
A szinkronszerkezet a kapcsolandó fogaskerék és a tengely fordulatszámát egyenlíti ki súrlódással, hogy a hüvely recsegés nélkül kapcsolódhasson. Fő részei: kapcsolóhüvely, szinkrongyűrű, fogaskerék-kúp, kapcsolókoszorú.

3. feladat (B)
Adott: $z_1 = 19$, $z_2 = 31$, $z_3 = 14$, $z_4 = 29$, $\eta = 0{,}95$, $M_{\text{be}} = 210\,\text{Nm}$.
Keresett: $i_{\ddot{\text{o}}}$, M_{ki}.
A rész-áttételek:

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{31}{19} \approx 1{,}63,$$

$$i_2 = \frac{z_4}{z_3} = \frac{29}{14} \approx 2{,}07.$$

Teljes áttétel:

$$i_{\ddot{\text{o}}} = i_1 \cdot i_2 = 1{,}63 \cdot 2{,}07 \approx 3{,}38.$$

Kimenő nyomaték:

$$M_{\text{ki}} = 210\,\text{Nm} \cdot 3{,}38 \cdot 0{,}95 \approx 674\,\text{Nm}.$$

Ellenőrzés: Az áttétel nagyobb, mint 3, ami az 1. fokozatnál reális nagyságrend (a 3. fokozat áttétele jellemzően 1,3–1,5), a nyomaték pedig a belépésnek több mint háromszorosa, összhangban a lassító fokozattal. ∎

4. feladat (B)
Adott: $n_{\text{motor}} = 4\,000$ 1/min, $i_{\text{váltó}} = 0{,}77$, $i_{\text{tengely}} = 3{,}94$, $r_{\text{d}} = 0{,}31\,\text{m}$.
Teljes áttétel:

$$i_{\ddot{\text{o}}} = 0{,}77 \cdot 3{,}94 \approx 3{,}03.$$

Kerékfordulatszám:

$$n_{\text{kerék}} = \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\text{ö}}} = \frac{4\,000}{3{,}03} \approx 1\,320\ 1/\text{min}.$$

Sebesség:

$$v = 0{,}377 \cdot r_{\text{d}} \cdot \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\text{ö}}} = 0{,}377 \cdot 0{,}31 \cdot \frac{4\,000}{3{,}03} \approx 154\,\text{km/h}.$$

Ellenőrzés: Az 5. fokozat gyorsító ($i < 1$), de a tengelyhajtás miatt a teljes áttétel még mindig lassító, a sebesség reális autópálya-tartomány. ∎

5. feladat (C)
A fokozatonkénti arányok: 3,64/2,19 ≈ 1,66, 2,19/1,46 ≈ 1,50, 1,46/1,00 = 1,46, 1,00/0,81 ≈ 1,23. Az áttétel azért csökken, mert a magasabb fokozatban a jármű már kisebb vonóerőigényű, viszont nagyobb sebesség szükséges. A lépésköz 1,66 → 1,23 csökken (progresszív áttételsor): nagy sebességnél a légellenállás miatt a vonóerő-igény gyorsan nő, ezért kisebb fordulatszám-eséssel kell váltani, hogy a motor a nagy teljesítményű tartományban maradjon; alsó fokozatokban nagyobb ugrás is elfogadható (lásd: Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás). A motor teljesítményleadása a fokozatok közötti lépésközt a motorfordulatszám-tartományhoz igazítja. A 4. fokozat áttétele $i = 1{,}00$, tehát ez a direkt fokozat, amelyben a bemenő és kimenő tengely közvetlenül kapcsolódik, nincs fogaskerék-áttétel.

6. feladat (D)
A tünet – csak a 4. fokozat kiugrása, a váltókar fokozatban való elmozdulása – a **kapcsolóhüvely és a kapcsolókoszorú kopására**, a **váltóvilla-rúd reteszelésének hibájára** vagy a **szinkrongyűrű/kúp kopására** utal. A direkt fokozatban a bemenő és kimenő tengely közvetlenül kapcsolódik, ezért a hüvely kapcsolódásának hézagai jobban érvényesülnek. A szerelő a következő méréseket végezze:
– a 4. fokozat kapcsolóhüvelyének és koszorújának foghézagát,
– a váltóvilla-rúd retesz golyóinak és rugóinak állapotát,
– a szinkrongyűrű és a koszorú közötti hézagot,
– a váltóvilla és a hüvely illesztésének kopását.
A valószínű ok: a 4. fokozat kapcsolóhüvelyének vagy koszorújának fogkopása, valamint a rúdretesz rugójának fáradása. A javítás: a kopott hüvely, koszorú, szükség szerint a szinkrongyűrű és a reteszrugó cseréje a gyártói kopási határok szerint, majd a fokozat kapcsolhatóságának és reteszelésének próbája.

22.2.13. Rövid összefoglaló

A kézi kapcsolású nyomatékváltó a motor nyomatékát és fordulatszámát a jármű igényeihez igazítja. A fokozatok áttétele a hajtott és a hajtó fogaskerék fogszámának hányadosa: $i = z_{\text{hajtott}}/z_{\text{hajtó}}$, több fokozatpár esetén a rész-áttételek szorzódnak. A kimenő nyomaték $M_{\text{ki}} = M_{\text{be}} \cdot i \cdot \eta$. A szinkronizálatlan váltók (tolófogaskerekes, kapcsolókörmös) régi járműveken fordulnak elő, és kézi fordulatszám-egyeztetést igényelnek. A modern kapcsolóhüvelyes váltóban a szinkronszerkezet kúpos súrlódással egyenlíti ki a kapcsolandó fogaskerék fordulatszámát, így recsegés nélkül kapcsolódik. A váltó lehet két- vagy háromtengelyes; a háromtengelyes elrendezésben a direkt fokozat a bemenő és kimenő tengely közvetlen kapcsolása, $i = 1$. A szorzóváltó a főváltó fokozatait tartományokra osztja, megsokszorozva az előremeneti fokozatok számát. A váltó javítása előtt az olajat, a kapcsolóelemeket és a szinkrongyűrűket a gyártói kopási határok szerint kell ellenőrizni.

22.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Fogaskerék-párok fogszámai, áttételek, tengelyhajtás-áttételek, hatásfokok és gumiabroncsméretek: tanulási példák, ellenőrizendő a konkrét jármű gyártói adatbázisából.
- Szinkrongyűrű kopási hézagok, kapcsolóhüvely- és csapágyjátékok: tanulási példák, ellenőrizendő a gyártói javítási utasításból.
- Váltóház-csavarok meghúzási nyomatékai: tanulási példák, ellenőrizendő a gyártói szervizadatból.
- A váltóolaj típusa és töltetmennyisége, valamint a modern járművek akkumulátor-lekötésére vonatkozó adatmentési eljárások: ellenőrizendő a gyártói előírásból.

22.3. Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó

A hidrodinamikus nyomatékváltó és a bolygóműű megértése nélkül az automata sebességváltó diagnosztikája megmarad „hibakód olvasás és alkatrészcsere” szinten. Ebben az alfejezetben először a bolygókerekes hajtóművet számoljuk végig, mert ez adja a klasszikus automata váltó mechanikus fokozatait, majd a hidrodinamikus nyomatékváltót tárgyaljuk, amely indításkor nyomatékot sokszoroz, utazóüzemben pedig az áthidaló tengelykapcsolóval gazdaságossá válik.

22.3.1. Szemléletes kép

Képzelj el egy közös tengely köré épített fogaskerék-rendszert. Középen egy külső fogazású **napkerék** forog, körülötte több **bolygókerék** fut, amelyek egy **bolygókeréktartóhoz** (planet carrier) kapcsolódnak. A bolygókerekeket kívülről egy belső fogazású **gyűrűkerék** (ring gear) veszi körül. Ha a három fő elem – napkerék, gyűrűkerék és tartó – közül az egyiket rögzítjük, a másik kettőt hajtjuk, a rendszer különböző áttételeket és forgásirányokat ad.

A hidrodinamikus nyomatékváltó ezzel szemben nem fogaskerekekkel, hanem olajáramlással dolgozik. Egy zárt házban három lapátkerekes elem helyezkedik el: a motorral hajtott **szivattyúkerék**, a váltó bemenő tengelyéhez kötött **turbinakerék**, és közöttük a **vezetőkerék** (stator). Induláskor a szivattyúkerék felgyorsítja az olajat, a turbina áll, a vezetőkerék pedig visszafordítja az olajáramot, így a turbinára nagyobb nyomaték jut, mint amennyit a motor lead.

22.3.2. Bolygóművek felépítése és áttételei

22.3.2.1. Definíciók és jelölések

Definíció. Az **egyszerű bolygókerekes hajtómű** olyan fogaskerekes hajtómű, amelyben egy központi napkerék, egy gyűrűkerék és egy bolygókeréktartó alkot három koaxiális fő elemet. A bolygókerekek egyszerre gördülnek a napkeréken és a gyűrűkeréken, és tengelyüket a tartó hordozza.

A számításhoz a következő jelöléseket használjuk:

- z_s: a napkerék fogszáma
- z_g: a gyűrűkerék fogszáma (belső fogazat)
- z_p: egy bolygókerék fogszáma
- n_s, n_g, n_t: a napkerék, a gyűrűkerék és a tartó fordulatszáma

- $i_0 = \dfrac{z_g}{z_s}$: a bolygóműbelső áttételi tényezője, más néven a tartó rögzítése melletti relatív áttétel

Megjegyzés. A z_p a közbenső bolygókerekek fogszáma, ez a fő áttételi képletben közvetlenül nem jelenik meg, csak a geometriai feltételben: a napkerék és a gyűrűkerék átmérője megszabja a bolygókerék méretét.

22.3.2.2. A Willis-egyenlet

Összefüggés. Az egyszerű bolygóműfordulatszámai közötti kapcsolatot a **Willis-egyenlet** fejezi ki:

$$n_s + i_0\, n_g = (1 + i_0)\, n_t$$

ahol

$$i_0 = \frac{z_g}{z_s}.$$

Deriváció. Ha a tartót rögzítjük ($n_t = 0$), akkor a napkerék a bolygókerékkel külső kapcsolatban (forgásirány-váltás), a bolygókerék a gyűrűkerékkel belső kapcsolatban (nincs irányváltás) áll, így a napkerék és a gyűrűkerék ellentétes irányban forog; a relatív fordulatszámok aránya:

$$\frac{n_s - n_t}{n_g - n_t} = -i_0.$$

A negatív előjel azért szükséges, mert a tartóhoz képest a napkerék és a gyűrűkerék ellentétes irányban forog. Ezt az egyenletet átrendezve kapjuk a Willis-egyenletet.

Az egyenlet segítségével minden kapcsolási kombináció kiszámítható: rögzítjük valamelyik elemet ($n = 0$), a másik kettő közül az egyik hajt, a másik hajtott.

22.3.2.3. Alkalmazás: lassító, gyorsító és forgásirány-váltó áttételek

Az alábbi táblázat a főbb kapcsolási lehetőségeket foglalja össze.

Rögzített elem	Hajtó elem	Hajtott elem	Áttétel $i = n_{\text{hajtó}}/n_{\text{hajtott}}$	Jelleg
gyűrűkerék	napkerék	tartó	$1 + i_0$	lassító
gyűrűkerék	tartó	napkerék	$\frac{1}{1+i_0}$	gyorsító
napkerék	gyűrűkerék	tartó	$1 + \frac{1}{i_0}$	lassító
napkerék	tartó	gyűrűkerék	$\frac{i_0}{1+i_0}$	gyorsító
tartó	napkerék	gyűrűkerék	$-i_0$	forgásirány-váltó
tartó	gyűrűkerék	napkerék	$-\frac{1}{i_0}$	forgásirány-váltó
— (két elem összefogva)	bármelyik	a harmadik együtt forog	1	direkt hajtás

Az értékek a fogszámokból a Willis-egyenlettel számíthatók (ellenőrizendő: a konkrét váltótípus fogszámai).

Szabály. Ha a rögzített elem a gyűrűkerék, a napkerék hajt és a tartó hajtott, akkor mindig erős lassítás jön létre. Ha a tartó hajt és a napkerék hajtott, a gyűrűkerék rögzített, akkor gyorsítás (overdrive) jön létre. A tartó rögzítése esetén a nap- és gyűrűkerék ellentétes irányban forog, ami hátrameneti fokozatként használható.

22.3.2.3.1. Kidolgozott számítási példa Legyen egy egyszerű bolygóműben $z_s = 30$ és $z_g = 90$. Ekkor

$$i_0 = \frac{z_g}{z_s} = \frac{90}{30} = 3.$$

1. eset – indítási lassító fokozat. A gyűrűkereket rögzítjük, a napkerék hajt, a tartó hajtott. A Willis-egyenletbe $n_g = 0$ beírva:

$$n_s + 3 \cdot 0 = (1 + 3)\, n_t,$$

így

$$n_s = 4\, n_t.$$

Az áttétel:

$$i = \frac{n_s}{n_t} = 4.$$

Ha a motoroldali fordulatszám például $n_s = 2400\,1/\mathrm{min}$, akkor a tartó fordulatszáma

$$n_t = \frac{2400}{4} = 600\,1/\mathrm{min}.$$

A rendszer tehát négyszeres nyomatékot tud elvileg átvinni, a fordulatszámot pedig negyedére csökkenti.

2. eset – overdrive (gyorsító). A napkerék rögzített, a tartó hajt, a gyűrűkerék hajtott. $n_s = 0$:

$$0 + 3\, n_g = 4\, n_t,$$

tehát

$$n_g = \frac{4}{3}\, n_t.$$

Az áttétel:

$$i = \frac{n_t}{n_g} = \frac{3}{4} = 0{,}75.$$

Ha a tartó fordulatszáma $n_t = 3000\,1/\mathrm{min}$, a gyűrűkerék fordulatszáma

$$n_g = 4000\,1/\mathrm{min}.$$

Ez gyorsító fokozat: a kimenő fordulat nagyobb, a nyomaték kisebb.

3. eset – hátramenet. A tartó rögzített, a napkerék hajt, a gyűrűkerék hajtott. $n_t = 0$:

$$n_s + 3\,n_g = 0,$$

amiből

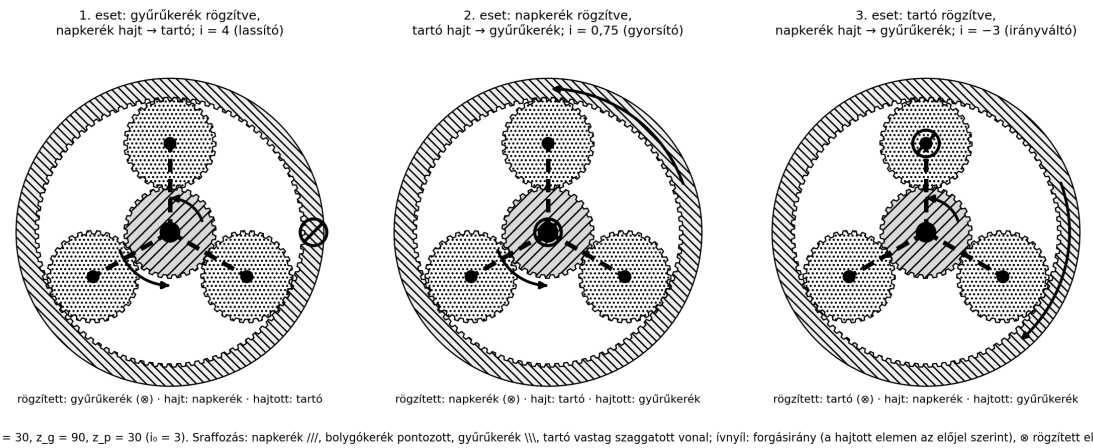
$$n_g = -\frac{1}{3}\,n_s.$$

Az áttétel:

$$i = \frac{n_s}{n_g} = -3.$$

A negatív előjel azt jelenti, hogy a kimenő tengely a bemenővel ellentétes irányban forog, miközben a nyomaték elvileg háromszorosára nő.

Ellenőrzés. Az áttétel számítása után mindig vizsgáljuk meg a nagyságrendet: lassító fokozatnál $i > 1$, gyorsítónál $0 < i < 1$, hátramenetnél $i < 0$. Ha a fogszámokat fölcseréljük, az eredmény nem illik a nyomatékfolyamhoz.



22.7. ábra. Egyszerű bolygómű a kidolgozott példa három kapcsolási esetében (z_s = 30, z_g = 90)

Az ábra a kidolgozott példa három esetét mutatja: a rögzített elemet áthúzott kör jelöli, az ívnyilak a hajtó és a hajtott elem forgásirányát. Az 1. esetben a tartó a napkerékkel egy irányban, negyed fordulatszámmal forog ($i = 4$); a 2. esetben a gyűrűkerék gyorsabban forog a tartónál ($i = 0{,}75$); a 3. esetben a gyűrűkerék a napkerékkel ellentétesen forog ($i = -3$). A HTML-változat kalkulátorában a fogszámok, a rögzített és a hajtó elem szabadon választható; a program a Willis-egyenletből kiírja az áttételt, a kimenő fordulatszámot és nyomatékot, a jelleget, és animálja a forgást.

22.3.3. A hidrodinamikus nyomatékváltó

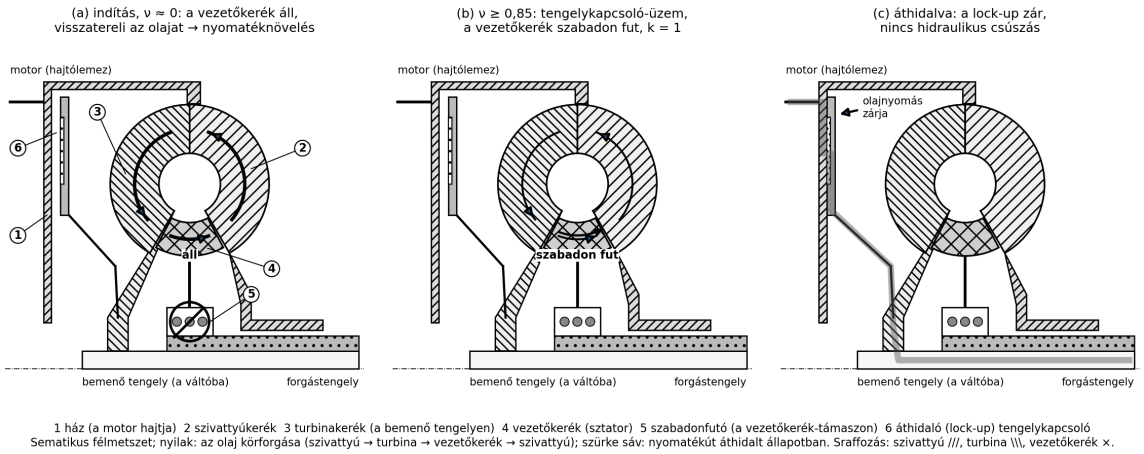
22.3.3.1. Feladat és felépítés

Definíció. A **hidrodinamikus nyomatékváltó** olyan hidraulikus hajtómű, amely a motor forgatónyomatékát folyadék (ATF-olaj) áramlása útján viszi át a sebességváltó bemenő tengelyére, és a fordulatszám-különbség függvényében nyomatékmódosítást végez.

A nyomatékváltó három fő lapátkerekes elemből áll:

- **Szivattyúkerék** (pump impeller): a lendkerékhez vagy a hajtólemezhez csatlakozik, a motor fordulatszámával forog.
- **Turbinakerék** (turbine): a váltó bemenő tengelyéhez kapcsolódik, az olajáramlás forgatja.
- **Vezetőkerék** (stator): a szivattyú és a turbina között helyezkedik el, **szabadonfutóval** (one-way clutch) a házhoz rögzül.

A három elem olajban, egy zárt házban dolgozik. A vezetőkerék a szabadonfutó miatt az egyik irányban meg tud állni, a másik irányban szabadon forog.



1 ház (a motor hajtja) 2 szivattyúkerék 3 turbinakerék (a bemenő tengelyen) 4 vezetőkerék (sztator) 5 szabadonfutó (a vezetőkerék-támaszon) 6 áthidaló (lock-up) tengelykapcsoló
Sematikus félmetszet; nyilak: az olaj körforgása (szivattyú → turbina → vezetőkerék → szivattyú); szürke sáv: nyomatékút áthidalt állapotban. Sraffozás: szivattyú ///, turbina \\\, vezetőkerék ×.

22.8. ábra. A hidrodinamikus nyomatékváltó félmetszete indításkor, tengelykapcsoló-üzemben és áthidalt állapotban

Az ábrán az olaj a szivattyúkerékben kifelé, a turbinakerékben befelé áramlik, és a vezetőkeréken át tér vissza a szivattyúba. Indításkor a vezetőkerék a szabadonfutón megtámaszkodik és visszatereli az olajat (nyomatéknövelés); tengelykapcsoló-üzemben a szabadonfutó old, a vezetőkerék együtt forog; áthidalt állapotban a lock-up tengelykapcsoló a házat mechanikusan a turbinához köti. A HTML-változatban a fordulatszám-viszony csúszkájával és a lock-up kapcsolóval követhető az állapotváltás, a kiírt nyomatékmódosítással és hatásfokkal.

22.3.3.2. Működés és nyomatékmódosítás

Induláskor a motor jár, de a turbina a hajtott oldallal együtt áll ($n_{\text{turbina}} \approx 0$). A szivattyúkerék felgyorsítja az olajat, amely a turbina lapátjaira áramlik. A turbinát elhagyó olaj még jelentős sebességgel rendelkezik, és a vezetőkerék lapátjaira érkezik. A vezetőkerék ilyenkor a szabadonfutón keresztül **megtámaszkodik**, és visszafordítja az olajáramot a szivattyúkerék felé. Ezzel a szivattyúkerékre kisebb ellennyomaték hat, és a turbinára nagyobb nyomaték jut.

Definíció. A **nyomatékmódosítás** (torque multiplication) a turbina és a szivattyúkerék nyomatékának aránya:

$$k_{\text{ny}} = \frac{M_{\text{turbina}}}{M_{\text{szivattyú}}}.$$

A nyomatékszorzó a legnagyobb álló turbinánál, jellemzően 1,8 és 2,5 között (ellenőrizendő: a konkrét típus gyártói adata). Ahogy a turbina felgyorsul, a szorzó csökken, és amikor a fordulatszámok közel azonosak, $k_{\text{ny}} \approx 1$.

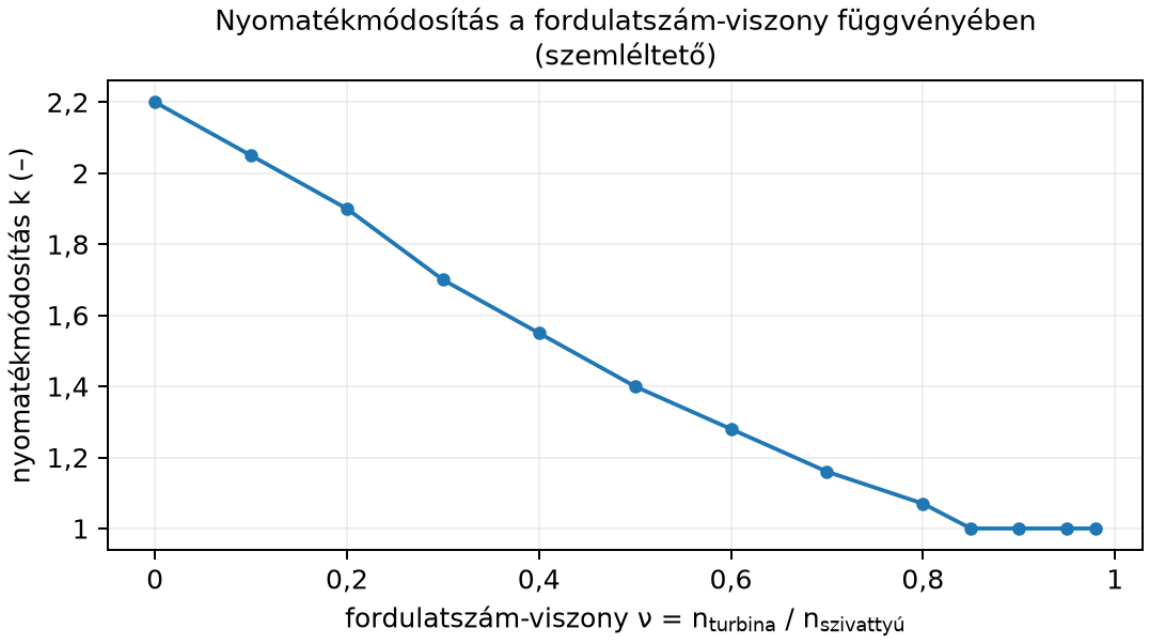
A fordulatszám-viszonyt $ \nu $ jelöli:

$$\nu = \frac{n_{\text{turbina}}}{n_{\text{szivattyú}}}.$$

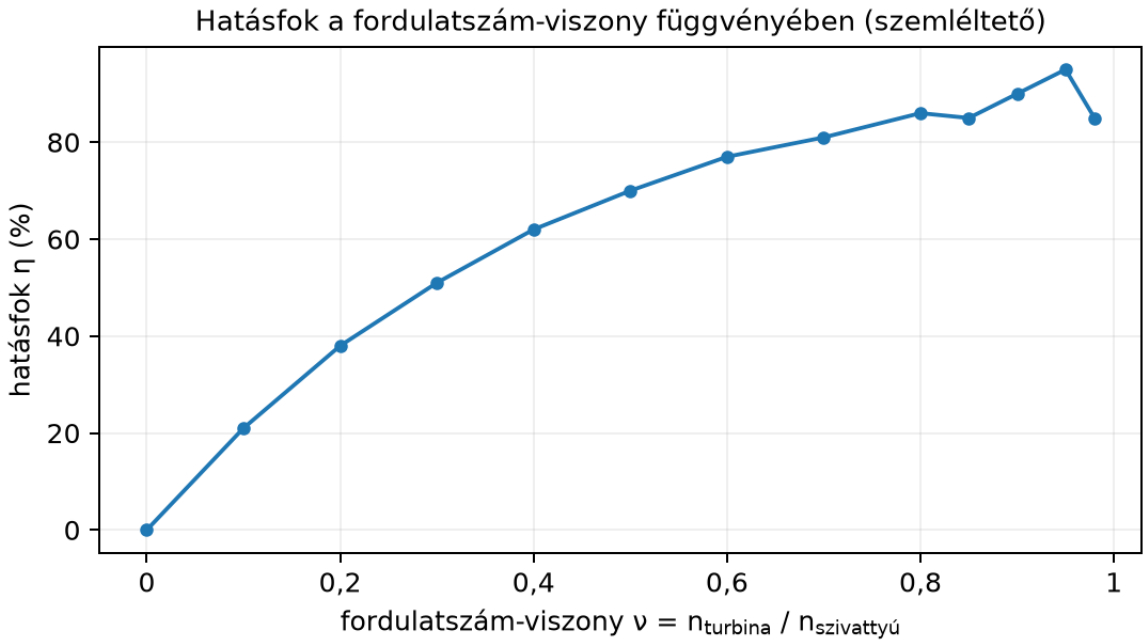
A hatásfok közelítőleg:

$$\eta = \frac{P_{\text{turbina}}}{P_{\text{szivattyú}}} = \frac{M_{\text{turbina}}\, n_{\text{turbina}}}{M_{\text{szivattyú}}\, n_{\text{szivattyú}}} \approx k_{\text{ny}}\, \nu.$$

A következő két ábrán a nyomatékszorzó és a hatásfok jellegzetes lefutása látható; a hatásfokpontok a nyomatékszorzó görbéjéből, az $\eta \approx k_{\text{ny}}\, \nu$ szorzatból adódnak:



22.9. ábra. Nyomatékmódosítás a fordulatszám-viszony függvényében (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor; a tengelykapcsoló-pont (k = 1) itt $\nu \approx 0{,}85$. A tényleges görbét a gyártói adatból kell venni.



22.10. ábra. Hatásfok a fordulatszám-viszony függvényében (szemléltető) - Szemléltető adatsor, a fenti k-görbéből számolva ($\eta = k \cdot \nu$). A tengelykapcsoló-pont ($k = 1$) fölött $\eta = \nu$; $\nu \to 1$ esetén a nyomatékátvitel és a hatásfok leesik, ezért zár az áthidaló (lock-up) tengelykapcsoló.

Az ábrák szemléltetik: a nyomatékszorzó induláskor a legnagyobb, majd fokozatosan 1-hez tart, és a tengelykapcsoló-ponttól (itt $\nu \approx 0{,}85$) értéke 1. A hatásfok eleinte nulla, mert a turbina áll, majd emelkedik; a tengelykapcsoló-pont fölött a vezetőkerék szabadonfutásának köszönhetően $\eta = \nu$, és a tengelykapcsoló-üzemben eléri a 90–95%-ot (ellenőrizendő: típusfüggő érték). $\nu \to 1$ esetén az átvitt nyomaték és a hatásfok leesik, ezért ebben a tartományban az áthidaló tengelykapcsoló zár.

22.3.3.3. A vezetőkerék szabadonfutója

Amikor a turbina fordulatszáma megközelíti a szivattyúét, a turbinát elhagyó olaj áramlási iránya megváltozik: már nem a szivattyú felé, hanem a vezetőkerék hátoldalára hatna. Ha a vezetőkerék ebben az állapotban továbbra is rögzített maradna, fékezné az olajáramot és rontaná a hatásfokot. A szabadonfutó ilyenkor elfordul, a vezetőkerék együtt forog az olajjal, a nyomatéknövelő hatás megszűnik, és a szerkezet **hidrodinamikus tengelykapcsolóként** viselkedik.

22.3.3.4. Az áthidaló (lock-up) tengelykapcsoló

A hidrodinamikus átvitel nagy előnye a rezgéscsillapítás és a kopásmentes nyomatékátadás, de hátránya az olajcsúszásból származó veszteség. Ennek kiküszöbölésére a nyomatékváltóba **áthidaló tengelykapcsolót** (lock-up clutch) építenek.

Definíció. A lock-up tengelykapcsoló a szivattyúkereket és a turbinakereket mechanikusan összezáró, hidraulikusan működtetett súrlódó tengelykapcsoló. Zárt állapotában a motor és a váltó bemenő tengelye között nincs hidraulikus csúszás, így a nyomatékváltó vesztesége minimálisra csökken.

A zárást a váltóvezérlő szeleprendszere vezérli. Alapjáraton, induláskor és váltáskor a lock-up nyitva van, hogy a hidrodinamikus csillapítás érvényesüljön. Utazóüzemben – jellemzően meleg motor és kis terhelés esetén – a vezérlő fokozatosan vagy teljesen zárja. Korszerű rendszereknél **csúszó lock-up** üzemet is alkalmaznak, amikor a tengelykapcsoló kis megcsúszással, szabályozottan viszi át a nyomatékot, így csökken a fogyasztás és javul a komfort.

Továbbvitt eredmény. A bolygómű áttételképlete ($ i_0 = z_g/z_s $ és a Willis-egyenlet) a klasszikus automata váltók fokozatkapcsolásának számításához kell, ahol kuplungokkal és fékekkel rögzítik az egyes elemeket. A hidrodinamikus nyomatékváltó nyomatékszorzója és a lock-up kapcsoló működése az Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók alfejezetben kerül felhasználásra, például a váltófokozatok viselkedésének és a fogyasztási előnyöknek az elemzésekor.

22.3.4. Minőségellenőrzés

A bolygómű és a nyomatékváltó ellenőrzésekor a diagnosztika a zajokból, a csúszásból és az olaj állapotából indul.

- **Fordulatszám-méréssel** a nyomatékváltó csúszását az úgynevezett slip érték adja meg: a motorfordulatszám és a turbinafordulatszám különbsége. Ha a lock-up zárva van, a slip közelítőleg 0; ha nyitva, akkor a terheléstől függően néhány száz 1/min is lehet. A konkrét határértéket a gyártói diagnosztikai adat adja meg (ellenőrizendő).
- **Olajszint és olajminőség:** az ATF égett szaga, sötét színe vagy fémrészecske-tartalma nyomatékváltó vagy bolygómű kopására utal. Az olajszintet a gyártó előírása szerint, a megadott hőmérsékleten kell ellenőrizni (ellenőrizendő).
- **Lock-up funkcióteszt:** diagnosztikai műszerrel a vezérlő kiadhatja a zárás parancsot, miközben figyeljük a fordulatszámok alakulását. Ha a slip nem csökken a várt mértékben, a lock-up kuplung vagy a vezérlőszelep hibás.
- **Bolygómű ellenőrzése:** a váltó szétszerelése nélkül a fogaskerék-zaj, a rángatás és a fémrészecskék utalnak kopásra. Javítás előtt a gyártói szervizutasítás a mérvadó.

22.3.5. Valós életbeli alkalmazás

Egy klasszikus automata váltós személyautóval érkezik az ügyfél: „induláskor gyenge, az autó alig indul el, utána javul.” A műhelyben a beállási fordulatszámot mérjük a gyártói eljárás szerint: álló helyzetben, behúzott rögzítő- és lenyomott üzemi fékkel, kerékékkel, a jármű előtti tér üres, D fokozatban, legfeljebb 5 s-ig teljes gázt adva (ellenőrizendő: gyártói eljárás). A motor csak 1500 1/min-ig pörög fel, a gyártói érték például 2200–2500 1/min (ellenőrizendő), a turbinafordulat 0. Az ATF színe barna, égett szaga van.

Az alacsony beállási fordulatszám (ép motornál) a vezetőkerék szabadonfutójának csúszására utal, mert nincs nyomatékmódosítás; induláskor a lock-up nyitva van, ezért annak hibája nem magyarázza a gyenge indulást. A lock-up csúszását külön, utazóüzemi tünetként (magas fogyasztás, magas fordulat autópályán) mérjük. A javítás a nyomatékváltó felújítása vagy cseréje, az olaj és a szűrő cseréje, majd a tanulási értékek törlése. A próbaúton a slip értéknek a gyártói tűrésen belül kell maradnia (ellenőrizendő: pontos tűrés).

Tanulság. A hidrodinamikus nyomatékváltó hibája gyakran először csak magas csúszásként jelenik meg. A diagnosztika során a fordulatszám-értékeket és az olaj állapotát együtt kell értékelni.

22.3.6. Tipikus hibák

1. **A napkerék és a gyűrűkerék fölcserélése a Willis-egyenletben.** Ha valaki a fogszámokat rossz elemhez rendeli, az áttétel irreálisan kicsi vagy nagy lesz. A helyes gyakorlat: először rajzoljuk föl, melyik elem rögzített, melyik hajt, melyik hajtott, majd írjuk be a képletbe.
2. **A nyomatékváltó és a hidrodinamikus tengelykapcsoló összekeverése.** A tengelykapcsoló nem végez nyomatékmódosítást, csak csúsztatva viszi át a nyomatékot; a nyomatékváltó vezetőkerékkel és szabadonfutóval nyomatékot is tud sokszorozni. A hibás értelmezés miatt szerelők rossz elemre gyanakodnak.
3. **A lock-up zárásának figyelmen kívül hagyása a fogyasztási panaszoknál.** Ha a lock-up nem zár, az autó fogyasztása nő, a motor fordulatszáma magas marad. A hibát gyakran a motorirányításra fogják, pedig a nyomatékváltó vezérlését kell vizsgálni.
4. **Rossz olajszint melletti diagnózis.** Az ATF alacsony szintje a nyomatékváltóban habzást, nyomásingadozást és csúszást okoz, ami hamis „váltóhiba” képét adja. Mindig a gyártói előírás szerinti olajszinten és hőmérsékleten mérjünk.

22.3.7. Önellenőrzés

1. Egy bolygóműben $z_s = 20$, $z_g = 60$. Mennyi az i_0 értéke?
2. Ugyanez a bolygómű: a gyűrűkerék rögzített, a napkerék hajt, a tartó hajtott. Mekkora az áttétel és a kimenő fordulatszám, ha a bemenő 2800 1/min?
3. Mit jelent a negatív áttétel a bolygóműnél?
4. Mi a vezetőkerék szabadonfutójának a feladata a hidrodinamikus nyomatékváltóban?
5. Miért csökkenti a fogyasztást a lock-up tengelykapcsoló?
6. Induláskor a nyomatékváltó nyomatékszorzója például 2,0. Ha a motor nyomatéka 300 Nm, mekkora elvileg a turbina nyomatéka ebben az állapotban?

22.3.8. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg i_0 értékét, ha $z_s = 25$ és $z_g = 75$.

2. feladat (A). Egy bolygóműben a napkerék rögzített, a tartó hajt, a gyűrűkerék hajtott. Számítsa ki az áttételt, ha $z_s = 30$, $z_g = 90$. Gyorsító vagy lassító fokozatot kapunk?

3. feladat (B). Egy bolygóműben a tartó rögzített, a gyűrűkerék hajt, a napkerék hajtott. Adja meg az áttételt, ha $z_s = 27$, $z_g = 81$. Milyen gyakorlati fokozat valósul meg?

4. feladat (B). Magyarázza el, mi történik a hidrodinamikus nyomatékváltóban, amikor a turbina fordulatszáma megközelíti a szivattyúkerék fordulatszámát. Mi a szabadonfutó szerepe ebben az üzemben?

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a hidrodinamikus tengelykapcsolót és a hidrodinamikus nyomatékváltót: miben egyezik, miben különbözik a felépítésük és a nyomatékátvitelük? Melyik miért kedvezőbb indításkor?

6. feladat (D). Egy automata váltós jármű diagnosztikája során a műszer a következő értékeket mutatja: motorfordulatszám 2500 1/min, turbinafordulatszám 2200 1/min, lock-up parancs aktív. A slip tehát 300 1/min. Mi a lehetséges hiba? Milyen további vizsgálatot végezne?

22.3.9. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. $i_0 = 60/20 = 3$.
2. $i = 1 + i_0 = 4$; a kimenő fordulatszám $2800/4 = 700\,1/\text{min}$.
3. A negatív áttétel ellentétes forgásirányt jelent, tehát hátramenet valósítható meg.
4. A vezetőkerék szabadonfutója lehetővé teszi, hogy a vezetőkerék a nagy fordulatszámú üzemben az olajjal együtt forogjon, így a nyomatékváltóból hidrodinamikus tengelykapcsoló lesz, és a hatásfok magas marad.
5. A lock-up mechanikusan összeköti a motor és a váltó tengelyét, megszünteti a hidraulikus csúszást, ezáltal csökken a veszteség és a fogyasztás.
6. $M_{\text{turbina}} = 2{,}0 \cdot 300 = 600\,\text{Nm}$.

1. feladat megoldása.

$$i_0 = \frac{z_g}{z_s} = \frac{75}{25} = 3.$$

2. feladat megoldása.

A napkerék rögzített ($n_s = 0$), a tartó hajt, a gyűrűkerék hajtott. A Willis-egyenlet:

$$0 + i_0 n_g = (1 + i_0) n_t.$$

Az áttétel:

$$i = \frac{n_t}{n_g} = \frac{i_0}{1 + i_0}.$$

$i_0 = 90/30 = 3$, így

$$i = \frac{3}{4} = 0{,}75.$$

Mivel $0 < i < 1$, gyorsító fokozatról van szó.

3. feladat megoldása.

A tartó rögzített ($n_t = 0$), a gyűrűkerék hajt, a napkerék hajtott. A Willis-egyenlet:

$$n_s + i_0 n_g = 0.$$

Az áttétel:

$$i = \frac{n_g}{n_s} = -\frac{1}{i_0}.$$

$i_0 = 81/27 = 3$, így

$$i = -\frac{1}{3} \approx -0{,}333.$$

A negatív előjel ellentétes forgásirányt jelent; $|i| = 0{,}333 < 1$, tehát a kimenet (napkerék) háromszor gyorsabban forog, a nyomaték harmadára csökken (gyorsító irányváltás). Járműhátramenetre ez a kapcsolás nem alkalmas, mert ott nagy lassítás kell; hátramenethez a napkerék hajt és a gyűrűkerék hajtott ($i = -3$, lásd a táblázat 5. sorát).

4. feladat megoldása.

Amikor a turbina fordulatszáma megközelíti a szivattyúét, a turbinát elhagyó olajáram iránya megfordul. A vezetőkerékre olyan erő hat, amely a hátoldalán igyekszik elfordítani. A szabadonfutó engedi a vezetőkereket az olajjal együtt forogni, ezért megszűnik a nyomatéknövelő hatás, a szerkezet hidrodinamikus tengelykapcsolóként viselkedik, és a hatásfoka magas értéken marad.

5. feladat megoldása.

Mindkettő olajjal, lapátkerekekkel viszi át a nyomatékot. A hidrodinamikus tengelykapcsoló csak két elemből áll (szivattyú- és turbinakerék), nyomatékot nem módosít, csak csúsztatva átviszi. A nyomatékváltó harmadik eleme a vezetőkerék, amely szabadonfutóval megtámasztva az olajáramot visszafordítja, így a turbinára jutó nyomatékot megnöveli. Indításkor, amikor a turbina áll, a nyomatékváltó nagyobb nyomatékot ad, ezért kedvezőbb.

6. feladat megoldása.

A lock-up parancs aktív, de a slip 300 1/min, ami azt jelenti, hogy a tengelykapcsoló nem zár tökéletesen. A lehetséges hiba lehet kopott lock-up kuplungfelület, alacsony hidraulikus vezérlőnyomás, eltömődött vezérlőszelep vagy szennyezett ATF. Első lépésként ellenőrizzem az olajszintet és az olaj állapotát. Ezután műszerrel vizsgáljam a vezérlő parancsot, a nyomásértékeket, és ha kell, végezzenek hidraulikus nyomásmérést. A gyártói adatok (nyomás, slip-tűrés) ellenőrizendők.

22.3.10. Rövid összefoglaló

Az egyszerű bolygómű három fő eleme a napkerék, a gyűrűkerék és a bolygókeréktartó. A Willis-egyenlet ($n_s + i_0 n_g = (1 + i_0) n_t$) adja meg a fordulatszámok kapcsolatát, ahol $i_0 = z_g / z_s$. Ha a gyűrűkereket rögzítjük és a napkerék hajt, a tartó kihajtás lassító ($i = 1 + i_0$); ha a napkerék rögzített és a tartó hajt, a gyűrűkerék kihajtás gyorsító ($i = i_0/(1 + i_0)$). A tartó rögzítése forgásirány-váltó hátramenetet ad ($-i_0$). A hidrodinamikus nyomatékváltó szivattyú-, turbina- és vezetőkerékből áll. Induláskor a vezetőkerék szabadonfutóval rögzül, az olajáramot visszafordítja, így nyomatékot sokszoroz (jellemzően 1,8–2,5-szeres, ellenőrizendő). Amikor a turbina felgyorsul, a szabadonfutó elfordul, a szerkezet hidrodinamikus tengelykapcsolóként működik. A lock-up tengelykapcsoló mechanikusan összezár, megszünteti a csúszást, ezzel csökkenti a fogyasztást. A diagnosztikában a slip érték, az olaj állapota és a lock-up funkcióteszt a meghatározó.

22.3.11. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a stabil gépészeti és hidraulikai ismeretekre épül. A konkrét fogszámok, áttételi tényezők, nyomatékszorzó tartományok, hatásfokértékek és a fordulatszám-tűréshatárok gyártói adatok, ezért a kiadás előtt minden számértéket ellenőriztetni kell: gyártói javítási kézikönyvek, a konkrét automata váltó (pl. ZF, Aisin, GM, BorgWarner) specifikációi; a lock-up vezérlési stratégiája és a diagnosztikai slip határértékek gyártónként eltérnek. A szövegben jelöltük az ellenőrizendő állításokat. Jogszabályi hivatkozás ebben a fejezetben nem releváns.

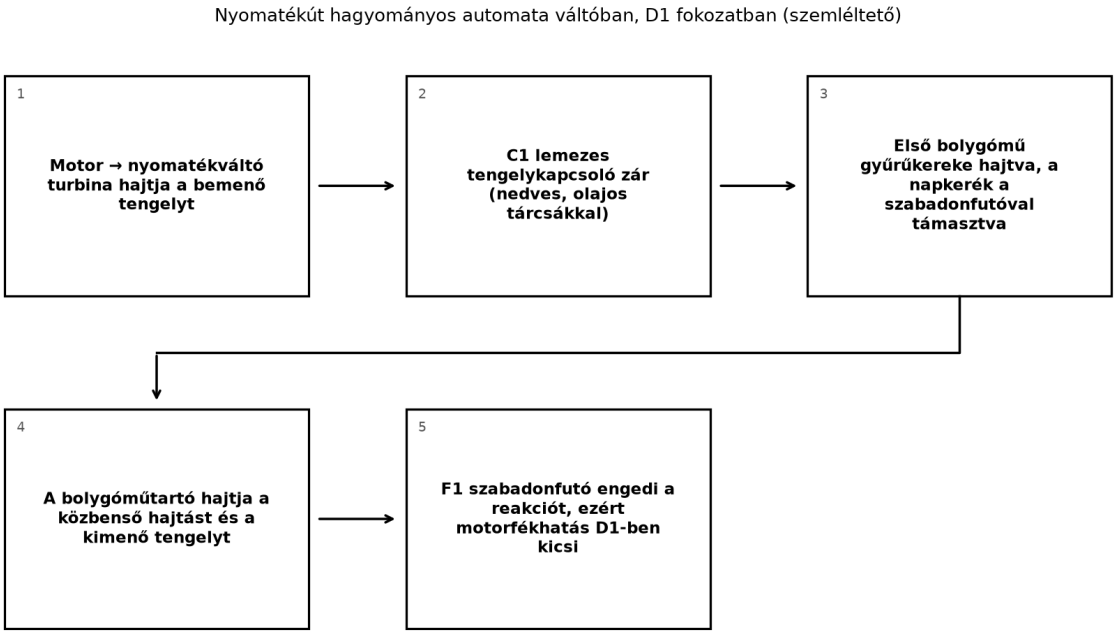
22.4. Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók

22.4.1. Motiváció

Ügyfélpanaszok, amelyekkel autószerelőként naponta találkozol: „a váltó hidegen rángat”, „pörög a motor, de alig gyorsul”, „beragadt P-ben a kar”, „hibakód nélkül vészüzembe ment a váltó”. A hagyományos automata, a kettős tengelykapcsolós és a fokozatmentes váltó teljesen más felépítésű, ezért más olajat, más ellenőrzési eljárást és más javítási logikát igényel. Ha csak annyit tudsz, hogy „automata váltó”, a hiba keresése zsákutca lesz. Ebben az alfejezetben a három legfontosabb típust hasonlítjuk össze, és bemutatjuk a javításhoz szükséges legalapvetőbb szerkezeti ismereteket.

22.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy hagyományos, hatfokozatú automata váltó keresztmetszetét. A ház bal oldalán a hidrodinamikus nyomatékváltó látható, mögötte az olajszivattyú. A váltóház közepén a **Ravigneaux- vagy Simpson-típusú bolygóműkészlet** kapott helyet, körülötte nedves, olajos többtárcsás tengelykapcsolók és fékek, valamint a dobok külső palástján egy szalagfék. A ház alján található a **hidraulikus vezérlőegység** (szelepblokk) és az elektrohidraulikus mágnesszelepek; felül a választókarhoz kapcsolódó mechanikus reteszelés és a kimenő fordulatszám-jeladó. Ugyanettől az elvtől eltér a kettős tengelykapcsolós váltó, amely fogaskerékpárokat és két tengelykapcsolót használ, illetve a CVT, amely kúptárcsákkal és húzóelemével tűnik fel.



22.11. ábra. Nyomatékút hagyományos automata váltóban, D1 fokozatban (szemléltető) - Általános, leegyszerűsített vázlat; a konkrét bolygómű-kapcsolás és a működtetett elemek a gyártói rajz szerint ellenőrizendők.

Az ábra a nyomatékút lépéseit mutatja D1-ben. A nyíl mentén haladhatunk: a motor a nyomatékváltó szivattyúkerekét hajtja, az olaj a turbinát forgatja, az olajnyomás zárja a C1 tengelykapcsolót, a bolygómű gyűrűkereke behajtott elem lesz, a napkerék a szabadonfutón

támaszkodik, így a bolygóműtartó hajtja tovább a kimenő tengelyt. Az R helyzetet ugyanezzel a módszerrel, de más elemek működtetésével tanuljuk meg.

22.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. (hagyományos automata váltó) Olyan többfokozatú sebességváltó, amely a fokozatokat bolygóművekkel, nedves lemezes tengelykapcsolókkal, lemezes fékekkel és/vagy szalagfékkel valósítja meg, indítóelemként pedig hidrodinamikus nyomatékváltót használ. A fokozatok kapcsolását hidraulikus vagy elektrohidraulikus vezérlés végzi.

Definíció. (kettős tengelykapcsolós váltó, DSG-típus) Olyan automatizált sebességváltó, amely két részhajtóművet és két tengelykapcsolót tartalmaz: az egyik tengelykapcsoló a páratlan fokozatokat (1., 3., 5.), a másik a páros fokozatokat (2., 4., 6.) hajtja. A következő fokozat előválasztott állapotban vár, így a váltás nagyon gyors és megszakításmentesnek érződik. A „DSG” egy típusnév; általánosan kettős tengelykapcsolós, automatizált kézi váltónak nevezzük.

Definíció. (fokozatmentes váltó, CVT) Olyan sebességváltó, amelynek áttétele egy tartományon belül folyamatosan, fokozatok nélkül változtatható. A leggyakoribb személygépkocsi-változat két, egymással szemben álló kúpos tárcsapárból és egy húzóelemből (szalagból vagy láncból) áll.

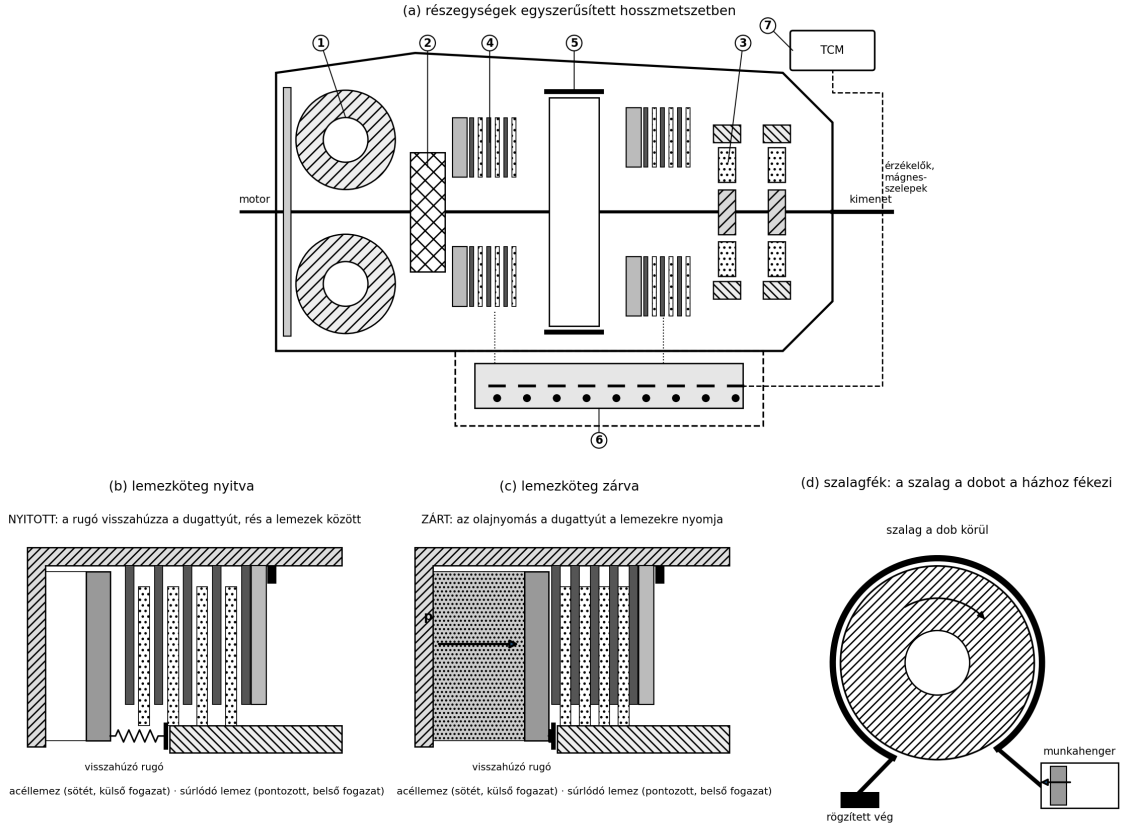
Definíció. (ATF-váltóolaj) Az automata sebességváltókhoz való hidraulika- és kenőolajok gyűjtőneve (automatic transmission fluid). Nem helyettesíthető egyszerű motorolajjal, és a CVT-hez, illetve a kettős tengelykapcsolós váltóhoz külön engedélyezett olajtípus kell.

22.4.4. Felépítés és működés

22.4.4.1. A hagyományos automata váltó részegységei

A hagyományos automata váltó legfontosabb egységei:

1. **Hidrodinamikus nyomatékváltó** – áthidaló tengelykapcsolóval; indításkor és kis sebességnél nyomatéknövelést és csillapítást ad, egyenletes haladáskor a belső áthidaló tengelykapcsoló merev kapcsolatot hoz létre, hogy csökkenjen a szlip és a fogyasztás.
2. **Olajszivattyú** – a váltóolajat nyomás alá helyezi; rendszerint közvetlenül a nyomatékváltó házából kapja a meghajtást.
3. **Bolygómű-készlet** – a fokozatok mechanikus áttételét adja. A leggyakrabban egy **Simpson-** vagy **Ravigneaux-felépítésű** rendszert, esetleg több, egymás után kapcsolt bolygóművet használnak. Az egyes elemek (napkerék, gyűrűkerék, bolygóműtartó) attól függően hajtanak, állnak vagy támaszkodnak, hogy melyik tengelykapcsoló vagy fék zár.
4. **Nedves lemezes tengelykapcsolók és fékek** – olajban futó acél- és súrlódó lemezkötegek; hidraulikus dugattyú szorítja őket össze. A tengelykapcsolók két forgó elemet kötnek össze, a fékek egy forgó elemet a házhoz rögzítenek.
5. **Szalagfék** – a házon vagy egy rögzített támaszon elhelyezkedő, dobot körbefogó acélszalag; hidraulikus munkahenger feszíti meg, ezáltal a dobot és a vele kapcsolt bolygóműelemet lefékezi, illetve rögzíti.
6. **Hidraulikus vezérlőegység (szelepblokk)** – olajcsatornákat, váltószelepeket, elektrohidraulikus mágnesszelepeket és nyomásszabályzókat tartalmaz; a vezérlőelektronika jelére olajnyomást irányít a tengelykapcsolókba, fékekbe, illetve a kúptárcsákhoz.
7. **Váltóvezérlő elektronika (TCM)** – a motorvezérlőhöz hasonlóan szenzorokból (bemenő fordulatszám, váltó kimenő fordulatszáma, olajhőmérséklet, gázpedálállás, választókar-helyzet) dönt a váltási pontokról és a váltóolajnyomásról.



22.12. ábra. A hagyományos automata váltó részegységei, a lemezköteg nyitva és zárva, valamint a szalagfék

Az ábra számozása a fenti felsorolást követi. Az alsó részletek a két kapcsolóelem működését mutatják: a lemezkötegben az olajnyomás a dugattyút a váltakozó acél- és súrlódó lemezekre nyomja (zárva a két elem együtt forog, nyitva a visszahúzó rugó oldja), a szalagféknél a munkahenger a dobot körülfogó szalagot feszíti meg, és a dob a házhoz fékeződik. A HTML-változatban rámutatásra a részegység neve és szerepe jelenik meg.

22.4.4.2. Választókar-helyzetek

A szokásos helyzetek és feladataik:

- **P (parking)** – a váltó kimenő tengelyét mechanikus retesz rögzíti; a jármű nem gurulhat. A P-helyzetet a fékpedál lenyomása nélkül nem szabad ki- vagy bekapcsolni; a P-retesz terhelését el kell kerülni.
- **R (reverse)** – a kimenő forgásirány megfordul.
- **N (neutral)** – a hajtáslanc megszakad, a kimenő tengely szabadon foroghat; a kerékhez való hajtás nincs.
- **D (drive)** – automatikus előremenet, minden előremeneti fokozat használható.
- **S (sport), M (manual) vagy +/-** – késleltetett felváltás, illetve kézi fokozatválasztás alapon; a valós váltást mégis a váltóvezérlő szabályozza, védve a motort és a hajtóművet.

22.4.4.3. Nyomatékút D1 és R helyzetben

A **D1** előremeneti fokozatban a motor a nyomatékváltón keresztül hajtja a bemenő tengelyt. A hidraulikus vezérlés zárja a **C1 lemezes tengelykapcsolót**, amely a bemenő tengelyt a bolygómű **gyűrűkerekével** köti össze. A **napkereket** a szabadonfutó (F1) vagy egy lemezes fék a házhoz támasztja. A bolygóműtartó így a gyűrűnél lassabban, de nagyobb nyomatékkal forog, és a kimenő tengelyt hajtja. A szabadonfutó miatt D1-ben motorfékhatás alig van: ha a jármű gyorsabban forog, mint a hajtás, a szabadonfutó kiold, és a hajtás nem fékez.

Az **R** helyzetben a vezérlés általában egy másik lemezes tengelykapcsolót (C2 vagy C3) és egy lemezes féket vagy szalagféket (B2/B3) működtet. A pontos kapcsolás típusfüggő, de a logika mindig az: a bolygómű egyik eleme behajtott, a másik rögzített, a harmadik kimenet, és a kapcsolat iránya úgy alakul, hogy a kimenő tengely az előremenetthez képest **ellenkező irányba** forog. A hátramenetet a váltóvezérlő csak kis sebességnél engedi, a védelmi logika ezt figyeli.

22.4.4.4. Elektronikus váltóvezérlés és vészüzem

A modern automata váltóban a hidraulikus szelepblokk már nem mechanikusan, hanem **elektro-hidraulikus mágnesszelepekkel** épül fel. A TCM szenzorjelekből kiszámítja a kívánt fokozatot, a nyomásmódosítást és a váltási időt. A váltó **adaptációt** is tanul: a lemezes tengelykapcsolók kopását, a váltási időket és a nyomásigényt korrigálja. Ha a rendszer alapvető hibát észlel, **vészüzembe** kapcsol: egy vagy néhány rögzített fokozatot tart fenn (típusfüggő), és a hibát műszerfalon jelzi, illetve tárolja. Ilyenkor a probléma kiolvasásához rendszerteszter kell, mert a vészüzem nem a váltó „megjavulásáig” tart, hanem addig, amíg a hibát föl nem derítik.

22.4.4.5. Kettős tengelykapcsolós váltó (DSG-típus) és automatizált kézi váltó

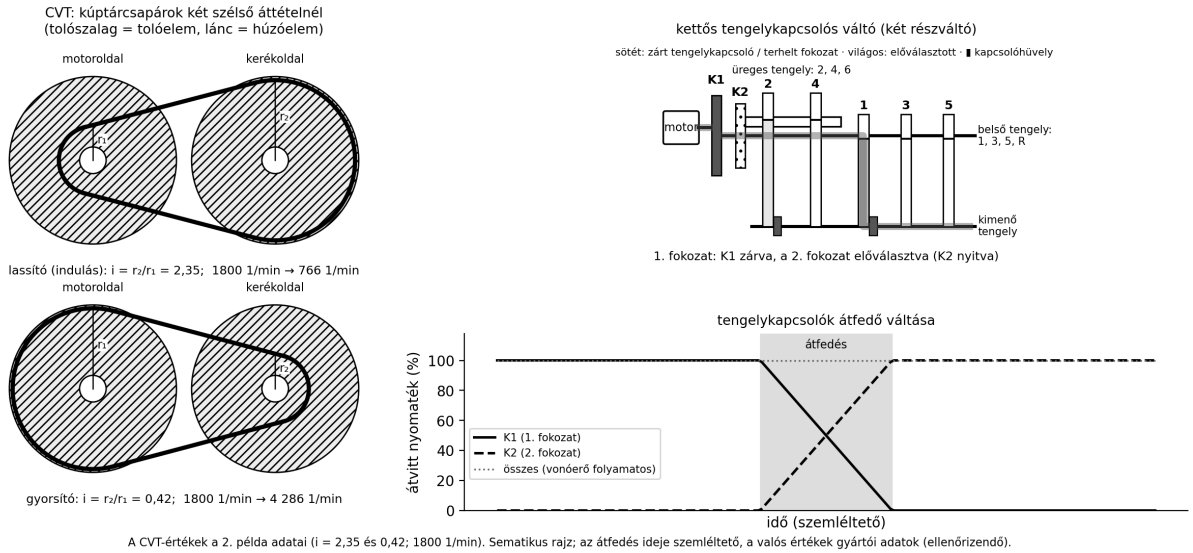
A kettős tengelykapcsolós váltóban nincs nyomatékváltó és nincs bolygómű. Két, egymás melletti fogaskerékpár-csoport található benne, mint egy kézi váltóban. Az 1., 3., 5. fokozat és a hátramenet az egyik tengelykapcsolóhoz, a 2., 4., 6. fokozat a másikhoz tartozik. Amikor a jármű egyes fokozatban halad, a kettes fokozat már be van kapcsolva, de a hozzá tartozó tengelykapcsoló még nyitva. Váltáskor a vezérlő az egyik tengelykapcsolót zárja, a másikat egyszerre nyitja. Ezért a váltás gyors, a vonóerő-megszakítás rövid.

A tengelykapcsolók lehetnek **nedves** (olajban futó) vagy **száraz** kivitelűek; a pontos kivitel gyártótól függ. A váltást egy **mechatronikai egység** vezérli, amely a hidraulikus munkahengereket, mágnesszelepeket és az elektronikát egyesíti. A DSG-típusú váltó is rendelkezik adaptációval; a kuplungok kopását és az érintkezési pontot újra kell tanultatni bizonyos javítások után. Az **automatizált kézi váltó (AMT)** a régebbi, egyszerűbb megoldás: hagyományos kézi váltót villamos vagy hidraulikus állítómű működtet, de váltáskor érezhetőbb a vonóerő-megszakadás, és a komfortja szerényebb.

22.4.4.6. Fokozatmentes váltó (CVT)

A CVT központi eleme két **kúptárcsapár** és egy **tolóelem** (szalag vagy lánc). Mindegyik tárcsapár egyik fele tengelyirányban elmozdulhat, így a húzóelem futósugara kisebb-nagyobb lesz. Ha a motoroldali tárcsa futósugara kicsi, a kerékoldalié nagy, az áttétel lassító; ha a motoroldali futósugár nagy, a kerékoldali kicsi, az áttétel gyorsító. A tárcsák szorítóerejét a váltóvezérlő hidraulikusan szabályozza, hogy a húzóelem ne csússzon meg. A CVT előnye, hogy a motor

fordulatszámát közel állandó, optimális üzemi tartományban tarthatja, miközben a jármű gyorsul. A látszólagos „megcsúszás” elkerülését a tárcsanyomás vezérlés és a kopásellenőrzés szolgálja.



22.13. ábra. CVT kúptárcsapárok két szélső áttételnél és a kettős tengelykapcsolós váltó átfedő váltása

Az ábra bal oldalán a CVT áttétele $i = r_2/r_1$: indításkor a motoroldali futósugár kicsi ($i = 2{,}35$), nagy sebességnél nagy ($i = 0{,}42$); a 2. példa adataival 1800 1/min mellett a kimenő fordulatszám 766, illetve kb. 4290 1/min. A tolószalag tolóelem, a lánc húzóelem. A jobb oldalon a kettős tengelykapcsolós váltó két részváltója látható: 1. fokozatban K1 zár, a 2. fokozat már előválasztva vár; váltáskor K1 nyit, K2 zár, a két tengelykapcsoló nyomatéka rövid ideig átfed, így a vonóerő nem szakad meg. A HTML-változatban a CVT-áttétel csúszkával állítható, a DSG fázisai menüből választhatók.

Szempont	Hagyományos automata	Kettős tengelykapcsolós (DSG-típus)	CVT
Indítóelem	nyomatékváltó	száraz vagy nedves tengelykapcsoló	nyomatékváltó vagy tengelykapcsoló
Áttételképzés	bolygóművek	fogaskerékpárok két részváltóban	kúptárcsák és tolószalag vagy lánc
Váltás	tengelykapcsoló–fék átfedéssel	két tengelykapcsoló átfedéssel	fokozatmentes
Komfort	nagyon egyenletes	gyors, szinte megszakításmentes	fokozatmentes, egyenletes
Hatásfok (tájékoztató, ellenőrizendő)	a nyomatékváltó vesztesége rontja	jobb	jó, de a tárcsanyomás veszteséget okoz
Olaj	ATF	DSG-specifikáció; száraz kivitelnél külön hajtóműolaj és hidraulikaolaj	CVT-olaj
Jellemző hibák	váltási csúszás, vészüzem	mechatronika, tengelykapcsoló-adaptáció	szalag/lánc kopása, csúszás

Szempont	Hagyományos automata	Kettős tengelykapcsolós (DSG-típus)	CVT
Szervizteendő	olajcsere, adaptáció	adaptáció, szoftver	csak gyártói CVT-olaj, kopásellenőrzés

Az összehasonlító táblázat értékei tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

Továbbvitt eredmény. A hagyományos automata váltó nyomatékváltós, bolygóműves és hidraulikus felépítése, a DSG fogaskerékpáros, kettős tengelykapcsolós rendszere és a CVT folytonos áttétele a hibrid és elektromos hajtásoknál (Hibrid és elektromos hajtások áttekintése) sokszor visszaköszön; az e-CVT és a hibrid hajtásmodul működése ezekből az alapokból érthető meg. Ugyanezt a hármas felosztást használjuk az automata váltók szervizelése, olajcseréje és javítása során (Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere), mert minden típusnak eltérő az olajtöltete, a légtelenítése, az adaptációja és a biztonsági ellenőrzése.

22.4.5. Kidolgozott példák

1. példa – Bolygómű-áttétel D1 fokozatban. Egy egyszerű tanulási bolygóműben a napkerék fogszáma $z_s = 30$, a gyűrűkerék fogszáma $z_g = 72$, így $i_0 = z_g/z_s = 2{,}4$. D1-ben a gyűrűkerék behajtott, a napkerék a szabadonfutóval rögzített, a bolygóműtartó a kimenet. Mekkora a bolygómű fokozati áttétele?

Adott: $z_s = 30$, $z_g = 72$, $i_0 = 2{,}4$. Keresett: i_{D1}.

Képlet (a Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó alfejezet táblázatának 3. sora: napkerék rögzített, gyűrűkerék hajt, tartó hajtott): $i = \dfrac{n_{\text{gyűrű}}}{n_{\text{tartó}}} = 1 + \dfrac{1}{i_0}$.

Behelyettesítés: $i = 1 + \frac{1}{2{,}4} = 1 + 0{,}4167 = 1{,}417 \approx 1{,}42$.

Ellenőrzés: a tartó lassabban forog, mint a gyűrű, ezért az áttétel nagyobb 1-nél. A teljes váltó teljes első fokozati áttétele a további bolygóművek és a végáttétel miatt ennél nagyobb is lehet (jellemzően 2,5–4 között; gyártói adat – ellenőrizendő). ∎

2. példa – CVT kimenő fordulatszám-számítás. Egy CVT áttételtartománya $i_{\max} = 2{,}35$ és $i_{\min} = 0{,}42$. A motor fordulatszáma mindkét helyzetben 1800 1/min. Mekkora a váltó kimenő fordulatszáma a két szélső helyzetben?

Adott: $n_{\text{motor}} = 1800$ 1/min, $i_{\max} = 2{,}35$, $i_{\min} = 0{,}42$.

$$n_{\text{ki,max}} = \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\max}} = \frac{1800}{2{,}35} = 765{,}96 \approx 766 \text{ 1/min}.$$

$$n_{\text{ki,min}} = \frac{n_{\text{motor}}}{i_{\min}} = \frac{1800}{0{,}42} = 4285{,}7 \approx 4290 \text{ 1/min}.$$

Ellenőrzés: nagy áttételnél a kimenő fordulatszám kicsi (indulás, lassú haladás), kis áttételnél nagy (nagyobb sebesség). A két érték nagyságrendje reális. ∎

Hibás példa. Ha a CVT-be hagyományos ATF-et töltenek, a szíj vagy lánc a tárcsákon megcsúszhat, mert a CVT-olajnak speciális fém-súrlódást szabályozó adaléka van. A hibát sokan csak később veszik észre, amikor a váltó már állandóan csúszik. **Helyes gyakorlat:** csak a gyártói engedély szerinti CVT-olajat használni.

22.4.6. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista váltóvizsgálathoz:

- **Olajszint:** a gyártói eljárás szerint – jellemzően járó motornál, vízszintes járművön, a választókart minden helyzeten végigléptetve, majd P-ben, a rendszerteszterrel figyelt, gyártó által előírt olajhőmérsékleti ablakban (típusonként eltér, pl. 35–45 °C vagy magasabb – ellenőrizendő). Túlfolyó csavaros váltónál a csavart járó motornál, emelőn álló járművön nyitjuk. **Figyelem:** zárt térben kipufogógáz-elszívás kell; forgó féltengely/kardán és forró kipufogó közelében laza ruha, kéz nem lehet; a jármű az emelőn rögzítve legyen.
- **Olaj állapota:** szín (fáradt, égett), szag, esetleg fémrészecskék a leeresztőmágnesen. A sötét, égett szag rendszerint hő- vagy szerkezeti károsodást jelez.
- **Választókar-retesz:** P-ből csak fékpedállal, terheletlen kerekekkel kivehető; a retesz rendben tart.
- **Hibakód és adaptációk:** rendszerteszterrel a váltóvezérlő hibakódjait, élő adatait és adaptációs értékeit kiolvassuk.
- **Vezetékek és csatlakozók:** a váltó külső kábelkötege, a választókar-érzékelő és a hőmérséklet-jeladó épsége.
- **Emelés:** a jármű alatti munkánál a gyártói emelési pontok vagy bakok használata kötelező; kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni **tilos**.

Figyelem. A kileeresztett váltóolaj forró lehet, és a váltóház alsó lemeze éles peremű. Viselj védőszemüveget, hosszú szárú védőkesztyűt, és az olajat megfelelő gyűjtőedénybe engedd le.

Környezetvédelem. A használt váltóolaj veszélyes hulladék; zárható, felcímkézett edényben kell gyűjteni, és engedéllyel rendelkező hulladékkezelőnek kell átadni. A műhelyben a kiöntött olajat tilos a csatornába engedni.

22.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Eset: DSG-típusú váltó hidegen rángat. Az ügyfél azt panaszolja, hogy az autó hidegen, induláskor rángat, melegen viszont jól viselkedik. A kiolvasás során a váltó vezérlőjében nincs hibakód. Az élő adatok között az akkumulátorfeszültség, a választókar-helyzet és a váltóolaj-hőmérséklet reális értéket mutat. A szerelő megvizsgálja a váltótartó rögzítését, külső csatlakozóit, majd elvégzi a kettős tengelykapcsoló mechatronikai adaptációját és szükség szerint a gyártói szoftverfrissítést. A javítás után hidegen próbaúton ellenőrzi, hogy a váltás ismét lágy, a tengelykapcsoló nem rángat. A hibát az okozta, hogy a kopás és a hőfokfüggő súrlódási jellemzők miatt a kuplung adaptációja eltért az ideálistól; a szoftveres korrekció és az újratanítás megszüntette a panaszt.

22.4.8. Tipikus hibák

- **ATF, DSG-olaj és CVT-olaj összekeverése.** A „mindegy, hogy automata váltóba való” hozzáállás súlyos csúszást és mechatronikai károkat okoz. Mindig a gyártói specifikációjú olajat kell használni.
- **P-helyzetből erővel, fékpedál nélkül kihúzva a kart.** A mechanikus retesz és a választókar-érzékelő sérülhet; emelkedőn a váltó mechanikusan megfeszül.
- **CVT megcsúszását gázadagolással próbálják megszüntetni.** A pörgő motor és alig gyorsuló jármű tovább növeli a húzóelem és a tárcsák kopását; azonnal le kell állni a hibakeresésig.

- **Vészüzemet figyelmen kívül hagyva tovább használják az autót.** A vészüzem csak egy vagy néhány fokozatot őriz; a jármű tovább használata a váltót és a motorirányítást is károsíthatja.
- **A DSG-t bolygóműves automataként szervizelik.** A kettős tengelykapcsolós váltóban nincs nyomatékváltó; olajcsere és légtelenítés szempontjából teljesen más eljárás kell.

22.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A kettős tengelykapcsolós váltó hidrodinamikus nyomatékváltót használ.
2. Mi a különbség a lemezes tengelykapcsoló és a lemezes fék között az automata váltóban?
3. Miért kicsi a motorfékhatás D1 fokozatban, ha szabadonfutó rögzíti a napkereket?
4. Mi a szalagfék feladata az automata váltóban?
5. Miért nem szabad hagyományos ATF-et tölteni CVT-váltóba?

22.4.10. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg röviden: hagyományos automata váltó, DSG-típusú váltó, CVT-váltó.

2. feladat (A) Sorold fel a hagyományos automata váltó főbb szerkezeti egységeit.

3. feladat (B) Egy CVT áttétele folyamatosan változik. Adott: a motor fordulatszáma 2500 1/min, az aktuális áttétel 1,8. Mekkora a váltó kimenő fordulatszáma?

4. feladat (B) Ábrázold szavakkal az R helyzetű nyomatékutat a hagyományos automata váltóban. Mely elemek vehetnek részt a hátramenetben?

5. feladat (C) Hasonlítsd össze a hagyományos automata váltót, a DSG-típusú váltót és a CVT-t a komfort, a hatásfok, a váltás megszakításmentessége és a jellemző hiba szempontjából.

6. feladat (D) Egy DSG-szervizben a jármű néha nem tud elindulni, a motor pörög, de a váltó nem viszi át a nyomatékot. A kiolvasott adatok: hibakód nincs, az olajszint rendben, az akkumulátor feszültsége 12,4 V, a tengelykapcsoló-adaptáció már több éve nem volt frissítve. Mi a legvalószínűbb hipotézis, és milyen első teendőt javasolsz?

22.4.11. Megoldások

22.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A DSG-típusú váltó két tengelykapcsolót és fogaskerékpárokat használ, nem nyomatékváltót.
2. A lemezes tengelykapcsoló két forgó elemet köt össze, a lemezes fék egy forgó elemet a házhoz rögzít.
3. D1-ben a szabadonfutó a napkereket a házhoz támasztja, de motorfék esetén a hajtás iránya feloldódik; a kimenet a hajtást nem fékezi vissza.
4. A szalagfék egy külső dobot szorít le, és rögzíti a vele kapcsolt bolygóműelemet; hátramenetben vagy egyes fokozatokban lehet reakcióelem.
5. A CVT-olaj speciális fém-súrlódást szabályozó adalékokat tartalmaz; a hagyományos ATF nem biztosítja a húzóelem szükséges tapadását, a szalag/lánc megcsúszhat.

22.4.11.2. Feladatok megoldása

1. **1. feladat.** Hagyományos automata: hidrodinamikus nyomatékváltó + bolygómű + hidraulikus/elektrohidraulikus vezérlés. DSG: két tengelykapcsoló + két fogaskerék-csoport + mechatronika. CVT: kúptárcsák + húzóelem, folyamatos áttétel.
2. **2. feladat.** Nyomatékváltó, olajszivattyú, bolygómű-készlet, nedves lemezes tengelykapcsolók/fékek, szalagfék, hidraulikus szelepblokk, váltóvezérlő elektronika, választókar-retesz.
3. **3. feladat.** $n_{\text{ki}} = \dfrac{n_{\text{motor}}}{i} = \dfrac{2500}{1{,}8} = 1388{,}9 \approx 1389$ 1/min. Az áttétel 1-nél nagyobb, tehát a kimenet lassabban forog, a nyomaték nagyobb.
4. **4. feladat.** Az R helyzetben a váltóvezérlő a hidraulikus blokkon keresztül zár egy lemezes tengelykapcsolót, amely a bemenő hajtást a bolygómű egyik elemére viszi (pl. napkerékre vagy a második bolygóműre), majd egy lemezes fék vagy szalagfék rögzíti a reakcióelemet (pl. a bolygóműtartót). A kimenet ekkor ellenkező irányba forog, mint előremenetben.
5. **5. feladat.** A táblázat szerint: a hagyományos automata nagyon egyenletes, de a nyomatékváltó vesztesége rontja a hatásfokot; típushibája a váltási csúszás és a vészüzem. A DSG gyors, szinte megszakításmentes, hatásfoka jobb, de a mechatronika és a tengelykapcsoló-adaptáció érzékeny. A CVT fokozatmentes, egyenletes menetérzetet ad, de a húzóelem megcsúszása komoly kockázat.
6. **6. feladat.** A tünet, hogy a motor pörög, de a nyomaték nem jut el a kerekekhez, a tengelykapcsoló nyomatékátvitel hiányára utal. Nincs hibakód, az olajszint rendben, az akkumulátor feszültsége nem kirívó, a legvalószínűbb a **kettős tengelykapcsoló kopása vagy adaptációjának elavultsága**, esetleg a mechatronikai egység nyomásproblémája. Első teendő: rendszerteszterrel kiolvasni a váltó adaptációs értékeit, gyártói eljárás szerint tengelykapcsoló-adaptációt futtatni, majd próbaút; ha ez nem oldja meg, a kuplungok és a mechatronika mechanikai ellenőrzése következik.

22.4.12. Rövid összefoglaló

A hagyományos automata váltó hidrodinamikus nyomatékváltót, bolygóműveket és nedves lemezes tengelykapcsolókat, fékeket, valamint szalagféket használ. A fokozatok hidraulikus vagy elektrohidraulikus vezérléssel jönnek létre; D1-ben jellemzően a gyűrűkerék hajt, a napkerék a szabadonfutón támaszkodik, a tartó a kimenet. R-ben egy vagy több fék/tengelykapcsoló ellenkező irányú forgást állít elő. A választókarhelyzetek közül a P mechanikus reteszt is tartalmaz, az elektronika vészüzemmel védi a váltót. A kettős tengelykapcsolós váltó fogaskerékpárokat és két tengelykapcsolót alkalmaz; a CVT kúptárcsás, folyamatos áttételű. Mindegyikhez külön gyártói olajspecifikáció és adaptációs eljárás tartozik; ATF, DSG-olaj és CVT-olaj nem keverhető. A hibrid hajtások és a váltószerviz során ezt a három típust kell megkülönböztetni.

22.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a klasszikus mechanikai és hajtástechnikai ismeretekre, valamint a gyártói javítási útmutatók és váltószerviz-eljárások általános szerkezeti mintáira épül. Nincs hivatkozott webes forrás. Ellenőrizendő: a konkrét fogaskerékfogszámok, bolygómű-kapcsolások, tengelykapcsoló- és szalagfék-elnevezések, D1/R kapcsolási logikák, váltóolaj-specifikációk, hőmérsékletértékek, adaptációs lépések és vészüzemi tulajdonságok a gyártói adat alapján. A táblázatban szereplő értékek tanulási példák.

23 Kardánhajtás, kiegyenlítőmű és összkerékhajtás

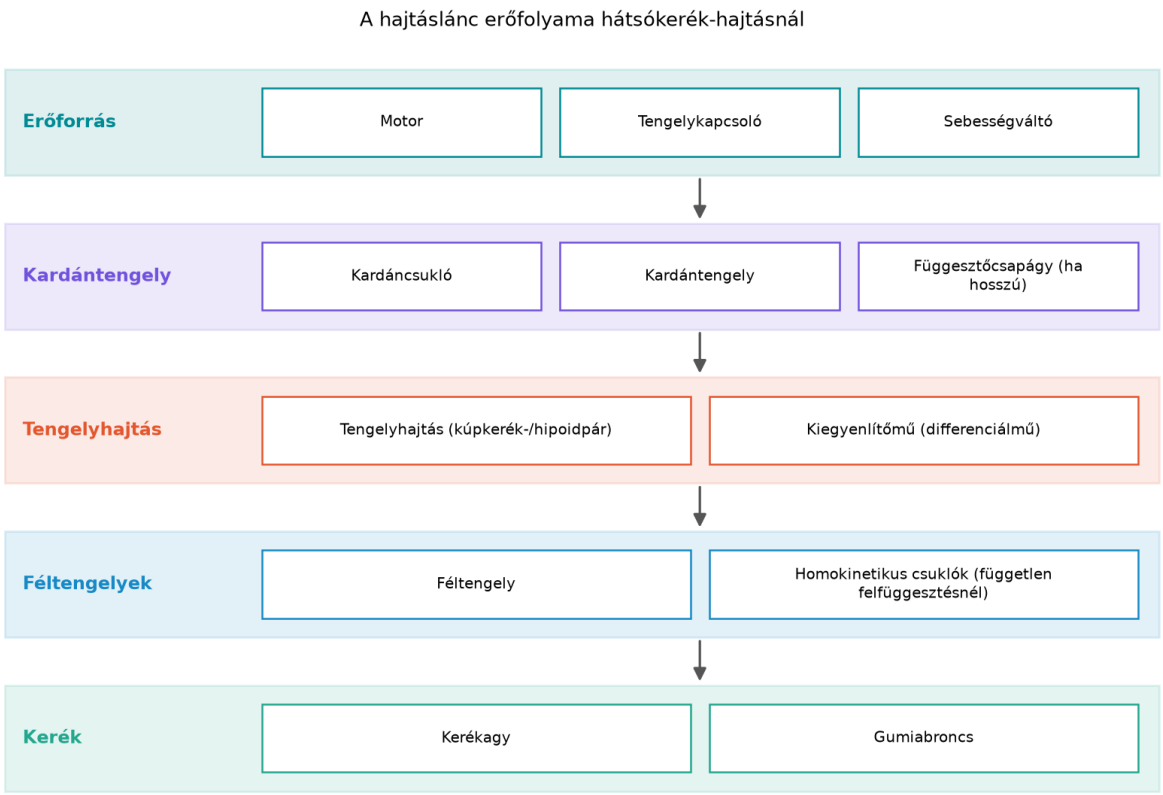
23.1. Kardánhajtás, csuklók és féltengelyek

23.1.1. Motiváció

Az egyik leggyakoribb hajtáslánc-panasz a műhelyben az, hogy kanyarodáskor kattogó, ropogó hang jön az első kerék felől, vagy gyorsításkor rezgést érez az utas a padlólemezen. A hang forrása gyakran a féltengely homokinetikus csuklója, a rezgés pedig a kardántengely kopott csuklójától vagy a rosszul szerelt, kiegyensúlyozatlan tengelytől származik. Ahhoz, hogy a szerelő biztosan megtalálja az okot, pontosan ismernie kell, hogyan viszi át a motor nyomatékát a hajtáslánc a kerekekre, és hogy a futómű mozgása miatt miért van szükség szögben és hosszban is elmozdulni képes csuklókra. Ebben az alfejezetben a kardánhajtást, a csuklós tengelyeket, a kardáncsukló szöghibáját és annak kiküszöbölését, valamint a homokinetikus (egyenletes szögsebességű) csuklókat és a féltengelyeket vizsgáljuk meg.

23.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy klasszikus hátsókerék-hajtású személyautót. A motor és a sebességváltó elöl, a hajtott hátsó híd hátul helyezkedik el. A forgatónyomatékot a váltótól a hátsó hídban lévő kiegyenlítőműhöz egy hosszú, csuklókkal tagolt tengely, a **kardántengely** továbbítja. A hátsó felfüggesztés rugói összenyomódnak, a híd kissé elmozdul, ezért a tengelynek folyamatosan változó szöget és hosszúságot kell kiegyenlítenie. A kardántengelyen lévő **kardáncsuklók** ezt a szögváltozást teszik lehetővé, bár nem tökéletesen egyenletes szögsebességgel. Ha a tengely túl hosszú, középen egy **függesztőcsapágyat** építenek be, hogy csökkentsék a behajlást és a rezgést. Elsőkerék-hajtású autókon a váltó közvetlenül a motor mellett van, és a hajtott kerekeknél a felfüggesztés nagyobb utat jár be, ezért ott rövid **féltengelyek** viszik át a nyomatékot, amelyek mindkét végén **homokinetikus csukló** található. A következő ábra a hajtáslánc erőfolyamát mutatja.



23.1. ábra. A hajtáslánc erőfolyama hátsókerék-hajtásnál - Szemléltető vázlat; a tengelyek szögei és a felfüggesztés mozgása miatt csuklók szükségesek. Merev hátsó hídban a féltengely csukló nélküli, független felfüggesztésnél mindkét végén homokinetikus csukló van.

A vázlat azt mutatja, hogy a hajtáslánc minden tagjának megvan a maga feladata: a motor a forgatónyomatékot állítja elő, a váltó módosítja az áttételt, a kardántengely a távolságot hidalja át, a differenciálmű a kanyarodáshoz szükséges kerék fordulatszám-különbséget engedi, a féltengelyek pedig a kerekekhez vezetik a nyomatékot.

23.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Kardáncsukló (Hooke-csukló). Olyan elfordulásra képes, nem homokinetikus (nem egyenletes szögsebességű) csukló, amely két, egymásra merőlegesen elhelyezkedő villa és egy keresztdarab segítségével viszi át a nyomatékot, miközben a bemenő és a kimenő tengely szöget zárhat be egymással.

Definíció. Homokinetikus csukló. Olyan csukló, amely a bemenő és a kimenő tengely szöghelyzetétől függetlenül pillanatnyilag is azonos szögsebességet továbbít, tehát nincs szögsebesség-ingadozás. Ilyenek a golyós (Rzeppa) és a háromkarú (tripod) csuklók.

Definíció. Féltengely. A tengelyhajtás (differenciálmű) és a hajtott kerék közötti, viszonylag rövid tengely, amely elsőkerék-hajtású járműveken homokinetikus csuklókkal, merev hátsó hídon pedig gyakran merev, egyenes tengelyként csatlakozik a kerékagyhoz.

Definíció. Függesztőcsapágy. Hosszú, két részből álló kardántengely középső alátámasztására szolgáló csapágy, amelyet gumibakkal rögzítenek a karosszériához vagy a segédvázhoz, hogy csökkentse a tengely behajlását és a rezgéseket.

23.1.4. A kardáncsukló felépítése, működése és szöghibája

A hagyományos kardáncsukló fő elemei a következők:

- **Bemenő villa:** a váltó kimenő tengelyéhez vagy a kardántengely előző szakaszához csatlakozik.
- **Kimenő villa:** a következő tengelyszakaszhoz csatlakozik.
- **Keresztdarab (kereszt):** két egymásra merőleges csapja illeszkedik a két villa csapágyházaiba.
- **Tűgörgős csapágyak:** a keresztdarab csapjai és a villa szemei között gördülnek, csökkentik a súrlódást.
- **Csapágycsészék és rögzítőgyűrűk:** a csapágyakat a villa szemeiben tartják.
- **Kenés:** a csapágyak zsírral vagy folyamatos zsírzással kenhetők; a modern kivitelek gyakran zárt, élettartam-kenésűek.

A kardáncsukló működése közben a keresztdarab lehetővé teszi, hogy a két villa egymáshoz képest szögben elforduljon. Azonban ha a hajtott tengely szöget zár be a hajtó tengellyel, a kimenő tengely szögsebessége egy fordulaton belül kétszer gyorsul és lassul a bemenő tengelyhez képest. Ezt a jelenséget nevezzük a kardáncsukló **szöghibájának**.

Összefüggés. Ha a bemenő tengely szögsebessége ω_1, a tengelyek által bezárt szög β, és a bemenő villa elfordulási szöge φ_1, akkor a kimenő tengely pillanatnyi szögsebessége:

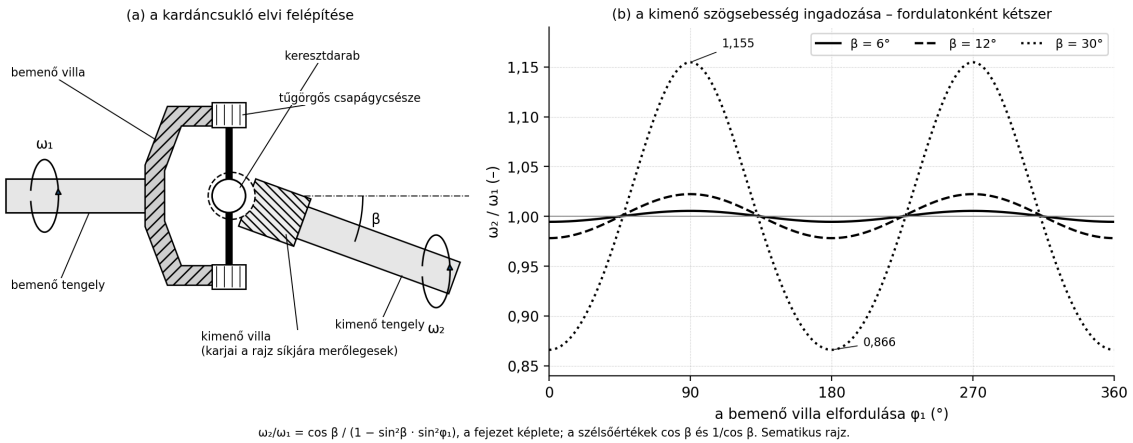
$$\omega_2 = \frac{\cos\beta}{1 - \sin^2\beta \cdot \sin^2\varphi_1} \cdot \omega_1$$

A kimenő tengely szögsebesség-ingadozása $\cos\beta$ és $1/\cos\beta$ közötti érték között ingadozik. Kis szögeknél ez a hiba kicsi, de például $\beta = 30^\circ$ esetén a kimenő tengely pillanatnyilag kb. 15%-kal gyorsulhat vagy lassulhat a bemenőhöz képest. Ez rezgést és egyenetlen futást okoz.

A szöghiba kiküszöbölésének klasszikus módja a **kettős kardáncsukló** vagy a **szöghibamentes elrendezés**. A feltételek:

1. A bemenő és a kimenő tengely legyen párhuzamos.
2. A közbenső tengely két villája azonos síkban álljon.
3. A két csukló által bezárt szög egyenlő legyen.

Ilyenkor az első csukló okozta szögsebesség-ingadozást a második csukló egyenlíti ki, így a teljes hajtás homokinetikusan viselkedik. A gyakorlatban a hátsókerék-hajtású autóknál a váltó kimenő tengelye és a differenciálmű bemenő tengelye párhuzamosra van állítva, a kardántengely pedig megfelelően összeszerelt kettős csuklóval csatlakozik.



23.2. ábra. A kardáncsukló felépítése és a kimenő szögsebesség ingadozása

Az ábra bal oldalán a bemenő villa a keresztdarab egyik csappárját, a rá merőleges kimenő villa a másikat fogja; a csapokon tűgörgős csapágycsészék ülnek, a két tengely β szöget zár be. A jobb oldali görbék a fenti képletből számoltak: $\beta = 30°$-nál az arány 0,866 és 1,155 között, fordulatonként kétszer ingadozik, kis szögeknél az ingadozás alig észrevehető. A HTML-változatban a β szög állítható, és kettős kardánnál összevethető a helyes Z-elrendezés (azonos villasík, az ingadozás kiegyenlítődik) a 90°-kal elforgatott középső villával (az ingadozás összeadódik).

23.1.5. A függesztőcsapágy szerepe

Hosszú tengelytávú járműveken (kisteherautók, egyes terepjárók) a kardántengely olyan hosszú, hogy saját tömege és a forgás közben fellépő hajlítóerők miatt behajolna, ami rezgéshez és a csuklók gyors kopásához vezetne. A **függesztőcsapágy** ilyenkor a tengelyt két szakaszra osztja: az első szakasz a váltótól a függesztőcsapágyig, a második szakasz a függesztőcsapágytól a differenciálműig tart. A csapágyat gumibakba ágyazzák, amely csillapítja a kardántengely kis elmozdulásait és rezgéseit, és megengedi a híd vagy a karosszéria kis mozgását. A gumibak elöregedése, szakadása jellegzetes dübörgést, ütésszerű rezgést okoz gyorsításkor vagy terhelésváltáskor.

23.1.6. Szárazcsuklók és a homokinetikus csuklók típusai

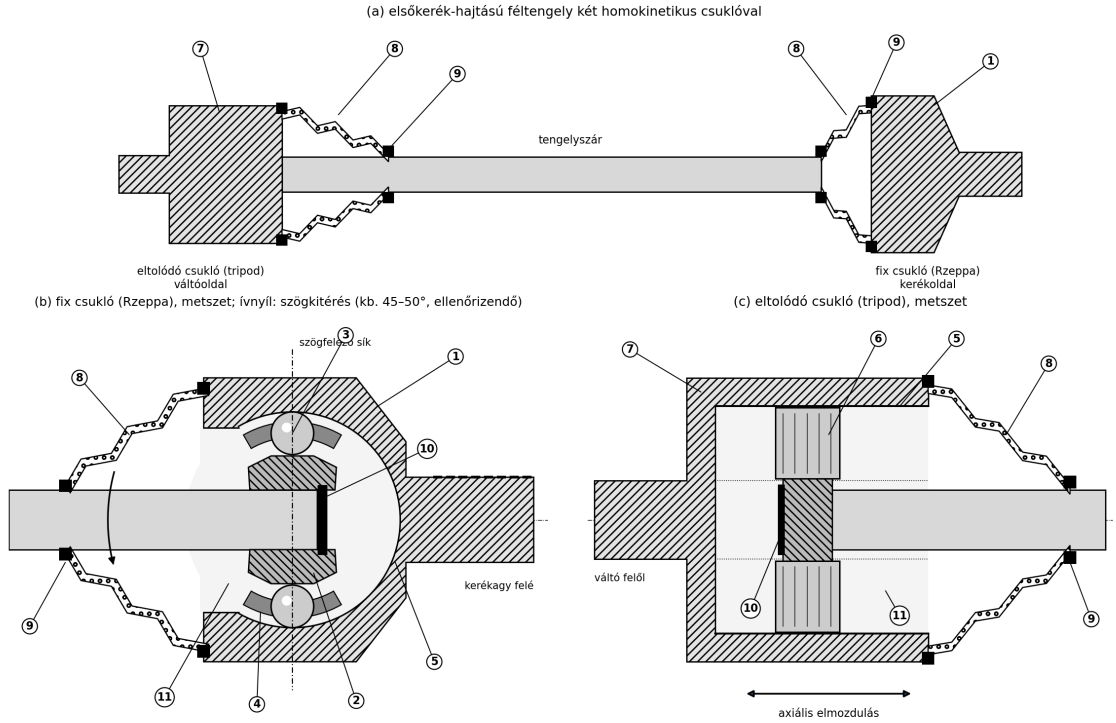
A hajtott kerekeknél a kormányzott kerekek elfordulása és a felfüggesztés rugóútja sokkal nagyobb csuklószögeket és hosszváltozásokat igényel, mint a merev híd kardántengelyénél. Itt **homokinetikus csuklókat** alkalmaznak, amelyek állandó szögsebességet adnak át. A homokinetikus csuklók két fő típusa:

- **Fix csukló (Rzeppa-csukló):** nem enged axiális elmozdulást, de nagy szögben (jellemzően 45–50°-ig, ellenőrizendő: gyártói adat) képes elfordulni. A külső csésze belső pályáján és a belső kosár pályáján acélgolyók gördülnek, amelyeket egy ketrec tart a szögfelező síkban. A golyók a két tengely szögfelező síkjában helyezkednek el, ezért a bemenő és kimenő tengely szögsebessége mindig azonos. A Rzeppa-csuklót általában a féltengely kerék felőli (külső) oldalára építik, mert ott kell a legnagyobb szögváltozás.
- **Eltolódó csukló (például háromkarú – tripod):** a kerék felfüggesztésének mozgása során a féltengely hossza is változik. A belső csuklónak fel kell vennie ezt az axiális elmozdulást, miközben továbbítja a nyomatékot. A háromkarú csuklóban egy csésze

belső pályáján három tűgörgős görgő fut a csésze három **tengelyirányú** pályáján; a görgők a pályák mentén elmozdulva veszik fel a hosszváltozást, a csapon kissé elbillenve a szögelfordulást. A szerkezet így egyidejűleg engedi a szögelfordulást és az axiális csúszást.

- **Eltolódó golyós csukló** (például egyenes vagy ferde pályás; ellenőrizendő: típusjelölés): golyós kivitel, amely néhány cm axiális elmozdulást is megenged; belső csuklóként használják.

A fix és az eltolódó csukló párosítása biztosítja, hogy az elsőkerék-hajtású autó féltengelye a kerék kormányzása és a rugóút során is folyamatosan, egyenletesen át tudja vinni a nyomatékot. A hátsó, független felfüggesztésű hajtott tengelyeknél hasonló elrendezést használnak.



1 külső csésze (harang) · 2 belső kosár (csillag) · 3 acélgolyók · 4 ketrec · 5 gördülőpályák · 6 háromkarú csillag (tripod) görgőkkel · 7 tulipán (csésze) hosszirányú pályákkal · 8 gumiharang · 9 nagy és kis bilincs · 10 rögzítőgyűrű (seeger) · 11 kenőzsír-töltet
Sematikus, nem méretarányos vonalrajz; gumiharang: karikás minta, zsír: pontozott. A golyók a két tengely szögfelező síkjában vannak, ezért a csukló homokinetikus.

23.3. ábra. Homokinetikus csuklók: féltengely fix és eltolódó csuklóval, a Rzeppa- és a tripod csukló metszete

Az ábra felső része a teljes féltengelyt mutatja: a váltó felőli végén a tripod eltolódó csukló, a kerék felőli végén a Rzeppa fix csukló ül, mindkettőt bilinccsel rögzített gumiharang védi. A Rzeppa-csukló metszetén a golyókat a ketrec a két tengely szögfelező síkjában tartja; a tripod csuklóban a háromkarú csillag görgői a tulipán hosszirányú pályáin el tudnak csúszni, így a féltengely hossza változhat. A HTML-változatban a nézetek között váltva a Rzeppa-csukló szögben is látható, rámutatásra pedig az alkatrész neve és szerepe jelenik meg.

Megjegyzés. A tankönyvi „szárazcsukló” elnevezés a kenőolajtól független, zárt zsírtöltésű (vagy kenés nélküli rugalmas, gumitárcsás) csuklókat jelöli (ellenőrizendő: a kerettanterv szóhasználata); a homokinetikus csukló zsírral töltött, gumiharanggal zárt egység. A járműves kardáncsukló tűgörgős csapágyai is zsírkenésűek, nem olajban futnak.

23.1.7. A féltengely felépítése és a gumiharang jelentősége

A féltengely általában üreges vagy tömör acélrúd, amelynek mindkét végére homokinetikus csukló, azokra pedig **gumiharang (porvédő)** szerelt. A gumiharang kettős szerepet tölt be:

- **Tartja a csukló kenőzsírját**, és megakadályozza annak kiszóródását.
- **Kizárja a szennyeződéseket** (víz, por, só), amelyek a gördülőpályák károsodását okoznák.

A gumiharang elszakadása esetén a csukló előbb-utóbb tönkremegy: a zsír kiszóródik, a golyók és a pályák melegedni, majd kopni kezdenek. Ezért az időszakos átvizsgáláskor a harangokat mindig gondosan ellenőrizni kell. A szakadt harangot azonnal cserélni kell; ha a csukló már kattog, akkor magát a csuklót vagy a teljes féltengelyt is cserélni kell.

23.1.8. Kidolgozott példák

1. példa – A kardáncsukló szögsebesség-ingadozása (számítás).
Egy hátsókerék-hajtású autó kardántengelye a váltó és a differenciálmű között $\beta = 6^\circ$ szöget zár be. A bemenő tengely fordulatszáma állandó $n_1 = 2400\,1/\text{min}$. Számítsuk ki a kimenő tengely szögsebességének maximális és minimális értékét.

Megoldás.
A bemenő szögsebesség:

$$\omega_1 = 2\pi \cdot \frac{n_1}{60} = 2\pi \cdot \frac{2400}{60} = 251{,}3\,\text{rad/s}$$

A kimenő szögsebesség ingadozik $\omega_{2,\max} = \omega_1 / \cos\beta$ és $\omega_{2,\min} = \omega_1 \cdot \cos\beta$ között.
$\cos 6^\circ \approx 0{,}9945$
Maximális:

$$\omega_{2,\max} = \frac{251{,}3}{0{,}9945} \approx 252{,}7\,\text{rad/s}$$

Minimális:

$$\omega_{2,\min} = 251{,}3 \cdot 0{,}9945 \approx 249{,}9\,\text{rad/s}$$

Tehát a kimenő tengely szögsebessége kb. 249,9 és 252,7 rad/s között ingadozik, ami kb. 0,55%-os eltérés. Ez a forgás egyenetlensége. Ha a szög nagyobb lenne, az ingadozás jelentősebbé válna, ezért a szöghibamentes elrendezéssel kiküszöbölik.

2. példa – Homokinetikus csukló esetén az áttétel.
Ugyanez a hajtáslánc homokinetikus csuklóval (például Rzeppa) szerelve, $\beta = 6^\circ$ mellett milyen szögsebességet ad át?
Megoldás.
A homokinetikus csukló definíció szerint minden pillanatban $\omega_2 = \omega_1$. Tehát a kimenő szögsebesség állandó 251,3 rad/s, nincs ingadozás. Ezért a kerék felé vezető hajtásnál alapvető a homokinetikus csukló alkalmazása.

23.1.9. Minőségellenőrzés

A kardánhajtás és a féltengelyek állapotát az alábbi ellenőrzőlista szerint vizsgáljuk:

- **Szemrevételezés:** porvédő harangok repedése, szakadása, zsírszivárgás; kardáncsukló csapágyainak korróziója, kenőanyag-folyás.
- **Játék ellenőrzése:** az autót felemelve, a féltengelyt a csuklóknál kézzel ellenőrizve a radiális és axiális játékot; ha érezhető kotyogás van, csere szükséges.
- **Ütés- és rezgésvizsgálat:** próbaúton gyorsításkor vagy terhelésváltáskor fellépő rezgés; kardántengely kiegyensúlyozatlanságára, csuklók kopására utalhat.
- **Csavarkötések:** a kardántengely karimás csavarjai, a függesztőcsapágy rögzítése; a gyártói meghúzási nyomatékot be kell tartani (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).
- **Gumibak állapota:** a függesztőcsapágy gumibakjának repedései, elöregedése.

23.1.10. Valós életbeli alkalmazás (hibakeresés)

Ügyfélpanasz: „Jobbra kanyarodva kattogó hangot hallok az első kerék felől, gyorsításnál erősödik.”
Tünet: A hang ritmikus, a kerék fordulatszámával arányos, csak kanyarban jelentkezik, egyenesben nem.
Hipotézis: A külső homokinetikus csukló kopott, esetleg a porvédő harang szakadt.
Vizsgálat:
1. A járművet biztonságosan emeljük, a kerekeket elforgatjuk.
2. Ellenőrizzük a külső csukló porvédő harangját. A harang szakadt, zsír kiszóródott, a csuklóházon zsírnyomok láthatók.
3. A kereket kanyarodási helyzetbe fordítva, a féltengelyt kézzel mozgatva enyhe játék érezhető a külső csuklónál.
4. A csukló forgatása közben kattogó hang hallható, amely a kanyarodásakor erősödik.
Ok: A szakadt harang miatt szennyeződés jutott a Rzeppa-csukló golyópályáira, a pályák kikoptak, a golyók egyenletlenül gördülnek.
Javítás: A teljes féltengely cseréje (mert a csukló már károsodott, a csak harangcsere nem elég), új anyákkal és a gyártói meghúzási nyomatékokkal.
Ellenőrzés: Szerelés után próbaút; a kattogás megszűnt, a kormány kanyarodáskor egyenletesen jár.
Megelőzés: A gumiharangok rendszeres ellenőrzése, azonnali csere szakadáskor, a gyári zsírzási és szerelési előírások betartása.

23.1.11. Gyakorlati útmutató: féltengely kiszerelése és homokinetikus csukló ellenőrzése/cseréje

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A jármű alá csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn, vagy bakra támasztva szabad bemenni. A fékeket, a kormányt és a hajtásláncot a gyártó szerint kell rögzíteni.

Cél: A féltengely kiszerelése, a homokinetikus csuklók állapotának ellenőrzése, szükség esetén a féltengely cseréje.

Jármű- és adatazonosítás: A pontos típus, motorszám, évjárat, gyártói javítási utasítás és a meghúzási nyomatékok kikeresése.

Szükséges szerszámok és mérőeszközök:
- Emelő, bakok, kerékkulcs.
- Csavarhúzók, csavarkulcsok, racsnis kulcs, nyomatékkulcs.
- Nyomatékkulcs a gyártói értékekhez.
- Kalapács, lehúzószerszám a kerékagy megbontásához.
- Zsír és új porvédő harang, ha csak a harangot cseréljük (de ha a csukló kopott, a teljes féltengelyt cseréljük).
- Egyéni védőeszköz: védőkesztyű, védőszemüveg.

Munkalépések:
1. A kerékcsavarokat és (ha a gyártó engedi) a kerékagy központi anyáját (vagy a féltengelycsavart) még a jármű talajon állásakor, behúzott rögzítőfékkel lazítsd meg (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás); a nagy nyomatékú anyát nem szabad a levegőben lévő, bakon álló járművön erővel lazítani, mert a jármű lebillenhet.
2. Vízszintes, szilárd talajon emeld meg a járművet a gyártói emelési pontokon, támaszd bakra (vagy rögzítsd mechanikusan reteszelt műhelyi emelőn), és csak ezután szereld le a kereket. Kocsiemelővel tartott jármű alá vagy mellé munkát kezdeni tilos.
3. A központi anyát most csavard ki; visszaszereléskor új anyát a gyártói nyomatékkal húzz meg (ellenőrizendő: gyártói adat).
3. A futómű alsó csatlakozásait a gyártói eljárás szerint bontjuk, hogy a kerékagy elmozdítható legyen, és a féltengely a csuklókból kiakasztható legyen.
4. A belső homokinetikus csukló karimáját a váltóház felől szereljük le, ügyelve a hajtóműolajra (ha az oldalló kifolyhat).
5. A féltengelyt óvatosan kihúzzuk a kerékagy vagy a váltó felől, ügyelve a porvédő harangokra és a tömítésekre.
6. A csuklókat szemrevételezzük: a gumiharang szakadt-e, a csukló golyópályái kopottak-e, van-e radiális vagy axiális játék.
7. Ha csak a harang sérült, de a csukló ép, a harangot cseréljük: a régi zsírt eltávolítjuk, az új harangot megtöltjük a gyártó által előírt mennyiségű és típusú zsírral, majd felhelyezzük.
8. Ha a csukló kopott vagy kattog, a teljes féltengelyt cseréljük új vagy gyárilag felújított egységre.
9. Visszaszereléskor az új rögzítőelemeket (kerékagyanya, karimacsavarok, biztosítógyűrűk) használjuk; a meghúzási nyomatékokat a gyártói előírás szerint alkalmazzuk (ellenőrizendő).
10. A hajtóműolajszintet ellenőrizzük, szükség szerint pótoljuk.
11. Próbaúton ellenőrizzük: nincs kattogás, rezgés, a kormány egyenletesen jár.
12. A munkát a munkalapon és a szervizkönyvben dokumentáljuk.

Tipikus hibák a szerelésnél:
- A porvédő harangot túl kevés zsírral szerelik, vagy nem a megfelelő típusú zsírt használják.
- A kerékagyanyát nem a gyártói nyomatékkal húzzák meg, ami csapágykárosodást vagy kilazulást okoz.
- A régi tömítéseket újra felhasználják, ami olajszivárgást eredményez.
- A féltengely beszerelésekor a harangokat megsértik, ami későbbi csuklóhibát okoz.

23.1.12. Tipikus hibák

1. **Fogalmi hiba:** A kardáncsuklót homokinetikusnak nevezik. A hagyományos kardáncsukló nem homokinetikus, szögsebesség-ingadozása van, ezért kettős csuklóval vagy homokinetikus csuklóval kell kiegyenlíteni.

2. **Szerelési hiba:** A kardántengely két villa síkját rosszul szerelik össze. Ha a villák nem azonos síkban állnak, a szöghibamentesség feltétele nem teljesül, és rezgés lép fel.

3. **Diagnosztikai hiba:** Csak a kattogó csuklót cserélik, a szakadt gumiharangot nem ellenőrzik, így a hiba visszatér.

4. **Elhanyagolás:** A függesztőcsapágy gumibakja repedezett, de nem cserélik, ami a kardántengely rossz alátámasztásához és a csuklók gyors kopásához vezet.

23.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a hagyományos kardáncsukló a bemenő és a kimenő tengely szögének függvényében állandó szögsebességet ad át? Indokolj!

2. Mi a feltétele a két kardáncsuklóval megvalósított szöghibamentes hajtásnak?

3. Melyik homokinetikus csuklótípus engedi az axiális elmozdulást?

4. Mi történik, ha a féltengely porvédő harangja elszakad?

5. Számítsd ki, hogy egy kardáncsukló esetén $\beta = 10^\circ$ szögnél a kimenő szögsebesség maximális és minimális aránya mekkora az állandó bemenethez képest. (Használj $1/\cos\beta$ és $\cos\beta$ értékeket!)

6. Mi a hiba a következő leírásban? „A Rzeppa-csukló axiálisan elcsúszik, ezért nincs szükség külön belső eltolódó csuklóra az elsőkerék-hajtású autónál.”

23.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Nevezd meg a kardáncsukló fő elemeit, és magyarázd el a szöghiba jelenségét egy mondatban!
2. feladat (A). Határozd meg a homokinetikus csukló definícióját, és sorold fel a két leggyakoribb típusát!
3. feladat (B). Egy kardántengely bemenő fordulatszáma $n_1 = 3000\,1/\text{min}$, a csukló szöge $\beta = 12^\circ$. Számítsd ki a kimenő szögsebesség maximális és minimális értékét rad/s-ban!
4. feladat (B). Rajzolj vázlatot egy elsőkerék-hajtású autó hajtott futóművének féltengelyéről: jelöld a külső fix Rzeppa-csuklót, a belső eltolódó háromkarú csuklót, a porvédő harangokat, a kerékagyat és a váltó differenciálművét! Magyarázd el, miért kell az egyik csuklónak axiálisan eltolódónak lennie!
5. feladat (C). Miért nem elegendő egyetlen kardáncsukló a hátsókerék-hajtású autó kardántengelyénél? Milyen feltételekkel lehet két kardáncsuklóval homokinetikussá tenni a hajtást?
6. feladat (D). Ügyfél panasza: „Gyorsításkor rezeg az autó, majd terhelésváltáskor dübörgés hallható hátul.” Hogyan diagnosztizálnád? Sorold fel a lehetséges okokat, és a mérési/vizsgálati lépéseket!

23.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:
1. Hamis. A kardáncsukló szögsebesség-ingadozást okoz, ha a tengelyek szöget zárnak be.

2. A bemenő és kimenő tengely párhuzamos, a közbenső tengely villái azonos síkban, a két csukló szöge egyenlő.
3. Az eltolódó (háromkarú/tripod) csukló.
4. A zsír kiszóródik, szennyeződés jut be, a csukló kopásnak indul, végül kattog, és tönkremegy.
5. $\cos 10^\circ \approx 0{,}985$, így a maximális arány $1/0{,}985 \approx 1{,}015$, a minimális 0,985. Tehát kb. $\pm 1{,}5\%$ ingadozás.
6. A Rzeppa-csukló fix, nem enged axiális elmozdulást; a belső eltolódó csuklóra szükség van.

1. feladat (A) megoldása.
A kardáncsukló fő elemei: bemenő villa, kimenő villa, keresztdarab, tűgörgős csapágyak, csapágycsészék, rögzítőgyűrűk. A szöghiba: ha a két tengely szöget zár be, a kimenő tengely szögsebessége egy fordulaton belül kétszer gyorsul és lassul.

2. feladat (A) megoldása.
A homokinetikus csukló olyan csukló, amely a tengelyek szögétől függetlenül pillanatnyilag azonos szögsebességet ad át. Típusai: fix Rzeppa-csukló és eltolódó háromkarú (tripod) csukló.

3. feladat (B) megoldása.
Bemenő szögsebesség:

$$\omega_1 = 2\pi \cdot \frac{3000}{60} = 314{,}2\,\text{rad/s}$$

$\cos 12^\circ \approx 0{,}978$
Maximális: $\omega_{2,\max} = 314{,}2/0{,}978 \approx 321{,}2\,\text{rad/s}$
Minimális: $\omega_{2,\min} = 314{,}2 \cdot 0{,}978 \approx 307{,}3\,\text{rad/s}$
Tehát a kimenő szögsebesség kb. 307–321 rad/s között ingadozik.

4. feladat (B) megoldása.
A vázlaton a féltengely bal oldalán a kerékagyhoz csatlakozó fix Rzeppa-csukló, jobb oldalán a váltóhoz csatlakozó háromkarú eltolódó csukló látható. Mindkét csuklót gumiharang fedi. A rugóút során a felfüggesztés geometriája miatt a féltengely hossza változik, ezért a belső csuklónak axiális elmozdulást is fel kell vennie. A külső fix csukló viszont a kormányzott kerék nagy elfordulását teszi lehetővé.

5. feladat (C) megoldása.
Egyetlen kardáncsukló nem homokinetikus, ezért rezgést és egyenetlen futást okozna, ha a tengelyek szöget zárnak be. Két kardáncsuklóval úgy érhető el homokinetikus hajtás, hogy: (1) a bemenő és kimenő tengely párhuzamos, (2) a közbenső tengely villái azonos síkban állnak, (3) a két csukló szöge egyenlő. Ekkor az első csukló ingadozását a második csukló ellentétes fázisban kiegyenlíti.

6. feladat (D) megoldása.
Lehetséges okok: kardántengely kiegyensúlyozatlansága, kopott kardáncsukló, függesztőcsapágy vagy annak gumibakja sérült, rosszul szerelt villa, hátsó futómű vagy féltengely-csukló hibája. Vizsgálat: emelés, a kardántengely szemrevételezése, csuklójáték ellenőrzése, a függesztőcsapágy gumibakjának ellenőrzése, próbaút a rezgés fordulatszám- vagy sebességfüggésének megállapítására, a kerék kiegyensúlyozottságának ellenőrzése. A tipikus hiba a kiegyensúlyozatlanság vagy a kopott csukló.

23.1.16. Rövid összefoglaló

A kardánhajtás a motor nyomatékát a távoli hajtott tengelyhez továbbítja csuklós tengelyeken keresztül. A hagyományos kardáncsukló (Hooke-csukló) keresztdarabbal dolgozik, de szögsebesség-

ingadozást okoz, ha a tengelyek szöget zárnak be. A szöghiba kiküszöbölésére két kardáncsuklót alkalmaznak, feltéve hogy a bemenő és kimenő tengely párhuzamos, a villák azonos síkban állnak, és a szögek egyenlők. Hosszú kardántengelynél függesztőcsapágyra van szükség. A homokinetikus csuklók (fix Rzeppa és eltolódó háromkarú) állandó szögsebességet adnak át, és a féltengelyeken a kerék kormányzása, valamint a felfüggesztés mozgása miatt használatosak. A gumiharang (porvédő) döntő fontosságú: szakadása a csukló gyors tönkremeneteléhez vezet. A jellemző hibák (kattogás, rezgés, dübörgés) a csuklók, a kopott csapágyak vagy a szakadt harangok következményei. A javításnál a gyártói nyomatékokat és az új rögzítőelemeket kötelező betartani. **Továbbvitt eredmény:** a homokinetikus csuklók típusai és működése alapvető a Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak alfejezetben tárgyalt kiegyenlítőmű és a hajtott futómű megértéséhez.

23.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások és adatbázisok (meghúzási nyomatékok, csuklótípusok, zsírmennyiség) – ellenőrizendő.
- A kardáncsukló szögsebesség-összefüggése stabil mechanikai alap.
- A homokinetikus csuklók maximális szögtartománya (pl. Rzeppa 45–50°) – ellenőrizendő: gyártói adat.
- A féltengelyek és a porvédő harangok ellenőrzése a műszaki vizsgán vagy a márkaszervizben javasolt – ellenőrizendő: hatályos előírás.

23.2. Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak

23.2.1. Motiváció

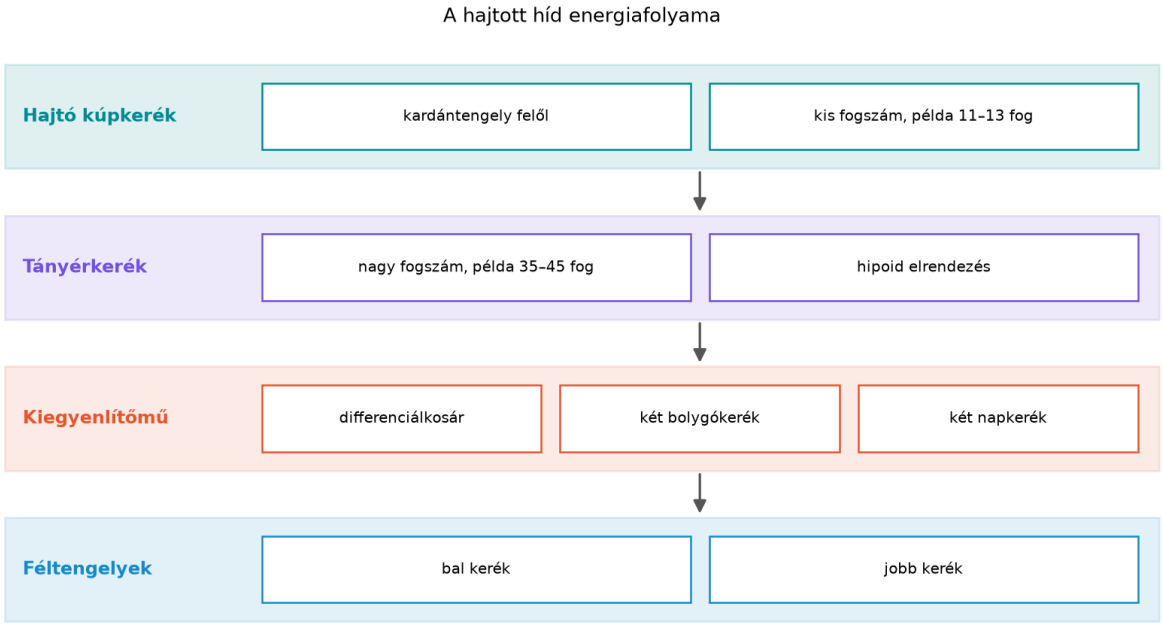
Képzeld el a műhelyt: hátsókerék-hajtású kisteherautó érkezik, mert a bal hátsó kereke havas, jeges úton kipörög, a jobb oldali pedig „nem húz”. Vagy egy elsőkerék-hajtású autó kanyarban csörgő, búgó hangot ad, és gázadásra elhúz az egyik irányba. Mindkét panasz a tengelyhajtás, illetve a kiegyenlítőmű működéséhez vezet: meg kell értenünk, miért kell a hajtott kerekek fordulatszámát egymás között megosztani, és miért nem elég a két kereket mereven összekötni.

A kiegyenlítőmű a hajtott tengely egyik leginkább félreértett szerkezete: sokan azt hiszik, hogy a nyomatékot „odaviszi, ahol nagyobb a tapadás”, pedig a hagyományos, nyitott kiegyenlítőmű éppen ellenkezőleg viselkedik. Ha ezt a fejezetet megérted, a későbbi összkerékhajtási és hajtáslánc-szerelési témák sokkal könnyebbek lesznek.

23.2.2. Szemléletes kép

Emeld fel a hajtott hidat emelőn, és nézd meg a híd középső részét, a differenciálházat. A kardántengely felől egy kis kúpkerék, a **hajtó kúpkerék** (pinion) hajtja a nagy **tányérkereket** (crown wheel; „koronakerék”), amelyet csavarokkal rögzítenek a **differenciálkosárra**. A kosárban két vagy négy kisebb **bolygókerék** (differential pinion; „pókkerék”) kapcsolódik két nagyobb **napkerékhez** (side gear), amelyek a bal és a jobb féltengelybe adják át a hajtást.

Az alábbi rétegábra ezt az energiafolyamot mutatja felülről lefelé:



23.4. ábra. A hajtott híd energiafolyama - Szemléltető vázlat; a nyomaték a hajtó kúpkerékről a tányérkerékre, majd a kiegyenlítőművön át a féltengelyekre jut. Nem méretheles.

A rétegábra azt mutatja, hogy a tengelyhajtás először lelassítja a kardántengely fordulatát és megnöveli a nyomatékot, a kiegyenlítőmű pedig ezt a nyomatékot a két féltengelyre osztja szét úgy, hogy közben a két kerék fordulatszáma kanyarban eltérő lehet.

23.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **tengelyhajtás** (final drive; „véglehajtás”) a hajtott tengely azon hajtóműve, amely a kardántengely vagy a váltó kimenő fordulatát a kerekek számára megfelelő, nagyobb nyomatékká alakítja, és – hosszirányú motor esetén – a hajtás irányát 90°-kal a féltengelyek irányába fordítja.

Definíció. A **kiegyenlítőmű** vagy **differenciálmű** (differential; műhelyi szleng: „difi”) a hajtott tengelyben lévő bolygómű-szerű elosztó, amely lehetővé teszi, hogy a bal és a jobb kerék fordulatszáma eltérő legyen, miközben a bejövő nyomatékot folyamatosan átadja.

Definíció. A **differenciálzár** a kiegyenlítőmű olyan kiegészítője, amely a két hajtott kerék fordulatszámát időlegesen közel azonossá kényszeríti, így a nyomaték nem tud „elmenekülni” a kipörgő kerék irányába.

Összefüggés. A tengelyhajtás áttétele a fogszámokból:

$$i_0 = \frac{z_{\text{tányérkerék}}}{z_{\text{hajtó kúpkerék}}}$$

A kerékfordulat:

$$n_{\text{kerék}} = \frac{n_{\text{kardán}}}{i_0}$$

A fordulatszám dimenziója itt 1/min.

A nyitott kiegyenlítőmű fordulatszám-egyensúlya, ha a belső veszteség elhanyagolható:

$$n_{\text{be}} = \frac{n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}}}{2}$$

ahol n_{be} a tányérkerék/differenciálkosár fordulatszáma. Kanyarban a külső kerék gyorsabban, a belső lassabban forog, de az összegük a kosár fordulatának kétszerese marad.

A nyomatékviszony a nyitott kiegyenlítőműnél – súrlódást elhanyagolva –:

$$M_{\text{bal}} \approx M_{\text{jobb}} \approx \frac{M_{\text{be}}}{2}$$

Ez a szerkezet lényegéből következik: a bolygókerekek csapágyazása viszonylag kis belső súrlódású, ezért a nyitott kiegyenlítőmű gyakorlatilag egyenlő nyomatékot oszt, nem pedig egyenlő teljesítményt vagy egyenlő fordulatszámot.

23.2.4. Felépítés és működés

23.2.4.1. Tengelyhajtás: kúpkerék és hipoid

A tengelyhajtás leggyakrabban **kúpkerékpár**: a hajtó kúpkerék és a tányérkerék tengelyei egy pontban metszik egymást. A **hipoid** elrendezés ehhez képest annyival több, hogy a hajtó kúpkerék tengelye a tányérkerék középsíkja alatt fut, tehát a két tengely nem metszik egymást. A „hipoid” név is erre utal: hiperboloid fogfelület.

A hipoid előnyei a klasszikus kúpkerékpárhoz képest:

- a kardántengely alacsonyabban helyezhető el, így a karosszéria padlóalagútja kisebb lehet;
- a fogazat nagyobb foghosszon és nagyobb átfedéssel kapcsolódik, ezért a hajtás csendesebb, egyenletesebb;
- a hajtó kúpkerék átmérője nagyobbra választható, ez csökkenti a fogterhelést.

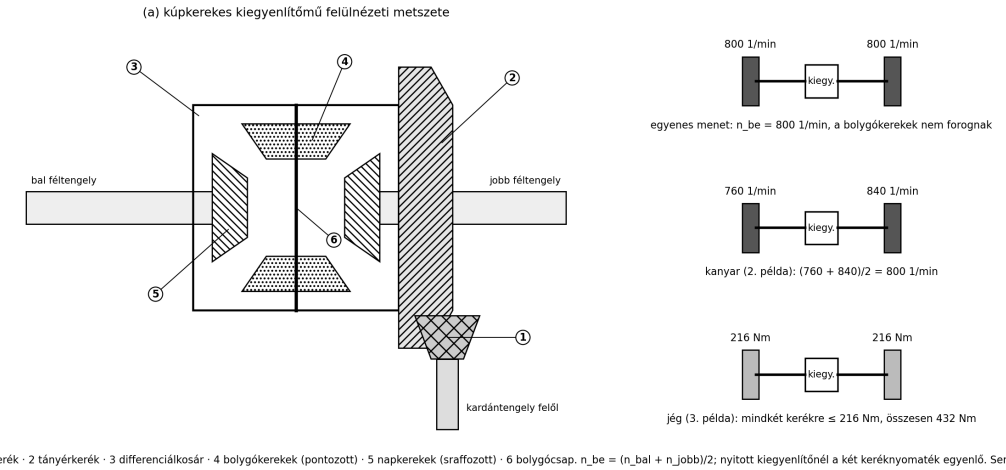
Hátránya, hogy a fogak között nagyobb csúszás lép fel, ezért a hipoid tengelyhajtáshoz **speciális hipoid hajtóműolaj** kell, amely hő- és kopásálló, nagy nyomású (EP) adalékot tartalmaz. A gyártói előírás szerint például API GL-5 minőségű, SAE 80W-90 vagy 75W-90 viszkozitású olaj használható (ellenőrizendő: a gyártói adat).

23.2.4.2. Kúpkerekes kiegyenlítőmű

A klasszikus, kúpkerekes kiegyenlítőmű a tányérkerékre csavarozott kosárban helyezkedik el. A kosárban a **bolygókerekek** a kosárhoz rögzített csapokon forognak, és két oldalról a **napkerekekhez** kapcsolódnak. A napkerekek belső bordázatába illeszkednek a féltengelyek.

Egyenes menetben a kosár forgása magával viszi a bolygókerekeket is, mert a kerekek egyenlő ellenállása miatt a bolygókerekek nem forognak a saját csapjaik körül, csak „keringenek” a kosárral. Ekkor a bal és a jobb féltengely fordulata azonos: $n_{\text{bal}} = n_{\text{jobb}} = n_{\text{be}}$.

Kanyarban a belső kerék kisebb utat tesz meg, ezért lassabban forog. A külső kerék gyorsabban forog, a kiegyenlítőmű bolygókerekei pedig saját tengelyük körül forognak, és a fordulatszám-különbséget kiegyenlítik. A villanymotoros vagy pneumatikus differenciálzár nélküli hajtás ezt teljesen automatikusan teszi.



23.5. ábra. Kúpkerekes kiegyenlítőmű felülnézeti metszete, egyenes menetben, kanyarban és jégen

Az ábra bal oldalán a hajtó kúpkerék a tányérkereket, az a kosarat forgatja; a kosár csapján ülő bolygókerekek a két napkereket és rajtuk át a féltengelyeket hajtják. A jobb oldali kis ábrák a kidolgozott példák számait mutatják: egyenes menetben mindkét kerék 800 1/min-mel forog, kanyarban 760 és 840 1/min (átlaguk a kosár 800 1/min fordulata), jégen pedig nyitott kiegyenlítőnél mindkét kerékre legfeljebb 216 Nm jut. A HTML-változatban a típus (nyitott, lemezes önzáró, zárt, Torsen), a tapadás és a nyomaték állításával követhető a keréknyomatékok alakulása.

23.2.4.3. Homlokkerekes kiegyenlítőmű

A homlokkerekes változat nem kúpkerekekből, hanem homlokkerekekből áll. A hajtás iránya itt párhuzamosan marad, ezért jellemzően olyan hajtásláncban használják, ahol kis tengelyirányú méret vagy aszimmetrikus nyomatékosztás kell – jellemzően központi kiegyenlítőként összkerékhajtásnál (lásd Összkerékhajtás), illetve egyes keresztmotoros hajtásokban (ellenőrizendő: típusadat). A kiegyenlítőmű típusa nem attól függ, hogy a tengelyhajtás 90°-kal fordít-e; ez a tengelyhajtás (kúp-/hipoid vagy homlokkerékpár) tulajdonsága. A bolygókerekek párosával kapcsolódnak egymáshoz és egy-egy napkerékhez (vagy a napkerékhez és a gyűrűskerékhez), így kiegyenlítik a fordulatszám-különbséget.

A homlokkerekes kiegyenlítőműben a bolygókerekek párosával kapcsolódnak egymáshoz, ezért az erőjáték és a beállítás kicsit eltér a kúpkerekes változattól, de a fordulatszám-összefüggés itt is $n_{\text{be}} = (n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}})/2$.

23.2.4.4. Miért nem merev tengely?

Ha a két hajtott kereket merev tengellyel kötnénk össze, kanyarban a külső kerék nagyobb utat tenne meg, a belső pedig megcsúszna. Ez gumikopást, kanyarodási nehézséget és a hajtáslánc feszülését okozná. A kiegyenlítőmű emiatt elengedhetetlen.

Ugyanakkor a nyitott kiegyenlítőműnek van egy fontos korlátja: ha az egyik kerék jégen, sárban vagy levegőben van, akkor a tapadó kerék is csak annyi nyomatékot kaphat, amennyit a **kipörgő** kerék át tud adni. A differenciálzár és az önzáró kiegyenlítőmű ezt a korlátot csökkenti.

23.2.5. Differenciálzárak és önzáró kiegyenlítőművek

A teljesen kapcsolható **differenciálzár** mechanikusan, pneumatikusan, elektromágnesesen vagy elektrohidraulikusan mereven összeköti a kosarat és az egyik napkereket, így a bal és a jobb kerék fordulatszáma gyakorlatilag azonos lesz. Terepjáróknál, munkagépeknél ez jelentősen megnöveli a vonóerőt, de aszfalton a kanyarodás közbeni feszülés miatt nem szabad bekapcsolva hagyni, mert a hajtáslánc, a gumik és a felfüggesztés is károsodhat.

A **lemezes önzáró kiegyenlítőmű** (limited slip differential, LSD) a napkerekek és a kosár közé súrlódó lemezköteget épít. A lemezköteg az egyik kerék kipörgését hagyja, de a másik kerékre nagyobb nyomatékot juttat. Ennek mérőszáma a **zárási tényező**:

$$S = \frac{M_{\mathrm{h}} - M_{\mathrm{k}}}{M_{\mathrm{h}} + M_{\mathrm{k}}}$$

ahol M_{h} a nagyobb, M_{k} a kisebb keréknyomaték. Például $S = 0{,}4$ azt jelenti, hogy a nyomatékkülönbség a teljes nyomaték 40%-a lehet, azaz a tapadó kerék lényegesen többet kaphat, mint a pörgő.

A **Torsen típusú** kiegyenlítőmű csavarkerekes, nyomatékérzékeny szerkezet. A csavarkerekek egymáson és a házon való gördülése miatt a nyomatékarány korlátozottan, de folyamatosan eltérhet. A gyártók gyakran adják meg a **torque bias ratio** (TBR) értékét, például $2{,}5 : 1$. Ez azt jelenti, hogy a jobban tapadó kerékre legfeljebb 2,5-szer akkora nyomaték juthat, mint a kevésbé tapadóra. A Torsen nem teljes zár, ezért kanyarban finomabban viselkedik, és nem igényel vezetői beavatkozást.

Az **elektronikusan szabályozott kiegyenlítőmű** a zárási nyomatékot a fékrendszer, a motorirányító és a menetstabilizáló rendszer jelei alapján szabályozza. Az elektrohidraulikus vagy elektromágneses működtető a lemezes zárást fokozatmentesen állítja, így a hajtás a kanyarban is optimálisan tud dolgozni. Fontos, hogy ez nem azonos a fékalapú kipörgésgátlóval (EDS, elektronikus differenciálzár-szimuláció), amely a pörgő kereket fékezi, és a nyitott kiegyenlítőmű nyomatékmegosztását használja ki.

A következő táblázat a fő típusokat hasonlítja össze.

Típus	Fordulatszám-megosztás	Nyomatékmegosztás	Beavatkozás	Jellemző alkalmazás
Nyitott kiegyenlítő	kanyarban eltérő	egyenlő	nincs	hétköznapi autók
Kapcsolható zár	kényszerítetten azonos	a tapadó kerékre nagyobb	vezető/kapcsoló	terepjárók, munkagépek
Lemezes önzáró	eltérő, de korlátozott	zárási tényezővel	mechanikus	sportautók, haszonjárművek
Torsen	eltérő	nyomatékarány-korlát	mechanikus	sport-, terep- és prémiumautók
Elektronikusan szabályozott	eltérő	aktív, fokozatmentes	vezérlőegység	modern AWD, sportautók

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

23.2.6. Kidolgozott példák

1. Példa – tengelyhajtási áttétel és kerékfordulat.
Egy kisteherautó tengelyhajtásában a hajtó kúpkerék 11, a tányérkerék 41 fogú. A kardántengely fordulatszáma egy adott sebességnél 2800 1/min.

Az áttétel:

$$i_0 = \frac{41}{11} = 3{,}727 \approx 3{,}73$$

A féltengelyfordulat, ha a hajtott kerék nem csúszik:

$$n_{\text{kerék}} = \frac{2800}{3{,}727} \approx 751{,}3 \text{ 1/min} \approx 751 \text{ 1/min}$$

Ellenőrzés: a 3,73-os áttétel tipikus hátsóhíd-áttétel; a 2800 1/min kardánfordulatból így a kerék jóval lassabban forog, ami összhangban van a nagyobb nyomaték irányával. ∎

2. Példa – fordulatszám-megosztás kanyarban.
Egy hátsókerék-hajtású autó hídjának bemenő fordulata $n_{\text{be}} = 800$ 1/min. A bal (belső) kerék fordulatszáma kanyarban 760 1/min.
A képletből:

$$n_{\text{jobb}} = 2n_{\text{be}} - n_{\text{bal}} = 2 \cdot 800 - 760 = 840 \text{ 1/min}$$

A külső kerék tehát 840 1/min fordulattal forog, ami éppen a kanyar ívhosszkülönbségéből adódó sebességkülönbséget mutatja. ∎

3. Példa – a nyitott kiegyenlítőmű tapadási korlátja.
Egy jármű egyik hajtott kerekének kerékterhelése $F_{\text{N}} = 4500$ N, a jég és a gumiabroncs közötti tapadási tényező $\mu = 0{,}15$, a gördülési sugár $r_{\text{d}} = 0{,}32$ m.
Az egyik kerék által átadható maximális nyomaték:

$$M_{\max} = \mu \cdot F_{\text{N}} \cdot r_{\text{d}} = 0{,}15 \cdot 4500 \cdot 0{,}32 = 216 \text{ Nm}$$

Ha a tengelyhajtásból érkező nyomaték $M_{\text{be}} = 2500$ Nm lenne, a nyitott kiegyenlítőmű miatt mindkét kerékre legfeljebb 216 Nm juthat, összesen 432 Nm. A fennmaradó nyomaték nem adódik át, a motor felpörög, a kipörgő kerék gyorsan forog. Ezért van szükség ilyen helyzetben differenciálzárra vagy önzáró kiegyenlítőműre. ∎

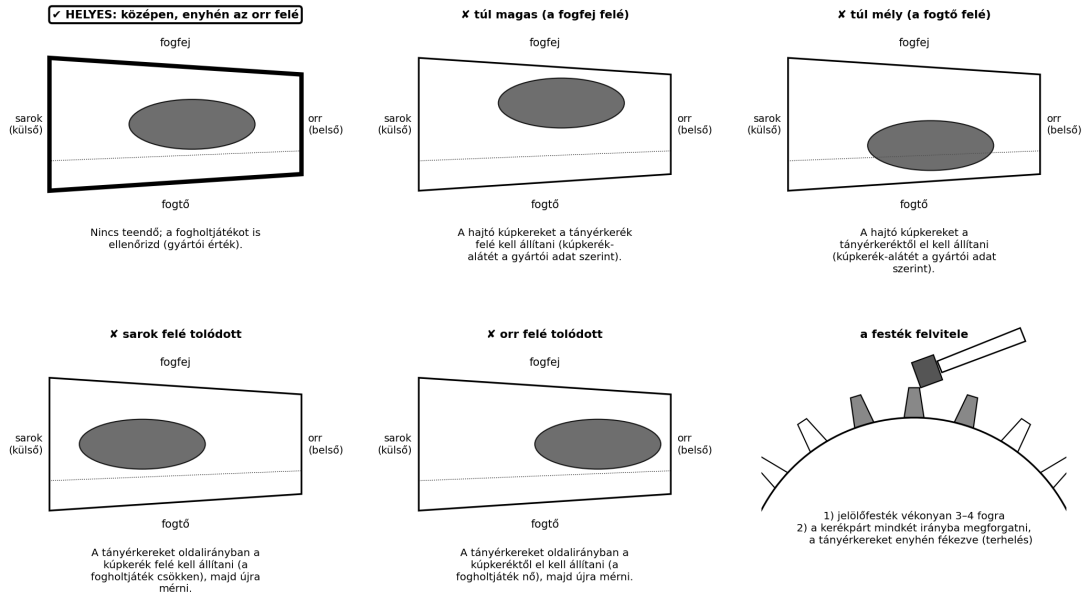
23.2.7. Minőségellenőrzés és a beállítás alapelve

A tengelyhajtás és a kiegyenlítőmű javítása precíz munkát igényel, mert a fogaskerékpár beállítása közvetlenül befolyásolja a zajt, a kopást és a hajtás élettartamát.

Biztonsági korlát. A beállítási munka csak tanműhelyben, oktató felügyeletével, a gyártói javítási utasítás szerint végezhető. A megadott hézag- és nyomatékértékek tanulási példák, mindig a gyártói adatot kell ellenőrizni. A járművet csak az előírt emelési pontokon, állványra helyezve szabad megemelni; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.

A beállítás során két fő paramétert kell ellenőrizni:

1. **Holtjáték a tányérkerék és a hajtó kúpkerék között.** A holtjátékot mérőórával, a tányérkerék fogain mérjük. A fogaskerékpár holtjátéka jellemzően néhány tized milliméter, például 0,08–0,15 mm (ellenőrizendő: gyártói adat). A túl nagy holtjáték csörgést, a túl kicsi holtjáték túlmelegedést és gyors kopást okoz.
2. **Hordkép.** A fogakra vékonyan felvitt jelölőfestékkel, a fogaskerékpárt terhelés alatt megforgatva ellenőrizzük, hol érintkeznek a fogak. A jó hordkép a fog közepén, a foghossz nagy részén, sem a fogcsúcs, sem a fogtő felé nem tolódik el. Ha a hordkép a fog valamelyik szélére esik, a hajtó kúpkerék vagy a tányérkerék helyzetét a gyártói alátétek vagy a differenciálház oldalirányú beállításával kell módosítani.



23.6. ábra. Hordkép-vizsgálat: a helyes és a hibás fogérintkezési képek a tányérkerék fogán

Az ábra a hajtó (terhelt) fogoldal nyomát mutatja: a helyes hordkép a fog közepén, enyhén az orr (belső vég) felé esik. A túl magas vagy túl mély nyomot a hajtó kúpkerék tengelyirányú helyzetével, a sarok vagy orr felé tolódott nyomot a tányérkerék oldalirányú helyzetével (ezzel a fogholtjátékkal) javítjuk; az állítás mértéke és az alátétek gyártói beállítási adatok (ellenőrizendő).

A művelet során két csapágyazást különböztetünk meg. A hajtó kúpkerék csapágy-előfeszítését gyakran összenyomódó (kollapszibilis) távtartó hüvely adja: az anyát fokozatosan húzzuk, és közben a kúpkerék átforgatási nyomatékát mérjük, amíg el nem éri a gyártói értéket (ellenőrizendő: gyártói adat); az előfeszítés helyességét nem a meghúzási nyomaték, hanem ez az átforgatási nyomaték igazolja, és a hüvely túlhúzás után nem használható újra. A kosár (tányérkerék) csapágyainak előfeszítését oldalsó alátétek vagy beállító anyák adják; a kosárnak játékmentesen, de megfelelő előfeszítéssel kell forognia.

Az összeszerelés után a hidat gyártó által előírt hipoidolajjal kell feltölteni, és a töltőcsavar nyomatékkal meghúzni. A használt olaj fémreszelék-tartalmát mindig vizsgáld meg: a sárgaréz vagy acélreszelék fogaskerék- vagy csapágykopásra utal (szinkrongyűrű a hídban nincs, az a sebességváltóban van). Önzáró (lemezes) hídba a gyártó által előírt, súrlódásmódosító (LS) adalékos olaj kell (ellenőrizendő: gyártói adat).

23.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy hátsókerék-hajtású (hipoid hidas), Torsen önzáró kiegyenlítőművel felszerelt sportautó tulajdonosa panaszkodik, hogy kanyarban gázadásra az autó „csörög”, és egyenetlenül húz. A műhelyben először a hajtott kerekeket emelik fel, és kézzel forgatják az egyik kereket: a másik kerék az ellenkező irányba forog, ami a kiegyenlítőmű normális működése. Ezután diagnosztikai műszerrel kiolvassák a hajtáslánc-vezérlő hibakódjait (a kipörgésgátló és az ESP beavatkozásai is utalhatnak a hibára); a Torsen tisztán mechanikus, ezért aktuátort nem kell keresni.

A vizsgálat során kiderül, hogy az egyik Torsen csavarkerék fogfelülete kagylósan kikopott, mert korábban téves viszkozitású hajtóműolajat töltöttek a hídba. A javítás során az olajat leeresztik, a kiegyenlítőművet kiszerelik, a kopott csavarkerekeket gyártói cserealkatrésszel pótolják, a csapágyakat és a tömítéseket kicserélik. Összeszerelés után a gyártói eljárás szerinti csapágy-előfeszítést, a holtjátékot és a hordképet ellenőrzik, majd próbaúton megerősítik, hogy a csörgés megszűnt.

A hiba tanulsága: a differenciálműhöz csak a gyártó által előírt, megfelelő specifikációjú olaj használható.

23.2.9. Tipikus hibák

Hiba 1. Azt gondolni, hogy a nyitott kiegyenlítőmű a nyomatékot a jobban tapadó kerékre irányítja.
Helyes gyakorlat: a nyitott kiegyenlítőmű egyenlő nyomatékot oszt, ezért a kipörgő kerék a tapadó kerék nyomatékát is korlátozza. A tényt a fenti 3. példa számszerűen is megmutatja.

Hiba 2. A hipoid tengelyhajtásba hagyományos, nem hipoid hajtóműolajat tölteni.
Helyes gyakorlat: a hipoid fogazat nagy csúszása miatt csak a gyártói előírás szerinti, EP-adalékos hipoidolajat szabad használni (ellenőrizendő: gyártói adat).

Hiba 3. A differenciálzárat aszfalton bekapcsolva felejteni.
Helyes gyakorlat: a zár csak rossz tapadású úton, alacsony sebességnél használható, és a gyártó szerinti sebességhatár felett ki kell kapcsolni; aszfalton a merev kényszerkapcsolat feszíti a hajtásláncot és gyors gumikopást okoz.

23.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A nyitott kiegyenlítőmű a jobban tapadó kerékre nagyobb nyomatékot juttat. Indokold.
2. Egy tengelyhajtás hajtó kúpkereke 12, tányérkereke 39 fogú. Mennyi az áttétel?
3. Ha $n_{\text{be}} = 1000$ 1/min és $n_{\text{bal}} = 950$ 1/min, mennyi a n_{jobb}?
4. Mi a különbség a lemezes önzáró és a Torsen kiegyenlítőmű között?
5. Miért nem szabad a differenciálzárt aszfalton bekapcsolva hagyni?
6. Mi a hordkép vizsgálat célja?

A válaszok a `### Megoldások` elején, „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találhatók.

23.2.11. Feladatok

1. feladat (A)
Fogalmazd meg, mi a tengelyhajtás és a kiegyenlítőmű feladata, és írd fel a fordulatszám-összefüggést!

2. feladat (A)
Egy hátsó híd hajtó kúpkerekének fogszáma 10, a tányérkeréké 39. Számítsd ki az áttételt és a kerékfordulatot, ha a kardántengely fordulata 2600 1/min! Ellenőrizd a nagyságrendet!

3. feladat (B)
Egy kanyarban a belső kerék fordulatszáma 720 1/min, a külsőé 880 1/min. Mennyi a híd bemenő fordulata? Mennyi a két kerék fordulatának százalékos eltérése a bemenőhöz képest?

4. feladat (B)
Egy lemezes önzáró kiegyenlítőmű zárási tényezője $S = 0{,}35$. A bemenő nyomaték $M_{\mathrm{be}} = 1200$ Nm. Számítsd ki a nagyobb és a kisebb keréknyomatékot!

5. feladat (C)
Miért következik be az, hogy ha egy hajtott kerék jégen áll, a másik kerék aszfalton akkor sem tud nagy nyomatékot átadni, ha a motor és a hajtáslánc elvileg erre képes lenne? Vezesd le a nyomatékmegosztásból és a tapadási korlátból!

6. feladat (D)
Egy hátsókerék-hajtású autó tulajdonosa azt panaszolja, hogy a híd gyorsításnál búg, és gázelvételre a zaj halkabb. Sorold fel a vizsgálat lépéseit, és adj meg legalább két lehetséges okot, amelyet a műhelyben ellenőrizni kell!

23.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A nyitott kiegyenlítőmű egyenlő nyomatékot oszt, így a kipörgő kerék a másik kerékre is korlátozza a nyomatékot.
2. $i_0 = 39/12 = 3{,}25$.
3. $n_{\mathrm{jobb}} = 2n_{\mathrm{be}} - n_{\mathrm{bal}} = 2 \cdot 1000 - 950 = 1050$ 1/min.
4. A lemezes önzáró súrlódó lemezköteggel, előre meghatározott zárási tényezővel dolgozik; a Torsen csavarkerekes, nyomatékérzékeny, és a nyomatékarányt korlátozza anélkül, hogy teljesen zárna.
5. Aszfalton a zár miatt a két kerék közel azonos fordulattal forog, ami kanyarban feszíti a hajtásláncot, és gyors gumikopást, hajtáslánc-károsodást okozhat.
6. A hordkép azt mutatja, hogy a fogaskerekek a fogfelület megfelelő részén, a fog közepén érintkeznek-e; segítségével a hajtó kúpkerék és a tányérkerék helyzetét, a csapágybeállítást és a helyes holtjátékot ellenőrizzük.

1. feladat megoldása
A tengelyhajtás a kardántengely nyomatékát megnöveli, fordulatát lecsökkenti, és hosszirányú motor esetén a hajtást 90°-kal a féltengelyek felé irányítja. A kiegyenlítőmű a bal és a jobb kerék fordulatszám-különbségét kiegyenlíti, miközben a bemenő nyomatékot a két féltengelyre osztja. A fordulatszám-összefüggés:

$$n_{\mathrm{be}} = \frac{n_{\mathrm{bal}} + n_{\mathrm{jobb}}}{2}$$

2. feladat megoldása
Adott: $z_{\text{hajtó}} = 10$, $z_{\text{tányér}} = 39$, $n_{\text{kardán}} = 2600$ 1/min.
Keresett: i_0, $n_{\text{kerék}}$.

$$i_0 = \frac{39}{10} = 3{,}9$$

$$n_{\text{kerék}} = \frac{2600}{3{,}9} \approx 666{,}7 \text{ 1/min}$$

Ellenőrzés: a 3,9-es áttétel tipikus, a kerékfordulat a kardánfordulat mintegy negyede, ami reális a nagy nyomatékú hátsó hídnál.

3. feladat megoldása
Adott: $n_{\text{bal}} = 720$ 1/min, $n_{\text{jobb}} = 880$ 1/min.

$$n_{\text{be}} = \frac{720 + 880}{2} = 800 \text{ 1/min}$$

A bal eltérés: $720/800 = 0{,}9$, tehát -10%; a jobb eltérés: $880/800 = 1{,}1$, tehát $+10\%$ a bemenőhöz képest. A két kerék fordulatszám-különbsége 160 1/min, ami kanyarban a belső és külső kerék eltérő ívhosszának felel meg.

4. feladat megoldása
Adott: $S = 0{,}35$, $M_{\text{be}} = 1200$ Nm.
A zárási tényező:

$$S = \frac{M_{\text{h}} - M_{\text{k}}}{M_{\text{h}} + M_{\text{k}}} = 0{,}35$$

Mivel $M_{\text{h}} + M_{\text{k}} = M_{\text{be}}$, így:

$$M_{\text{h}} - M_{\text{k}} = 0{,}35 \cdot 1200 = 420 \text{ Nm}$$

Ebből $M_{\text{h}} = 810$ Nm, $M_{\text{k}} = 390$ Nm. A jobban tapadó kerék tehát 810 Nm nyomatékot kaphat, miközben a kevésbé tapadó 390 Nm-et.

5. feladat megoldása
A nyitott kiegyenlítőmű egyenlő nyomatékot oszt: $M_{\text{bal}} = M_{\text{jobb}}$. Ha a bal kerék jégen van, az ott átadható maximális nyomatékot a tapadási tényező korlátozza:

$$M_{\text{bal,max}} = \mu \cdot F_{\text{N}} \cdot r_{\text{d}}$$

A másik kerék sem kaphat ennél nagyobb nyomatékot, mert akkor a nyomatékok nem lennének egyenlők. A motor ezért csak a jégkerék által meghatározott, kis nyomatékot tud hasznosítani; a kipörgő kerék megcsúszik, fordulata megnő, de a hajtás nem viszi át a többletnyomatékot. A differenciálzár vagy az önzáró kiegyenlítőmű éppen ezt a korlátot csökkenti.

6. feladat megoldása
A vizsgálat lépései:
- a jármű felemelése és biztos alátámasztása;
- a híd olajszintjének ellenőrzése;
- az olaj leeresztése, fémreszelék vizsgálata;

- a tengelyhajtás holtjátékának mérése mérőórával;
- a hordkép ellenőrzése;
- a kerékcsapágyak és a féltengely-csapágyak játékának ellenőrzése;
- próbaút, a zaj terhelésfüggésének megfigyelése.

Lehetséges okok: kopott hajtó kúpkerék/tányérkerék fogazat, helytelen holtjáték vagy csapágy-előfeszítés, rossz minőségű vagy elöregedett hajtóműolaj. A zajgörbe jellemzően a fogaskerékpár vagy a csapágyak állapotára utal, ezért a fenti lépésekből indulunk ki.

23.2.13. Rövid összefoglaló

A tengelyhajtás a kardántengely nyomatékát megnöveli és – hossziránytú motor esetén – a hajtás irányát a féltengelyek felé fordítja. A leggyakoribb kialakítás a kúpkerékpár, ezen belül a hipoid elrendezés, amely alacsonyabb kardánt és csendesebb járást tesz lehetővé, de speciális hipoid hajtóműolajat igényel. A kiegyenlítőmű lehetővé teszi a bal és a jobb kerék eltérő fordulatszámát kanyarban, miközben a nyitott változat a nyomatékot egyenlően osztja: $n_{\text{be}} = (n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}})/2$, $M_{\text{bal}} = M_{\text{jobb}} = M_{\text{be}}/2$. Ezért ha az egyik kerék kipörög, a másik sem kaphat nagyobb nyomatékot. A differenciálzár, a lemezes önzáró, a Torsen és az elektronikus szabályozás ezt a korlátot csökkenti. A javításnál a holtjátékot és a hordképet a gyártói adat szerint kell beállítani, a járművet emelőn, állványon, biztonságosan alátámasztva dolgozni, a kiürített hajtóműolajat pedig veszélyes hulladékként kezelni.

Továbbvitt eredmény. A kiegyenlítőmű fordulatszám- és nyomatékmegosztási törvényeit használjuk az Összkerékhajtás alfejezetben a központi differenciálmű megértéséhez, valamint a Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése alfejezetben a gyakorlati javítás során.

23.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: tengelyhajtási áttételek, hipoidolaj-specifikáció, holtjáték, hordkép, csapágy-előfeszítés, meghúzási nyomatékok (ellenőrizendő: minden konkrét érték).
- Hajtáslánc-szerkezettani szakkönyvek: a kiegyenlítőművek, differenciálzárak és önzáró típusok működési elve.
- Gépjármű-villamossági és hajtáslánc-vezérlési dokumentációk: az elektronikusan szabályozott differenciálművek beavatkozó logikája (ellenőrizendő: a konkrét rendszerleírás).

23.3. Összkerékhajtás

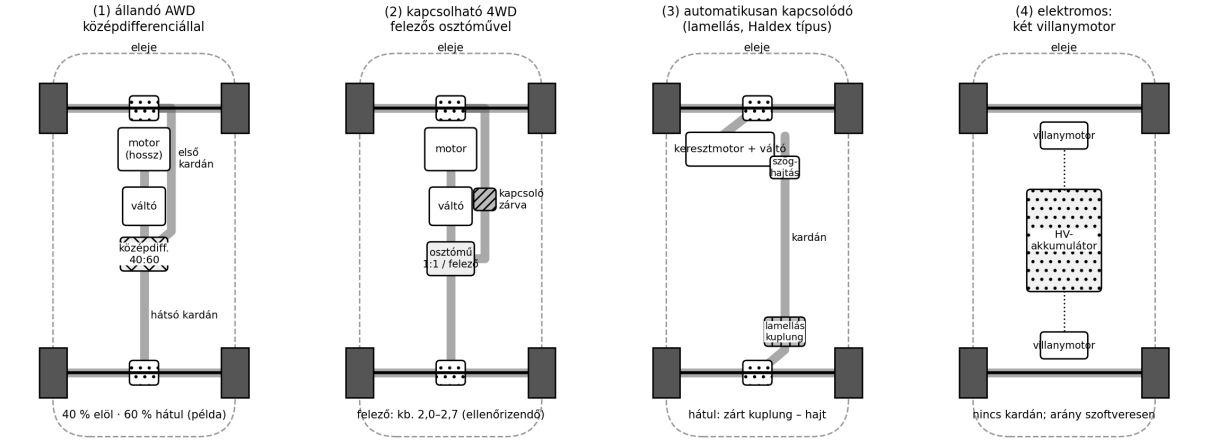
23.3.1. Motiváció

Egy műhelyben gyakori ügyfélpanasz: „az autó csak elsőkerék-hajtásként viselkedik, pedig összkerékhajtás”, vagy éppen fordítva: „hátul kopog, mintha a kardán rángatna”. Máskor terepjárón azt kell eldönteni, mikor és hogyan kapcsoljuk be a felezőt, illetve miért nem szabad száraz aszfalton állandó merev összkerékhajtással közlekedni. Az összkerékhajtás feladata, hogy a motor nyomatékát mind a két tengelyre – és lehetőleg a megfelelő arányban – eljuttassa, javítva a vonóerőt csúszós úton, terepen, vagy nagy motorteljesítmény esetén. A rosszul választott rendszer, a kopott abroncsok vagy a nem azonos gumiabroncsméret azonban hajtáslánc-csavarodást, kuplungkopást és drága meghibásodást okozhat. Ebben az alfejezetben a főbb összkerékhajtás-rendszereket hasonlítjuk össze.

23.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hosszmotoros, állandó összkerékhajtású személyautót. A váltó után egy középső kiegyenlítőmű (középdifferenciál) osztja a nyomatékot az első és a hátsó kardántengelyre. A középdifferenciál kúpkerekes, homlokkerekes bolygóműves vagy Torsen (csigakerekes) kivitelű; a hátsó tengely felé csatlakozó kardán a hátsó kiegyenlítőt hajtja, az első kardán pedig az első tengelyen lévő kiegyenlítőt. A középdifferenciál a nyomatékot rögzített arányban (például 50:50 vagy 40:60) osztja a két tengelyre, miközben az első és a hátsó kardántengely eltérő fordulattal foroghat – ez az ívmenetben elengedhetetlen.

Egy másik, kapcsolható összkerékhajtású terepjárón (az alábbi ábra 2. vázlata) a váltó mögött két egymás melletti kar van: az egyik a váltó, a másik az osztóműé (felezőváltóműé) kapcsolója. Az osztómű két állása látható: „normál” és „felező” (alacsony fokozat). A rajzon a hátsó kardán mindig hajt, az első kardánhoz pedig egy szabadonfutó vagy formzárt körmös/tányéros kapcsoló vezet. A kapcsoló bekapcsolásakor az első és hátsó tengely mereven össze van kötve. Ez a szerkezeti elvi kép segít megkülönböztetni az állandó és a kapcsolható rendszereket.



Felülnézeti vázlatok; szürke sáv: nyomatékút (zárt kapcsolóval/kuplunggal), pontozott doboz: tengelydifferenciál, xx: középdifferenciál, //// és ||: kapcsoló, lamellás kuplung. Sematikus, nem méretarányos; az arányok tanulási példák (ellenőrizendő).

23.7. ábra. Az összkerékhajtás fő elrendezései

Az ábra négy felülnézeti vázlata a nyomaték útját szürke sávval mutatja: (1) az állandó rendszerben a középdifferenciál osztja a nyomatékot (példa 40:60); (2) a kapcsolható rendszerben a hátsó tengely mindig hajt, az első kardánt a kapcsoló köti be, az osztóműű felező fokozata lassít; (3) az automatikusan kapcsolódó rendszerben a hátsó tengely előtti lamellás tengelykapcsoló zárásakor jut nyomaték hátra; (4) az elektromos rendszerben mindkét tengelyt saját villanymotor hajtja, kardán nincs. A HTML-változatban a rendszer és az arány vagy a kapcsoló állása választható; az 1. példa adataival 400 Nm-ből 160 Nm jut előre és 240 Nm hátra.

23.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Az **összkerékhajtás** (all-wheel drive, AWD / four-wheel drive, 4WD) olyan hajtásrendszer, amelynél a motor nyomatéka egyszerre – vagy igény szerint – mindkét tengelyre eljut. A magyar gyakorlatban a **4WD** kifejezést gyakran a kapcsolható, terepes rendszerekre, az **AWD** kifejezést az állandó vagy automatikusan kapcsolódó közúti rendszerekre használjuk, de a határ nem szabványos, hanem gyártói elnevezés.

Definíció. A **középső kiegyenlítőmű** (középdifferenciál, centre differential) olyan kiegyenlítőmű, amely a hajtásláncban a váltó kimenete és az első/hátsó tengelyhajtás között helyezkedik

el, és lehetővé teszi, hogy az első és a hátsó tengely eltérő fordulatszámon forogjon, például kanyarodás közben. Ezt a kiegyenlítőt gyakran differenciálzárral vagy korlátozott csúszású (Torsen, viszkó, lamellás) szerkezettel egészítik ki, hogy az egyik tengely kipörgése ne korlátozza a másik tengelyre jutó nyomatékot.

Definíció. A **felezőváltómű** (osztómű, transfer case) a hosszmotoros összkerékhajtású járművekben a váltó után beépített hajtómű, amely a nyomatékot az első és hátsó tengelyhez elosztja. A felezőváltóban gyakran terepáttétel is van, amely a jármű sebességét csökkenti és a keréknyomatékot növeli.

23.3.4. Felépítés és működés

23.3.4.1. Állandó összkerékhajtás középső kiegyenlítővel

Az állandó összkerékhajtás (permanent AWD) mindig mind a négy kereket hajtja. A leggyakoribb hosszmotoros felépítés:

1. A motor a váltóba adja a nyomatékot.
2. A váltó kimenő tengelye a középső kiegyenlítőt hajtja.
3. A középső kiegyenlítő egyik kimenete az első, a másik a hátsó kardántengelyt hajtja.
4. Az első és a hátsó tengelyen külön kiegyenlítőmű osztja tovább a nyomatékot a kerékpárokra.

A középső kiegyenlítő alapváltozatban kiegyenlíti a tengelyek közötti fordulatszám-különbséget. Kanyarban az első kerekek nagyobb íven gurulnak, tehát az első tengely átlagos fordulatszáma nagyobb, mint a hátsóé. Ha a középső kiegyenlítő nem lenne, a hajtáslánc csavarodna, a gumiabroncsok csúsznának, és a hajtáslánc elemei erősen kopnának.

Az állandó rendszereknél a nyomatékarány sokféle lehet. Például a Torsen középdifferenciál alapállapotban 50:50% arányt adhat, de az arány a tapadási viszonyoktól függően, mechanikusan módosul. Egy másik ismert megoldás a viszkózus tengelykapcsolóval ellátott középdifferenciál, amelynél a viszkókuplung a fordulatszám-különbség növekedésével lezárja a differenciált. A lamellás középdifferenciálzár pedig elektrohidraulikus vagy elektromechanikus vezérléssel fokozatmentesen állíthatja a zárási nyomatékot. A modern rendszerekben az ECU a kerékfordulat-, kormány-, gyorsulás- és nyomatékjelek alapján dönt.

Összefüggés (nyomatékmegosztás). A két tengelyre jutó nyomaték összege a középdifferenciál bemenő nyomatéka. Nyitott középdifferenciálnál az arány rögzített (például 40:60); a zárás mértékével nő az eltérés lehetősége, teljesen zárt kapcsolatnál a két tengely azonos fordulattal forog, és a nyomatékot a tengelyek tapadása osztja meg – akár a teljes nyomaték a tapadó tengelyre juthat. Az egyszerűsített alapegyenlet:

$$M_{\text{elöl}} + M_{\text{hátul}} = M_{\text{váltó kimenet}}$$

és az egyes tengelyekre jutó nyomatékot a kiegyenlítőmű zárási viszonya, valamint a kerék–út tapadás korlátozza. Ha a középdifferenciál teljesen zárt, akkor az első és hátsó tengely közel azonos fordulatszámon forog, és a tapadó tengely akár a teljes nyomaték elvileg nagyobb részét is elviszi; de ezt száraz úton nem szabad tartósan használni, mert a hajtáslánc feszül.

23.3.4.2. Kapcsolható összkerékhajtás és felező

A kapcsolható (part-time 4WD) rendszer alapállapotban rendszerint csak az egyik tengely – hagyományosan a hátsó – hajt. A vezető az osztóművel mereven összekötheti az első tengelyt. A mereven kapcsolt 4WD az első és a hátsó tengely között nem enged fordulatszám-különbséget. Ez terepen, csúszós úton jó, mert minden kerék hajt. Száraz aszfalton azonban kanyarban a tengelyek eltérő íven gurulnak, így a hajtáslánccban csavarófeszültség, abroncscsikorgás, úgynevezett „feszítő hatás" (wind-up) és kopás lép fel. Ezért a kapcsolható 4WD-t csak csúszós úton, földúton vagy terepen szabad bekapcsolni.

Szabály. A kapcsolható összkerékhajtást a gyártói útmutató szerinti sebesség és üzemállapot alatt szabad kapcsolni; száraz, tapadós úton tartósan merev összkerékhajtást használni tilos, mert hajtáslánc-törést okozhat.

A terepjáró-osztóműben gyakran két fokozat található:

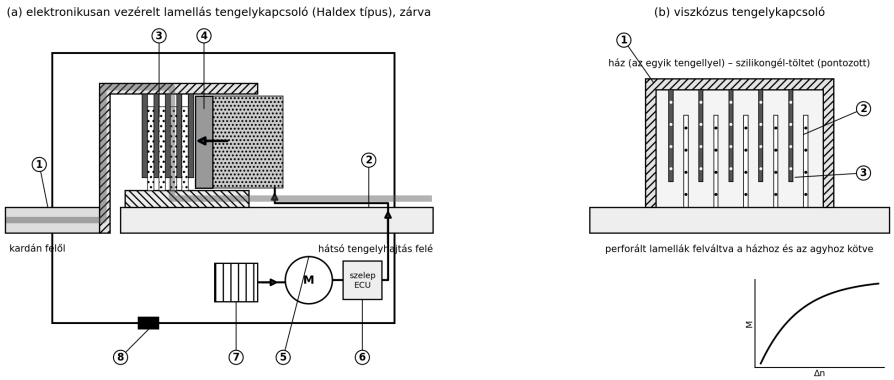
- országúti (normál) fokozat, amely közel 1:1 áttételt ad,
- felező (terep) fokozat, amely jellemzően kb. 2,0–2,7 közötti áttétellel lassítja a járművet, de a keréknyomatékot erősen megnöveli.

A kapcsolható rendszerrel szerelt terepjáró nagy emelkedőn vagy meredek lejtőn a felezővel lassan, nagy keréknyomatékkal tud haladni. A felezőt általában csak álló járműnél, üzemi féknél és kuplungnál, a gyártó utasítása szerint szabad kapcsolni.

23.3.4.3. Automatikusan kapcsolódó összkerékhajtás

Az automatikusan kapcsolódó rendszerek (automatic AWD, on-demand AWD) alapállapotban csak az egyik tengelyt hajtják, de ha a vezérlő elektronika vagy a mechanikus szerkezet megcsúszást érzékel, a másik tengelyt gyorsan bekapcsolják. A leggyakoribb kivitelek:

- **Viszkózus tengelykapcsoló:** A szilikonolajjal töltött lamellás kuplung a fordulatszám-különbség hatására az olaj nyírása miatt melegszik, és a lamellák nyomatékot visznek át. Előnye, hogy nincs vezérlőelektronika, de a reakció viszonylag lassú, és a működés erősen hőmérsékletfüggő.
- **Elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsoló (pl. Haldex típus):** Itt a hátsó tengely előtti vagy mögötti osztóműben elektronikus vezérlésű olajszivattyú és lamellacsomag van. Az ECU a kerékfordulat-, kormány-, gyorsulás- és egyéb jelek alapján milliszekundumos nagyságrendben növeli a lamellaszorító nyomatékot, amivel a hátsó tengelyre jutó nyomaték fokozatmentesen szabályozható. A rendszer beavatkozhat már megcsúszás előtt is, például erős gyorsításkor.



(a) 1 bemenő tengely (a kardán felől) · 2 kimenő tengely (a hátsó tengelyhajtás felé) · 3 belső és külső lamellák · 4 dugattyú · 5 elektromos olajszivattyú · 6 szabályozószelep / vezérlőegység · 7 olajszűrő · 8 töltő-/leeresztőcsavar
(b) 1 ház · 2 perforált lamellák · 3 szilikongél-töltet; kis görbe: a nyomaték a fordulatszám-különbséggel nő (szemléltető). Szürke sáv: nyomatékút. Sematikus, nem méretarányos.

23.8. ábra. Az elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsoló és a viszkózus tengelykapcsoló metszete

Az ábra (a) részén a kardán felőli bemenő tengely a külső lamellakosarat, a hátsó tengelyhajtás felé vezető kimenő tengely a belső agyat forgatja; az elektromos olajszivattyú a szűrőn és a szabályozószelepen át a dugattyú mögé nyomja az olajat, a dugattyú összeszorítja a lamellákat. Ezért kell a lamellás egység olajszintjét és szűrőjét a gyártói terv szerint ellenőrizni. A (b) rész a viszkózus tengelykapcsolót mutatja: a felváltva a házhoz és az agyhoz kötött perforált lamellák között szilikonolaj van, az átvitt nyomaték a fordulatszám-különbséggel nő. A HTML-változat négy lépésben játssza le a lamellás tengelykapcsoló zárását.

Példa (Haldex típusú elrendezés). Egy keresztmotoros, elsőkerék-hajtású alapkonstrukciójú jármű hátsókerék-hajtást is kap. A váltó véghajtása egy ferde fogazatú, szöghajtóműves egységgel kardánt hajt hátra. A hátsó tengely előtt vagy a hátsó differenciálmű házában elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsoló van. Alapjáratban a tengelykapcsoló nyitott; a jármű elöl hajt. Ha az ECU megcsúszást vagy erős gyorsítást észlel, az olajnyomás növelésével zárja a lamellákat, így a hátsó kerekek is kapnak nyomatékot. A zárási nyomaték csökkenthető fékezéskor, parkoláskor és nagy sebességű stabil haladáskor.

23.3.4.4. Elektromos összkerékhajtás röviden

Az elektromos és hibrid járművekben az összkerékhajtást gyakran külön villanymotorok megvalósításával érik el: az első tengelyt egy motor, a hátsó tengelyt egy másik motor hajtja; ekkor nincs mechanikus kardántengely a két tengely között. A nyomatékarány szoftveresen, nagyon pontosan szabályozható, és a regeneratív fékezés is tengelyenként megosztható. A hajtáslánc egyszerűbbnek tűnik, de a jármű tömegét, a HV-biztonságot és a hűtést a nagyfeszültségű rendszerrel együtt kell tervezni. A HV-rendszeren csak kiképzett, jogosult személy dolgozhat.

23.3.5. Kidolgozott példák

23.3.5.1. 1. példa: Nyomatékmegoszlás állandó összkerékhajtásnál

Adott: A váltó kimenő nyomatéka $M_v = 400\,\mathrm{Nm}$. Az állandó középső kiegyenlítő alap megoszlása 40% elöl, 60% hátul.

Keresett: Az egyes tengelyre jutó nyomaték.

Megoldás:

$$M_{\text{elöl}} = 0{,}40 \cdot 400 = 160\,\text{Nm},$$

$$M_{\text{hátul}} = 0{,}60 \cdot 400 = 240\,\text{Nm}.$$

Ellenőrzés: $160 + 240 = 400\,\text{Nm}$, ami megegyezik a bemenő nyomatékkal. A tényleges áttétel ezen belül a tengelyhajtásokban tovább módosul.

23.3.5.2. 2. példa: Abroncsméret-eltérés hatása a fordulatszámra

Adott: Az azonos tengelyen két gumiabroncs névleges átmérője $D_1 = 0{,}65\,\text{m}$ és $D_2 = 0{,}62\,\text{m}$ (elképzelt, kopott vagy nem megfelelő méret). A jármű haladása közben mindkét keréknek ugyanakkora úthosszat kell befutnia.

Keresett: A két kerék fordulatszám-viszonya.

Megoldás: Azonos haladási sebességnél a kerék kerületi sebessége egyenlő, ezért:

$$v = r_1\omega_1 = r_2\omega_2.$$

Így:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{0{,}62}{0{,}65} \approx 0{,}954.$$

Tehát a nagyobb átmérőjű kerék lassabban forog, mint a kisebb; a fordulatszám-különbség kb. 4,6%, ami tartósan megterheli a kiegyenlítőt és az összkerékhajtás hidraulikus vagy lamellás elemeit.

Ellenőrzés: A mértékegységek egyszerűsödnek, az eredmény egy dimenzió nélküli arány, ami reális.

23.3.6. Minőségellenőrzés

Vizsgálat	Módszer	Jellemző ellenőrzési szempont (tanulási példa)
Gumiabroncsméret és kopás	Mind a négy kerék jelölése, profilmélység, gyártói abroncsnyomás	Állandó vagy automatikus AWD-nél azonos gyártói méret és típus, a tengelyeken belül hasonló kopás (ellenőrizendő: gyártói előírás)
Folyadékszint osztóműben, differenciálokban	Szintdugó, olaj minősége, esetleg diagnosztikai adat	Gyártói olajfajta, szint, nincs víz- vagy fémpor-tartalom (ellenőrizendő: gyártói adat)
Zaj, rángatás kanyarban	Próbaut, hallgatózás	Kanyarban ne legyen durva kopogás, feszítés, rángatás; 4WD kapcsolás után ne maradjon bekapcsolva száraz úton

Vizsgálat	Módszer	Jellemző ellenőrzési szempont (tanulási példa)
Elektronikus AWD hibaüzenet	OBD/diagnosztikai műszer	Hibakód, állapotadatok: tengelykapcsoló hőmérséklete, olajnyomás, kerékfordulatok (ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai adat)

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

A fenti táblázat egyúttal összefoglalja a rendszer vizsgálatának fő lépéseit: mindig az adott jármű gyártói adatai az irányadók, a tünetek mögött pedig először a legalapvetőbb okokat – abroncsok, olajszint, hibakódok – kell kizárni.

23.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Ügyfél panasza: az AWD-jármű kanyarban „darál”, mintha a fék fogná, egyenesben viszont feszül a hajtás. A szerelő először megkérdezi: mikor volt kerékcsere, milyen méretű gumik vannak, és kapcsolható-e a terepváltó. Kiderül, hogy az egyik hátsó gumiabroncs defekt miatt eltérő méretűre lett cserélve: azonos tengelyen két különböző profilmagasságú abroncs van. A diagnosztikai műszerben a kerékfordulat-jeladók eltérő fordulatot mutatnak, és az elektronikus középdifferenciál hőfokjelzése magas. A javítás: a gyártói méretű, azonos típusú abroncs felszerelése, a rendszer tesztje és a hőfokcsökkenés ellenőrzése próbaút után. A tanulság: az AWD hajtásláncot nem a motor terheli, hanem a kerékátmérő-különbség is tönkreteheti.

23.3.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél: Automatikusan kapcsolódó összkerékhajtás (elektronikus lamellás tengelykapcsoló) olajszintjének és hibakódjainak ellenőrzése diagnosztikai műszerrel, próbautassal.

1. Jármű és adatazonosítás: kategória, típus, hajtásrendszer, gyártói modellév, osztóműazonosító.
2. Szükséges eszközök: emelő, alátámasztó bakok, diagnosztikai műszer, nyomatékkulcs, olajgyűjtő edény, EVE (kesztyű, védőszemüveg), munkalap.
3. Munkavédelem: a jármű alá csak műhelyi emelőn a gyártói emelési pontokon, mechanikusan reteszelve, vagy bakra támasztva szabad bemenni (kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos); zárt térben járó motor csak kipufogógáz-elszívással; emelőn járó motorral a hajtást ne kapcsold be (összkerékhajtásnál minden kerék hajthat), a kerekek forgatása csak a gyártó szerint, az összes kerék szabad forgása mellett történhet.
4. Ellenőrzés: olajszint/töltődugó szerelése a gyártói sorrend szerint, szivárgás, olajminőség.
5. Diagnosztika: hibakódok kiolvasása, kerékfordulatok, tengelykapcsoló-hőmérséklet, zárási nyomaték értéke.
6. Próbaut: csúszós alacsony tapadású úton vagy tanpályán, a gyártó által engedélyezett módon; nehéz gyorsítás, kanyar, majd száraz úton annak ellenőrzése, hogy a rendszer visszanyitja-e a tengelykapcsolót.
7. Dokumentálás: munkalap, próbaut eredmény, esetleges hibakódok.

Tipikus hiba: a tanuló száraz úton menet közben hosszan figyeli a gyorsulást, és a tengelykapcsolót túlmelegíti; vagy az emelőn a motort erősen hajtja, ami a szabadon futó kerék miatt téves beavatkozást okozhat.

23.3.9. Tipikus hibák

1. **Nem azonos gumiabroncsok felszerelése.** Az AWD-nél a legkisebb átmérőkülönbség is folyamatos fordulatszám-különbséget kényszerít, ami a középdifferenciált, viszkó vagy lamellás egységet túlmelegíti. Helyes gyakorlat: mindig azonos méretű, típusú és hasonló kopású abroncsok, a gyártó által megadott nyomásértékekkel.
2. **Száraz aszfalton kapcsolható 4WD használata.** A merev összekapcsolás szélfeszülést, kopogást, hajtáslánc-törést okozhat. Helyes gyakorlat: csak csúszós, laza, terepes úton kapcsoljuk be, és a gyártói sebességhatárt tartsuk be.
3. **Az összkerékhajtást úgy ellenőrzik, hogy az emelőn gázt adnak.** Ez nem reprezentálja a valós tapadási viszonyokat, és veszélyes is. Helyes gyakorlat: próbaút megfelelő körülmények között, diagnosztikai adatokkal alátámasztva.
4. **A felezőt menet közben, kuplung nélkül kapcsolják.** A hajtómű sérülhet. Helyes gyakorlat: álló jármű, kuplung és üzemi fék, a gyártói utasítás szerinti kapcsolóhelyzet.

23.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a középső kiegyenlítő az első és hátsó tengely fordulatszám-különbségét engedi? (Indoklás egy mondatban.)
2. Mi a különbség a kapcsolható 4WD és az automatikusan kapcsolódó AWD között?
3. Miért okozhat hibát az azonos tengelyen lévő eltérő gumiabroncsméret?
4. Milyen alapállapotban hajt a Haldex-rendszerű jármű, és mi zárja a lamellákat?
5. Mi a felezőváltómű feladata?

23.3.11. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A középső kiegyenlítő biztosítja, hogy az első és hátsó tengely kanyarban eltérő fordulatszámon foroghasson, így a hajtáslánc nem feszül.
2. A kapcsolható 4WD-t a vezető kapcsolja, és merev összeköttetést hoz létre; az automatikus AWD alapállapotban egyik tengelyt hajtja, és a vezérlő elektronika/fizikai jelenség a megcsúszás vagy az üzemállapot alapján fokozatmentesen kapcsolja be a másik tengelyt.
3. Mert a kisebb átmérőjű kerék gyorsabban forog, a nagyobb lassabban, ami tartós fordulatszám-különbséget, súrlódást és hőt okoz a kiegyenlítőben vagy a kapcsoló szerkezetben.
4. Alapban az első tengely hajt; az elektronikus vezérlésű olajszivattyú és lamellacsomag a kerékfordulat-, gyorsulás-, kormány- és egyéb jelek alapján nyomást épít, és zárja a lamellákat.
5. A felező (terepváltó) a nyomatékot az első és hátsó tengely között osztja el, és alacsony fokozatában lassítja a járművet, miközben a keréknyomatékot erősen megnöveli.

23.3.12. Feladatok

1. feladat (A) Nevezze meg az összkerékhajtás három fő rendszertípusát, és adja meg mindegyik jellemzőjét egy mondatban.

2. feladat (A) Egy állandó összkerékhajtású jármű középső kiegyenlítője 45% elöl, 55% hátul arányban osztja a 360 Nm nyomatékot. Számítsa ki a két tengelyre jutó nyomatékot.

3. feladat (B) Egy hajtásláncban az első és hátsó tengely áttétele azonos, az abroncsátmérő az első tengelyen 0,64 m, a hátsón 0,61 m. Hányszoros fordulatszámmal forog a hátsó kerék az elsőhöz képest azonos haladási sebességnél?

4. feladat (B) Sorolja fel a kapcsolható összkerékhajtású jármű vezetőjének teendőit a felezőváltó bekapcsolása előtt, és indokolja, miért tilos száraz aszfalton tartósan merev 4WD-t használni.

5. feladat (C) Miért előnyös az elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsoló a viszkókuplunghoz képest? Válaszában térjen ki a reakcióidőre és a szabályozhatóságra.

6. feladat (D) Egy AWD jármű kanyarban hátulról kopogó, rángató zajt ad, a diagnosztikai műszer szerint a hátsó tengelykapcsoló hőmérséklete magas, de hibakód nincs. A gumik azonos tengelyen belül eltérő méretűek. Mi a legvalószínűbb ok, és hogyan ellenőrizné?

23.3.13. A feladatok megoldásai

1. feladat megoldása. Állandó összkerékhajtás középső kiegyenlítővel; kapcsolható 4WD felezővel; automatikusan kapcsolódó AWD (viszkó vagy elektronikus lamellás tengelykapcsoló). Jellemzők: állandó rendszer mindig hajt, és kiegyenlíti a tengelyfordulatokat; kapcsolható csak külön kapcsolásra köt mereven; automatikus alapban egyik tengelyt hajt, és szükség szerint kapcsol.

2. feladat megoldása.

$$M_{\text{elöl}} = 0{,}45 \cdot 360 = 162\,\text{Nm},$$

$$M_{\text{hátul}} = 0{,}55 \cdot 360 = 198\,\text{Nm}.$$

Ellenőrzés: $162 + 198 = 360\,\text{Nm}$, megfelel. ∎

3. feladat megoldása. Azonos v sebességnél $r_1\omega_1 = r_2\omega_2$, így

$$\frac{\omega_{\text{hátul}}}{\omega_{\text{elöl}}} = \frac{r_{\text{elöl}}}{r_{\text{hátul}}} = \frac{D_{\text{elöl}}}{D_{\text{hátul}}} = \frac{0{,}64}{0{,}61} \approx 1{,}049.$$

A hátsó kerék kb. 4,9%-kal gyorsabban forog, ami tartós feszítést okoz. ∎

4. feladat megoldása. Teendők: álló jármű, kuplung kinyomva, üzemi fék behúzva, a felező kart/gyártói kapcsolót az előírt helyzetbe állítani, majd a visszajelzőt ellenőrizni. Száraz aszfalton a merev 4WD miatt az első és hátsó tengely kanyarban eltérő utat tenne meg, de a merev összeköttetés miatt ezt nem engedi, ezért a hajtáslánc csavarodik, a gumik csikorognak, kopnak, és hajtáslánc-törés is lehet. ∎

5. feladat megoldása. Az elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsoló gyorsabban, jellemzően milliszekundumos tartományban képes beavatkozni, míg a viszkókuplung a fordulatszám-különbség és a gél felmelegedése után nyomatékosít. A lamellás rendszer a vezérlő ECU jelei

alapján aktívan, megcsúszás előtt is növelheti a zárási nyomatékot, fékezéskor és stabil haladáskor pedig csökkentheti; így a járműdinamikai beavatkozásokkal (pl. ESP, ABS) jobban összehangolható. A viszkókuplung egyszerűbb és olcsóbb lehet, de a reakciója termikus, nem előrevezérelt. ∎

6. feladat megoldása. Legvalószínűbb ok: a tengelyen belüli eltérő abroncsátmérő miatt a hátsó differenciálzár vagy a tengelykapcsoló folyamatosan csúsztat. Ellenőrzés: a gyártói gumiabroncsméret-jelölések és profilmélység mérése, kerékfordulatok összehasonlítása diagnosztikai műszerrel, a tengelykapcsoló hőmérsékletének és a differenciálolaj színének/szintjének ellenőrzése. Javítás: a megfelelő méretű, azonos típusú abroncs felszerelése, a hőmérséklet-jel ellenőrzése, próbaut. ∎

23.3.14. Rövid összefoglaló

Az összkerékhajtás három fő típusa: állandó, kapcsolható és automatikusan kapcsolódó. Az állandó rendszer középső kiegyenlítővel juttat nyomatékot mindkét tengelyre, így kanyarban a tengelyek fordulatszám-különbsége kiegyenlítődik. A kapcsolható 4WD a vezető által bekapcsolt merev összeköttetést jelent, rendszerint felezőváltóval; száraz aszfalton tartós használata tilos, mert a hajtáslánc feszül és sérül. Az automatikus AWD viszkó- vagy elektronikusan vezérelt lamellás tengelykapcsolóval csak szükség esetén kapcsolja be a másik tengelyt; a modern rendszer gyors, előrevezérelt és fokozatmentes zárást biztosít. Az elektromos összkerékhajtás külön tengelymotorokkal dolgozik, szoftveres nyomatékmegosztással. Valamennyi rendszernél kulcsfontosságú az azonos abroncsméret és a hasonló kopás: az eltérő kerékátmérő tartós fordulatszám-különbséget, hőfejlődést és hajtáslánc-kopást okoz. A gyakorlatban a diagnosztikai műszer, az olajszint-ellenőrzés és a próbaut együttesen ad megbízható hibafeltárást. **Továbbvitt eredmény.** Az összkerékhajtás-típusokat a(z) Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése alfejezet használja a szerelési munkáknál.

23.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások, jármű- és hajtáslánc-szerkezettan tankönyvek, gépjármű-villamossági és diagnosztikai szakirodalom, ISO/MSZ szabványok.

Ellenőrizendő állítások: a konkrét gyártói kapcsolási sebességhatárok, az osztómű áttételi tartománya, a Haldex-rendszerű nyomaték- és nyomásértékek, a gumiabroncs-méretekre vonatkozó gyártói követelmények, valamint az összkerékhajtás-diagnosztika adatparaméterei. Az itt bemutatott értékek tanulási példák, ezért minden esetben ellenőrizendő: a gyártói javítási adat.

24 Futómű, kerekek és karosszéria

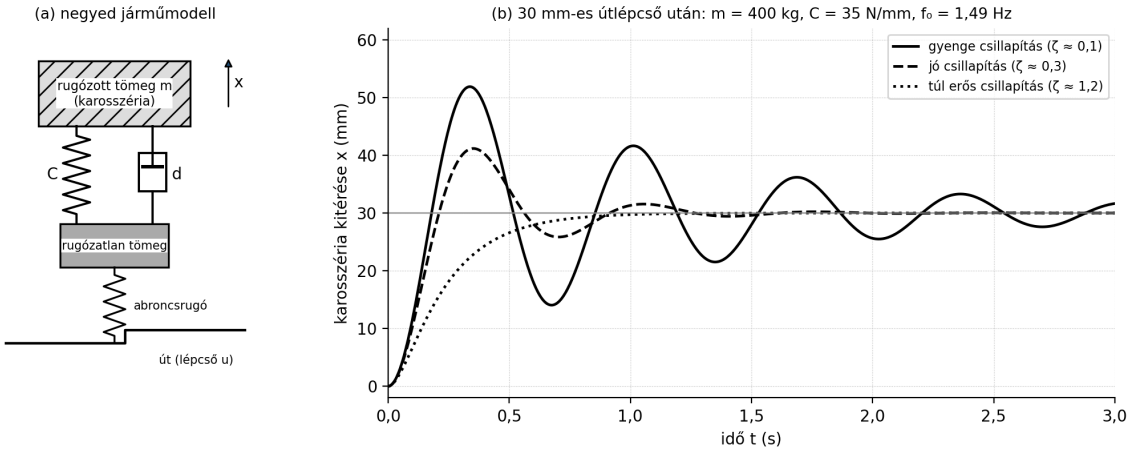
24.1. Rugózás és lengéscsillapítás

24.1.1. Motiváció

A szervizbe gyakran érkezik olyan autó, amelynél az ügyfél ezt mondja: „mintha oldalra ugrana a kátyún”, „zörög a futómű”, „hosszú úton libeg a hátsó rész”, vagy „a gumiabroncs egyenetlenül kopik”. Ilyenkor a hibát legtöbbször a futómű rugózó és csillapító elemeiben kell keresni, nem pedig azonnal a gumiabroncsban vagy a kerékcsapágyban. A rugó és a lengéscsillapító két, gyakran összekevert feladatot lát el: a rugó az ütéseket rugalmasan felveszi és a karosszéria magasságát, terhelését viseli, míg a lengéscsillapító a rugó által megindított lengéseket felemészti. Ebben az alfejezetben a rugózás és a lengéscsillapítás járműfutómű-szintű felépítését, jellemzőit, ellenőrzését és cseréjének előkészítését tanuljuk meg. Továbbvitt eredményként ezt fogjuk használni a Kerékfelfüggesztések, a Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj és a Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás alfejezetekben.

24.1.2. Szemléletes kép: a negyed járműmodell és a rugókarakterisztika

A legjobb, ha a járművet először egyetlen kerékre egyszerűsített **negyed járműmodellként** képzeljük el. Az útfelületről induló útprofil a gumiabroncsot, a keréktárcsát, a kerékagyat, a féktárcsát és a futómű bizonyos részeit mozgatja; ezt a tömeget nevezzük rugózatlan tömegnek. Erre a tömegre kapcsolódik a rugó és a vele párhuzamosan beépített lengéscsillapító, fölöttük pedig a karosszéria, az utasok, a motor és a csomag – vagyis a rugózott tömeg. A rugó összenyomódik, tehát erő–elmozdulás jelleggörbéje van; a lengéscsillapító viszont alapvetően sebességfüggő erőt fejt ki, ezért nyugalomban, állandó terhelésnél eszményi esetben nem tart erőt.

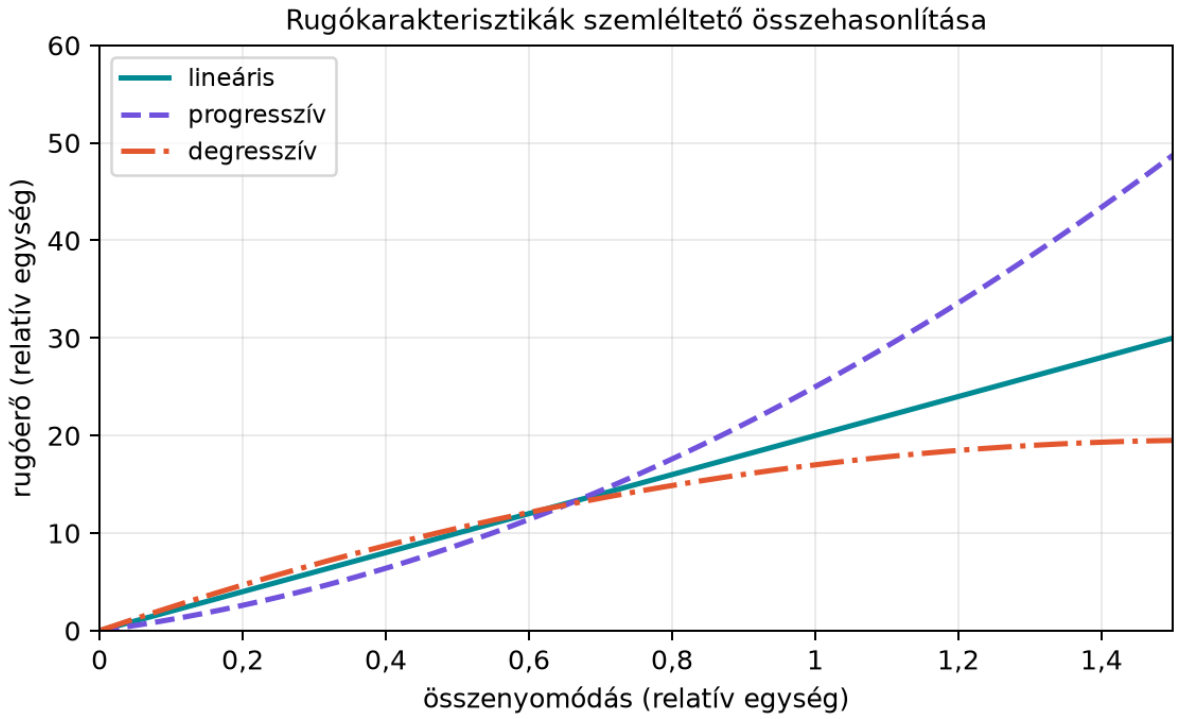


Egytömeges közelítéssel számolt, szemléltető görbék (a rugózatlan tömeg és az abroncs rugalmassága elhanyagolva); ζ = d / (2·√(C·m)). Nem mérési adat.

24.1. ábra. Negyed járműmodell és a karosszéria lecsengő lengése egy 30 mm-es útlépcső után

Az ábra bal oldalán a negyed járműmodell látható: a rugózott tömeg (m) alatt párhuzamosan a rugó (C) és a csillapító (d), alattuk a rugózatlan tömeg és az abroncsrugó. A jobb oldali görbék a fejezet példájának adataival ($m = 400$ kg, $C = 35$ N/mm, $f_0 \approx 1{,}49$ Hz) számoltak: gyenge csillapításnál a karosszéria sokáig leng, jó csillapításnál egy-két lengés után lecseng, túl erős csillapításnál lassan, rázósan követi az utat. A rugó szabja meg a lengés frekvenciáját, a csillapító a lecsengését. A HTML-változatban m, C és d állítható, és a „kopott csillapító” kapcsoló a csillapítást felére csökkenti.

Az alábbi ábra három jellegzetes rugókarakterisztikát mutat: lineáris, progresszív és degresszív jelleg összehasonlítását. A valóságban a járműrugó karakterisztikája gyártófüggő, és azt a tervező a menetkényelem, a teherbírás és a keresztstabilitás alapján választja meg.



24.2. ábra. Rugókarakterisztikák szemléltető összehasonlítása - Szemléltető, kitalált tanulási jelleggörbék; a valós rugóadatokat a gyártói katalógus vagy mérés adja.

A vízszintes tengely az összenyomódás (terheletlen helyzethez képest), a függőleges tengely a rugóerő. A lineáris rugónál az erő az elmozdulással arányosan nő. A progresszív rugó először lágy, erős terhelésnél viszont egyre keményebb; a degresszív jelleg ennek fordítottja. Személyautókban gyakran a progresszív viselkedés kedvező, mert üresen kényelmes, megterhelve pedig nem ül le a karosszéria.

24.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **rugózott tömeg** a jármű azon része, amelyet a rugók tartanak, és amely a rugalmas berendezés fölött lenghet: jellemzően a karosszéria, a motor, az utasok és a hasznos teher. A **rugózatlan tömeg** a rugó alatt elhelyezkedő, az útprofillal közvetlenül mozgó tömeg: keréktárcsa, gumiabroncs, kerékagy, fékszerkezet egy része, féltengely, futóműkarok egyes elemei. A tervezésben az a kedvező, ha a rugózott tömeg minél nagyobb a rugózatlan tömeghez képest,

mert így az útprofilból származó gerjesztés kevésbé gyorsítja a karosszériát, és az abroncs jobban tapad.

Definíció. A **rugómerevség** C az erőváltozás és az általa okozott alakváltozás-változás hányadosa:

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

Gyakori mértékegysége: N/mm vagy N/m. A járművek rugójellemzői között fontos a **statikus behajlás** is: mekkora utat süllyed a karosszéria a hasznos terhelés hatására. A személyautók első rugózásánál a rugómerevség jellemzően néhányszor 10 N/mm nagyságrendű (például 20–40 N/mm), de típusfüggő (ellenőrizendő: gyártói adat). A fordított mértékegység (mm/N) az engedékenység, nem a merevség.

Összefüggés. Ha egy m tömegű, csillapítás nélküli tömeg–rugó rendszerben a rugó merevsége C, akkor a rendszer sajátfrekvenciája:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}}$$

Definíció. A **lengéscsillapító csillapítási tényezője** d az erő és a dugattyú-sebesség hányadosa:

$$d = \frac{F}{v}$$

A csillapító erő tehát $F = d\,v$, a csillapítási tényező mértékegysége d: $\mathrm{N/(m/s)} = \mathrm{N\,s/m}$. A gyakorlati lengéscsillapítók nem lineárisak; a húzóoldali (kinyúlási) erő általában nagyobb a nyomóoldalinál: a lágyabb nyomóoldal kis erővel engedi a kereket az úthiba fölé (kényelem), a keményebb húzóoldal a rugó visszalökését, a karosszéria utólengését fékezi.

Definíció. A jármű lengésirányai: a karosszéria függőleges **emelkedő–süllyedő lengése** (heave), a hossztengely körüli **dőlés** (roll), a keresztirányú tengely körüli **bólintás** (pitch), valamint a függőleges tengely körüli **elfordulás** (yaw). A rugózás elsősorban az első három lengést befolyásolja; a kormányzás és az ívmenet során a dőlés és a bólintás a menetstabilitás szempontjából is fontos.

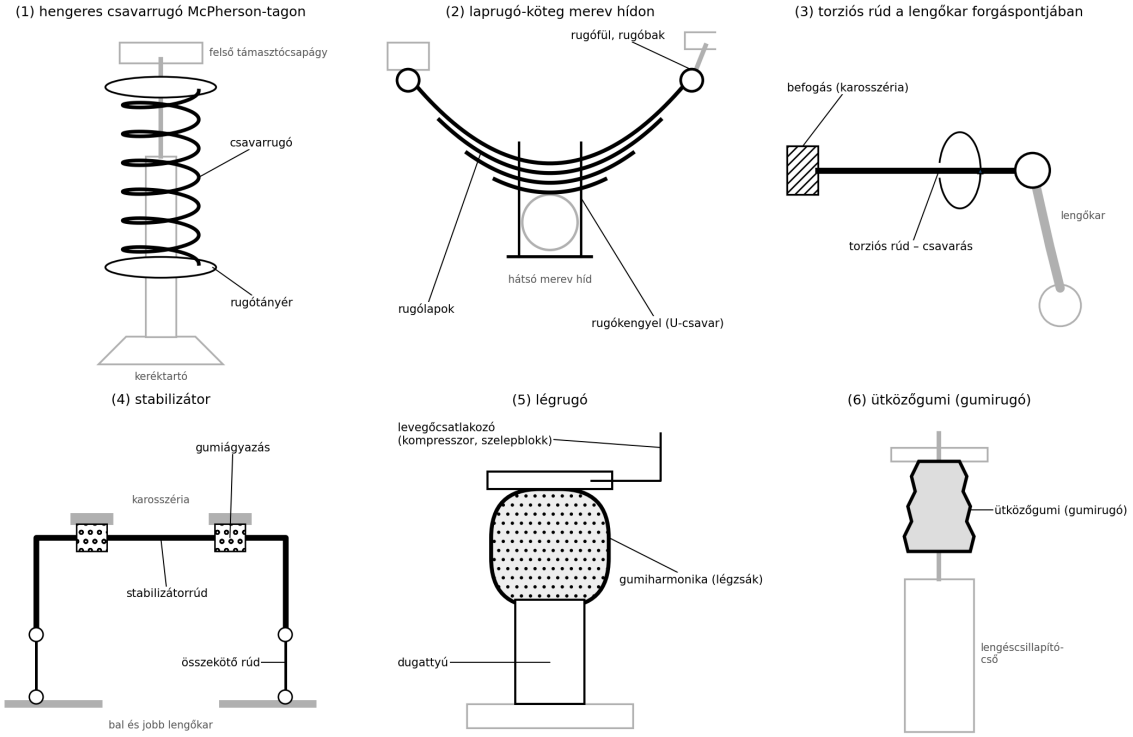
24.1.4. Felépítés és működés

24.1.4.1. Acélrugók

Acélrugók. A járművekben leggyakrabban az alábbi acélrugó-típusokkal találkozunk:

- **Hengeres csavarrugó**: edzett rugóacélból készül, függőlegesen van beépítve. Előnye a kis tömeg, a nagy elmozdulás, a rugalmas beállítás. A menetek lehetnek állandó menettávolságúak (közel lineáris), vagy változó menettávolságúak (progresszív). A McPherson típusú futóművön gyakran a csavarrugó és a lengéscsillapító egy szerkezeti egységet alkot.
- **Laprugó**: elsősorban hátsó tehergépkocsi- és haszonjármű-futóművön, régebbi személyautókon fordul elő. A hosszirányban beépített, egy vagy több rugólapból álló rugó a kerék vezetésében is részt vesz. A laprugóban a terhelés alatti hajlítás és a lemezek közötti súrlódás jellemző; a karbantartásnál figyelni kell a rugólapok eltörésére.

- **Torziós (csavaró) rugó**: egyik végét a futóműhöz, másik végét a lengőkarhoz rögzítik. Az elfordulásból származó csavarás adja a rugóerőt. Régebbi első futóműveken terjedt el, ma már ritkább.
- **Stabilizátor**: elvi értelemben nem függőleges rugó, hanem a két kerék dőléskülönbségét ellensúlyozó torziós rúd. Ívmenetben a karosszéria dőlésekor az egyik oldalon nyomja, a másikon húzza a rudat, ezért az megcsavarodik, és a dőlést csökkenti. Függőleges, egyenletes kerékbeállításnál ideális esetben nem fejt ki ellenállást.



A rugóelem vastag fekete vonallal, a környező futómű halványszürkén. Sematikus vonalrajz, nem méretarányos.

24.3. ábra. A futóművek rugóelemei beépített helyzetben

Az ábra a felsorolt rugóelemeket a beépítési helyükkel mutatja (a rugóelem vastag vonallal, a környező futómű halványszürkén): a csavarrugót a McPherson-tag rugótányérjai között, a laprugót rugófüllel, rugóbakkal és rugókengyellel a merev hídon, a torziós rudat a lengőkar forgáspontjában, a stabilizátort gumiágyazással és összekötő rudakkal, valamint a lenti szakaszban tárgyalt légrugót és ütközőgumit. A HTML-változatban rámutatásra megjelenik, mit terhel az elem, és hogyan romlik el.

A rugók anyaga edzett rugóacél, felületük gyakran lakkozott vagy bevonatos. A korrózió, a kőfelverődés és a fáradás hatására menetszakadás, laprugónál réteges törés alakulhat ki.

24.1.4.2. Gáz-, gumi- és légrugók

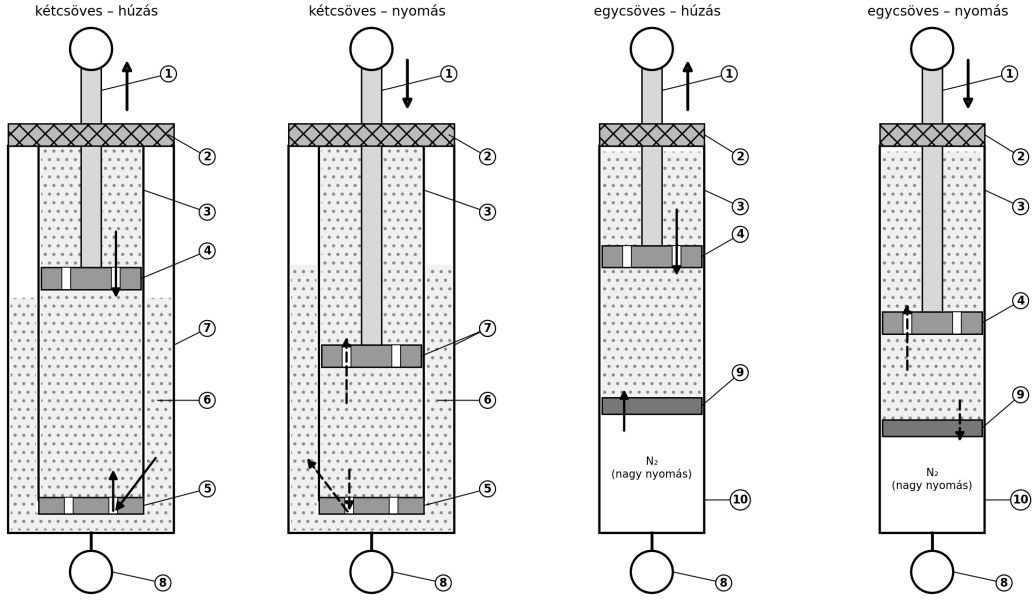
- **Gázrugó**: zárt gáztöltettel működő rugó, amely a gáz összenyomhatóságát használja. A gáznyomás növekedése progresszív jelleget ad. Gyakran a pneumatikus ajtóemelő, csomagtartófedél-emelő mechanizmusokban találkozunk vele, de futómű-rugóként inkább a légrugó része.

- **Gumirugó**: gumi vagy gumi–fém elem, amely nyomó, nyíró vagy csavaró alakváltozással tárolja az energiát. Járműveken segédrugóként, ütközőként, motorágyazatban és a futómű bekötési pontjaiban használják. A gumi belső csillapítása miatt kisebb önálló lengést gerjeszt, de öregszik és repedezik.
- **Légrugó**: rugalmas, általában textilbetétes gumiharmonikából (légzsákból) áll, amelybe sűrített levegőt juttatnak. Előnye, hogy a jármű magassága terheléstől függetlenül tartható, a rugómerevség a nyomás és a térfogat segítségével szabályozható. Tehergépkocsikon, buszokon, felsőkategóriás személyautókon elterjedt. A légrugókhoz általában kompresszor, magasságérzékelő, szelepblokk és vezérlő tartozik.
- **Hidropneumatikus rugózás**: a felfüggesztésben olaj közvetíti az erőt, a rugózást pedig a gáztér (nitrogén) biztosítja. Jellemzője a jó kényelem és a magasságszabályozhatóság. Ma elsősorban megbízhatósági és szervizigénye miatt kevésbé elterjedt; régi prémium típusokon találkozhatunk vele. A javításhoz a gyártói rendszernyomás ismerete kötelező.

24.1.4.3. Lengéscsillapítók

Lengéscsillapító feladata. A csillapító nem a terhet viszi, hanem a rugó által megindított lengést alakítja hővé. Fő alkatrészei: henger, dugattyú, dugattyúrúd, szelepek, olaj, tömítések és adott esetben gáztöltet. A dugattyú mozgásakor az olaj szelepeken áramlik át, a keletkező szűkületek és áramlási veszteségek disszipálják az energiát.

- **Kétcsöves lengéscsillapító**: belső munkacső és külső kiegyenlítő tér. Az olaj a belső hengerben dolgozik, a külső tér a dugattyúrúd miatti térfogat-különbséget fogadja. Elterjedt, olcsó, de hosszú, erőteljes terhelésnél a gázkiválás és a habosodás ronthatja a hatásosságot.
- **Egycsöves (gáztöltésű) lengéscsillapító**: a munkacsőben a dugattyú alatt nagynyomású gáz (általában nitrogén) foglal helyet. A gáznyomás csökkenti az olajhabosodást, így a csillapító hosszabb ideig megtartja jelleggörbéjét. A gáznyomás miatt a csillapító enyhe kitoló erőt is kifejt, de ez nem rugófeladat, csupán a rendszer belső nyomásából adódik.



1 dugattyúrúd · 2 rúdtömítés és vezetőpersely · 3 munkacső · 4 dugattyú szelepekkel · 5 fenékszelep · 6 kiegyenlítő tér (olaj + levegő/kis nyomású gáz) · 7 külső cső · 8 rögzítőszem · 9 elválasztó (úszó) dugattyú · 10 nagynyomású nitrogéntér
Olaj: pontozott, gáz: üres. Nyíl a rúdon: a rúd mozgása; olajút: húzásnál folytonos, nyomásnál szaggatott nyíl. Sematikus, nem méretarányos.

24.4. ábra. Kétcsöves és egycsöves lengéscsillapító metszete húzó- és nyomóütemben

Az ábrán húzáskor az olaj a dugattyú szelepein át lefelé áramlik; a kétcsövesnél a hiányzó rúdtérfogatot a fenékszelepen át a kiegyenlítő tér pótolja, az egycsövesnél az elválasztó (úszó) dugattyú mozdul el, és a gáztér veszi fel a különbséget. Nyomáskor az olaj a dugattyún át felfelé áramlik, a rúd által kiszorított olajat a kétcsövesnél a fenékszelep a kiegyenlítő térbe engedi, az egycsövesnél a nitrogén összenyomódik. A HTML-változatban a négy állapot között váltva, rámutatásra az alkatrészek neve is megjelenik. - **Jelleggörbe**: a lengéscsillapító erő–sebesség görbéje. A húzóoldali (kinyúlási) erő általában nagyobb a nyomóoldalinál: a lágyabb nyomóoldal kis erővel engedi a kereket az úthiba fölé, a keményebb húzóoldal a rugó visszalökését és a karosszéria utólengését fékezi. A pontos jelleggörbét a gyártói katalógus és a tesztpad mérése adja.

24.1.4.4. Szintszabályzós, légrugós és elektronikus csillapítás

A **szintszabályzós rendszer** a karosszéria magasságát terhelésváltozás esetén is közel állandó értéken tartja. A légrugós járműveken ezt a kompresszor és a magasságszenzorok teszik lehetővé; a nyomásszabályzással a rugómerevség is bizonyos határok között változtatható.

Az **elektronikusan állítható lengéscsillapító** a csillapítási karakterisztikát menet közben módosítja. Ennek egyik elvi megoldása, hogy a csillapító szelepeit elektromos hajtás vagy mágnesszelep fojtja, így a vezérlőegység a kényelmes, normál vagy sportos beállítás közt vált. Egy másik, ritkább megoldás a mágnesorheológiai folyadék, amely mágneses tér hatására megváltoztatja viszkozitását. Az ilyen rendszerek járműhálózaton, például CAN-buszon kapcsolódnak a vezérlőegységhez, és gyorsulás- vagy magasság-szenzorok jelét is felhasználják. Javításukhoz a gyártói diagnosztikai és kódolási eljárás kell.

24.1.5. Kidolgozott példák

Példa. Rugómerevség számítása.

Adott: egy első kerékre jutó rugózott terhelés $F = 4200\,\mathrm{N}$. A rugó statikus behajlása $f = 120\,\mathrm{mm} = 0{,}12\,\mathrm{m}$.

Keresett: a rugó C merevsége.

Számítás:

$$C = \frac{F}{f} = \frac{4200\,\mathrm{N}}{0{,}12\,\mathrm{m}}$$

$$C = 35000\,\mathrm{N/m} = 35\,\mathrm{N/mm}$$

Ellenőrzés: lássuk meg, hogy ha a terhelés megduplázódna, a behajlás is megduplázódna. Ez a lineáris rugó feltételezésénél így van. A kapott érték nagyságrendileg reális egy személyautó első rugójára. ∎

Példa. Sajátfrekvencia számítása.

Adott: egy sarokra jutó rugózott tömeg $m = 400\,\mathrm{kg}$, a rugó merevsége $C = 35\,\mathrm{N/mm} = 35000\,\mathrm{N/m}$.

Keresett: a rugózott rendszer sajátfrekvenciája.

Számítás:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{35000\,\mathrm{N/m}}{400\,\mathrm{kg}}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{87{,}5\,\mathrm{s^{-2}}} \approx \frac{9{,}35}{6{,}28} \approx 1{,}49\,\mathrm{Hz}$$

Ellenőrzés: a személyautók tipikus rugózási sajátfrekvenciája 1–2 Hz körüli. A kapott érték ebbe a tartományba esik. ∎

Példa. Lengéscsillapító erő.

Adott: egy lengéscsillapító csillapítási tényezője $d = 1500\,\mathrm{N\,s/m}$. A dugattyú sebessége $v = 0{,}5\,\mathrm{m/s}$.

Keresett: a csillapító erő F.

Számítás:

$$F = d\,v = 1500\,\frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m}} \cdot 0{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 750\,\mathrm{N}$$

Ellenőrzés: a mértékegység átváltása után valóban N-t kapunk. Ez a nagyságrend a gyorsabb kerékmozgásoknál jelentkező csillapítóerőt mutatja. ∎

24.1.6. Minőségellenőrzés

Előírás. A közúti járművek időszakos műszaki vizsgálatán a lengéscsillapítók hatásosságát lengéscsillapító-vizsgáló berendezéssel is ellenőrzik; a vizsgálati módszert és a megfelelőségi határokat a hatályos hazai vizsgaelőírás, valamint a gyártói vizsgálati adatok tartalmazzák (ellenőrizendő: 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai). Biztonsági szempontból a rugó, a lengéscsillapító, a stabilizátor és a futómű bekötési elemei csak a gyártói javítási utasítás szerint, megfelelő célszerszámokkal és előírt meghúzási nyomatékokkal szerelhetők.

A műhelyi ellenőrzés lépései:

1. **Szemrevételezés:** a rugó menetszakadása, repedése, korróziója, a rugótányér törése, a lengéscsillapító olajfolyása, a gáztöltet csökkenése, a gumibekötések elöregedése és a légrugó textilbetétjének sérülése.
2. **Kopogásvizsgálat:** a futóművet a gyártói emelési ponton megemelve, biztonságos alátámasztás mellett a gömbcsuklók, szilentek és a csillapító felső–alsó bekötése ellenőrizendő.
3. **Rugóztatás:** a karosszériát függőlegesen lenyomva majd elengedve a járműnek rövid időn belül meg kell állapodnia; ha többször „hintázik”, a csillapító gyanús.
4. **Teszpad:** a lengéscsillapító-vizsgáló a kerekek útprofil-gerjesztésére adott függőleges erő- és útjelet dolgozza fel. A készülék a kerék és a burkolat közti tapadási arányt értékeli; a gyakorlatban a tengely két oldalának nagyságrendi aránya is fontos. A pontos elfogadási határokat a vizsgálórendszer és a járműtípus adata határozza meg (ellenőrizendő: gyártói/hazai vizsgálati előírás).
5. **Dokumentálás:** a mérési jegyzőkönyvbe fel kell jegyezni a tengelyenkénti oldalarányt, a szerelés utáni próbaút eredményét és a cserélt alkatrészeket.

24.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy személyautó a műszaki vizsgára való felkészítés során kerül szervizbe. Az ügyfél panasza szerint rossz minőségű úton a hátsó rész „idegesen”, a kormányzott első rész „elkalandozik”. A szervizben először a gumiabroncsnyomást és a futómű bekötéseit ellenőrzik, majd a lengéscsillapító-teszten a bal első 74%, a jobb első 51%, a hátsó tengely jobb oldala 39% értéket mutat (ezek tanulási példák; a konkrét határérték gyártó- és vizsgálati adat). A műhelyi értékelés alapján a jobb első és a jobb hátsó lengéscsillapító erősen csökkent hatásosságú. A szemrevételezés a jobb hátsó csillapítón olajfolyást, a jobb elsőn korrodált dugattyúrudat mutat. A hiba oka a kopott dugattyúszimmering és a munkacső belső felületi kopása, ezért az olaj eltávozott, a csillapítóerő leest. A javítás során a tengelyenként páros csillapítócsere mellett a rugótányérokat és a gumibekötéseket is ellenőrzik, majd új önzáró anyákat használnak a gyártói előírás szerint (ha a gyártó előírja). A beépítés után a járművet újra vizsgálják: a tesztpad már közel egyenletes oldalarányt mutat, a próbaúton a futóműzaj és az oldalirányú bizonytalanság megszűnik. **Tanulság:** a kopott lengéscsillapító nem csak kényelmi hiba; növeli a fékutat, rontja a tapadást és a kerékterhelés-ingadozást, ezért a műszaki vizsgán is megbukhat.

24.1.8. Gyakorlati útmutató: ellenőrzés és a csere előkészítése

Cél: a futómű rugó és lengéscsillapító elemeinek járművön történő ellenőrzése, csere előtti felkészítése.

Jármű- és adatazonosítás: alvázszám, típus, futómű-változat; a gyártói javítási utasítás és a szükséges meghúzási nyomatékok kikeresése.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok: emelő vagy emelőasztal, biztonsági bakok, kerékoldás, rugóösszenyomó (ahol a gyártó előírja), nyomatékkulcs, ütvecsavarozó, kerékbeállításhoz mérőeszköz vagy előjegyzés, új rögzítőelemek, szemrevételezéshez munkalámpa, egyéni védőeszköz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A jármű alá csak mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn vagy bakra támasztva szabad bemenni; a kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni **tilos**. A feszített rugót tilos oldani vagy a rugótányért önkényesen megbontani; a McPherson típusú egységet csak a gyártó által előírt, megfelelő állapotú rugóösszenyomóval szabad megfogni.

Számozott lépések:

1. Kézi állapotfelmérés: a járművet vízszintes, biztonságosan alátámasztott helyzetben vizsgáld.
2. A kereket oldd le, a futómű elemeit tisztítsd meg, hogy az olajnyomok és a repedések láthatók legyenek.
3. Ellenőrizd a rugó bekötését, a rugótányért, a rugóvégeket és a lengéscsillapító felső–alsó rögzítését.
4. Ellenőrizd a csillapítódugattyú rúdját: korrózió, pitting, olajfolyás.
5. A vizsgálópadon mérd meg a csillapító hatásosságát; jegyezd fel a tengelyenkénti és oldalankénti értékeket.
6. Csere esetén a gyártói eljárást követve oldd a futómű bekötési pontokat, a rugót a hozzá tartozó szerszámmal biztosítsd, és emeld ki az egységet.
7. Az új lengéscsillapítót a beépítés előtt ellenőrizd: típusazonosító, szállítási sérülés, a dugattyúrúd kézi mozgatása. A gáztöltésű csillapítónak a gyártó szerint kell kiegyenlítődnie.

8. Az új rögzítőelemeket és nyomatékokat a gyártói adatok szerint használd; a gumibekötések csavarjait a gyártó által előírt helyzetben – jellemzően menetmagasságban, terhelt kerékkel (a kerék a talajon, vagy a felfüggesztés alátámasztva felemelve) – húzd meg, mert lelógó kerékkel meghúzva a szilent előfeszül és gyorsan tönkremegy (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).
9. A szerelés után ellenőrizd a kormányzási holtjátékot, a kerékbeállítást és a csillapító tesztpadi értékét.
10. Dokumentáld a munkalapon a cserélt alkatrészeket, a mért értékeket és a próbaút eredményét.

Környezetvédelem. Az olajos lengéscsillapítót és a kifolyt olajat veszélyes hulladékként kell gyűjteni (a gáztöltésű csillapítót is a hulladékszabályok szerint, nyomásmentesítés után adjuk le); a fémrugó fémhulladék. A csillapítót sose égesd el, mert a gáznyomás miatt robbanhat. A sérült hidraulikus vagy légrugó rendszert a gyártói nyomásmentesítés után, olajfelfogó edénnyel szereld.

24.1.9. Tipikus hibák

1. **A rugó és a lengéscsillapító felcserélése.** Gyakori hallgatói hiba azt mondani, hogy a lengéscsillapító tartja a karosszériát. A lengéscsillapító normál üzemben a lengést disszipálja; ha a rugó eltörik, a jármű alacsonyan ül, a csillapító nem pótolja.
2. **Csak az egyik oldalt cserélik.** Fék- és futóműjavításnál a csillapítót tengelyenként párosan illik cserélni, mert a jobb és bal oldal eltérő karakterisztikája bizonytalan viselkedést okozhat. Ugyanez vonatkozik a rugótörésre is: a rugót tengelyenként párban cseréljük.
3. **A tesztpad értékét kizárólag százalékban értelmezik.** Az önmagában vett százalék csak a vizsgálórendszer kiértékelésének egyik jele; a kézi ellenőrzést, az olajfolyást, a kopogást és a futómű geometriáját is ellenőrizni kell.
4. **Rugóösszenyomó nélkül oldanak feszített egységet.** A McPherson egység felső anyájának meglazítása előtt a rugót a gyártó által jóváhagyott szerszámmal kell megfogni; ellenkező esetben a rugó lövedékként csapódhat ki.

24.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A lengéscsillapító a jármű terhelését viseli. Röviden indokold.
2. A rugómerevség $C = 25\,\mathrm{N/mm}$. Mekkora erő hat a rugóra, ha 30 mm-t nyomódik össze?
3. Melyik jelleggörbe a progresszív: $F = 20x$, $F = 10x + 5x^2$ vagy $F = 25x - 8x^2$?
4. Mi a különbség az egycsöves és a kétcsöves lengéscsillapító között?
5. Miért veszélyes a feszített McPherson-rugó felső anyájának meglazítása rugóösszenyomó nélkül?

24.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg a rugó és a lengéscsillapító eltérő feladatát.

2. feladat (A). Számítsd ki a rugómerevséget, ha $F = 4500\,\mathrm{N}$ erő hatására a rugó 90 mm-t nyomódik össze.

3. feladat (B). Egy kerékre jutó rugózott tömeg 360 kg, a rugómerevség $32\,\mathrm{N/mm}$. Számítsd ki a sajátfrekvenciát.

4. feladat (B). Lengéscsillapító csillapítási tényezője $d = 1200\,\mathrm{N\,s/m}$. Mekkora erőt fejt ki $v = 0{,}4\,\mathrm{m/s}$ dugattyúsebességnél? Miért nem ad ez teljes képet a gyakorlatban?

5. feladat (C). Magyarázd el, miért kedvező a futóműben, ha a rugózott tömeg nagy a rugózatlan tömeghez képest, és miért alkalmaznak progresszív rugókarakterisztikát a csomagtartós személyautóknál.

6. feladat (D). A lengéscsillapító-teszten a bal első 72%, a jobb első 46%, a bal hátsó 61%, a jobb hátsó 44% értéket mutat. A szemrevételezés a jobb első csillapítón olajnyomokat mutat. A műszaki vizsgán a jármű „lengéscsillapító hatásosság gyenge” bejegyzést kaphat. Milyen további vizsgálatot és javítást javasolsz? Indokold a tengelyenkénti csere fontosságát.

24.1.12. Megoldások

24.1.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A lengéscsillapító a lengéseket disszipálja, a terhet a rugó viseli.
2. $F = C\,f = 25\,\mathrm{N/mm} \cdot 30\,\mathrm{mm} = 750\,\mathrm{N}$.
3. A progresszív jelleggörbe $F = 10x + 5x^2$, mert az erő az elmozdulás növekedésével egyre meredekebben nő.
4. Az egycsöves csillapítóban a munkacsőben nagynyomású gáz van, a kétcsövesben külön kiegyenlítő tér. Az egycsöves kevésbé habosodik, a kétcsöves általában egyszerűbb és olcsóbb.
5. A rugó nagy energiát tárol; a felső anya meglazításakor a rugó hirtelen kitágulhat, és a szerelőt eltalálhatja.

24.1.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A). A rugó az ütéseket rugalmasan felveszi, a karosszéria terhelését hordozza, és visszaadja a tárolt energiát. A lengéscsillapító a rugóval együtt rezgő rendszer energiáját hővé alakítja, így a lengés hamar lecseng.

2. feladat (A).

$$C = \frac{F}{f} = \frac{4500\,\mathrm{N}}{90\,\mathrm{mm}} = 50\,\mathrm{N/mm}$$

A rugómerevség $50\,\mathrm{N/mm}$. ∎

3. feladat (B).

$$C = 32\,\mathrm{N/mm} = 32000\,\mathrm{N/m}, \quad m = 360\,\mathrm{kg}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{32000}{360}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{88{,}9\,\mathrm{s^{-2}}} \approx 1{,}50\,\mathrm{Hz}$$

A sajátfrekvencia körülbelül $1{,}5\,\mathrm{Hz}$. ∎

4. feladat (B).

$$F = d\,v = 1200 \cdot 0{,}4 = 480\,\mathrm{N}$$

A gyakorlatban a csillapító erősebesség-jelleggörbéje nem lineáris, és húzó/nyomó irányban eltér, ezért az egyetlen d érték csak közelítés. ∎

5. feladat (C). A nagyobb rugózott tömeg azt jelenti, hogy az útfelületről jövő erőhatás a kisebb rugózatlan tömegnek nagyobb gyorsulást ad, mint a nagyobb rugózott tömegnek. A kisebb rugózatlan tömeg így az abroncsot hamarabb, kisebb kerékterhelés-ingadozással tartja az úton, ami javítja a tapadást. A progresszív rugó üresen lágyabb, ezért kényelmes; megterhelve pedig meredekebbé válik, ezért a karosszéria nem ül le, és a rugóvégütközés elkerülhető. ∎

6. feladat (D). A legnagyobb eltérés a jobb oldalon látható, ezért a jobb elsőt és a jobb hátulsó csillapítót gyanúba kell venni. A jobb elsőn lévő olajfolyás a csillapító tömítetlenségére utal. Javasolt további lépések: szemrevételezés, rugóztatás, a futómű bekötéseinek ellenőrzése, majd a tengelyenkénti csillapítócsere. A tengelyenkénti cserét az indokolja, hogy a bal és jobb oldali eltérő csillapítás aszimmetrikus lengés- és fékerő-megoszlást okoz, ami rontja a menetstabilitást és a fékutat. A csere után a tesztpadi érték ellenőrzése és próbaút szükséges. ∎

24.1.13. Rövid összefoglaló

A rugó és a lengéscsillapító kiegészíti egymást: a rugó rugalmasan tárolja az ütési energiát és viseli a karosszéria terhelését, a lengéscsillapító pedig a kialakult lengéseket disszipálja. A rugómerevség $C = \Delta F/\Delta f$; a csillapítási tényező $d = F/v$. A rugó–tömeg rendszer sajátfrekvenciája $f_0 = 1/(2\pi)\sqrt{C/m}$. A személyautókon a csavarrugó, a haszonjárműveken a laprugó és a légrugó jellemző; a stabilizátor a dőlés ellen csavaró rúdként dolgozik. A lengéscsillapító egy- vagy kétcsöves kivitelű, a gáztöltésű egycsöves kivitel jobban tűri a tartós igénybevételt. A kopott csillapító jele a futóműzaj, a hintázó karosszéria, az egyenetlen abroncskopás és a tesztpadi gyenge oldalarány. A cserénél mindig a gyártói javítási utasítás, a megfelelő rugóösszenyomó és az új rögzítőelemek használata a biztonság alapja. **Továbbvitt eredmény.** A rugó- és csillapító-jellemzők, az ellenőrzési tünetek és a tesztpadi kiértékelés ismeretét felhasználjuk a Kerékfelfüggesztések, a Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj és a Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás alfejezetekben.

24.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a rugómerevségre, a lengéstani összefüggésekre és a lengéscsillapító működési elvére vonatkozó mechanikai alapokra épít. Az alábbi pontok ellenőrzést igényelnek a kiadás előtt:

- A hazai hatósági műszaki vizsgálat lengéscsillapító-vizsgálati módszere és megfelelőségi határai (ellenőrizendő: 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai, a vizsgálóberendezés gyártói/hazai előírásai).
- A gyártói javítási utasításban szereplő meghúzási nyomatékok, a rugóösszenyomó szerszámok típusa és a tengelyenkénti csere előírása (ellenőrizendő: jármű- és futóműgyártói adatok).
- A légrugós és elektronikus csillapítású rendszerek diagnosztikai és kódolási eljárásai (ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai útmutató és járműhálózati dokumentáció).
- A hidropneumatikus és gáztöltésű csillapítók nyomásviszonyai, a biztonságos nyomásmentesítés lépései (ellenőrizendő: gyártói munkautasítás).

24.2. Kerékfelfüggesztések

24.2.1. Motiváció

Egy zajos futóművel érkező autónál az ügyfél azt mondja: „kanyarban kopog valami elöl, és tompa puffogást hallok rossz úton.” A szerelőnek először nem alkatrészt kell cserélnie, hanem meg kell értenie, milyen felfüggesztés épült az adott járműbe. Egy McPherson futómű gömbcsuklója egészen más okból kopog, mint egy kettős keresztlengőkaros rendszer felső csuklója vagy egy merevtengelyes hátsó híd szilentje. Ha valaki csak „futóműalkatrészt” próbál cserélni a rendszer ismerete nélkül, gyakran rossz elemet gyanúsít, vagy elvégzi a cserét, de a hibát nem szünteti meg. Ez az alfejezet ezért a kerékfelfüggesztések felépítését, mozgását és kopási pontjait tanítja, mert a biztonságos futómű-javítás ezen áll vagy bukik.

24.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy első kerekes autót elölről: ha emelőn az egyik első kereket fel-le mozgatod, független felfüggesztésnél a másik kerék nem mozdul. A futómű legfontosabb feladata az, hogy a kereket irányíthatóan, megengedett pályán mozgassa a karosszériához képest, közben felvegye a függőleges erőket, a fékezési/gyorsítási hosszirányú erőket és a kanyarodás oldalerőit. A rajz–jármű–mérés hármas itt azt jelenti: egy robbantott futóműrajzon látod a lengőkarokat, csuklókat, rugót, lengéscsillapítót és a kerékagyat; a járművön az alkatrészeket tapintva, emelőn mozgatva ellenőrzöd a holtjátékot; méréssel pedig a kerékdőlést, utánfutást és csapviszonyokat határozod meg, amit a Futóműbemérés és a Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők alfejezet tárgyal.

24.2.3. Definíciók és csoportosítás

Definíció. A **kerékfelfüggesztés** (wheel suspension) a jármű felépítménye és a kerék közötti vezetőelemek összessége, amely a kereket a karosszériához képest meghatározott kinematikai pályán mozgatja, és a kerékre ható erőket a rugózáson, lengéscsillapításon és a vezetőelemeken át a felépítményre adja.

Definíció. Merevtengelyes felfüggesztésről (rigid axle suspension) beszélünk, ha a két kerék egy merev testen, a tengelytesten (híd) osztozik; az egyik kerék mozgása közvetlenül elmozdítja a másikat.

Definíció. Független kerékfelfüggesztésnél (independent suspension) minden kerék saját vezetőelemén mozog; az egyik kerék be- és kirugózása elvileg nem kényszeríti ki a másik kerék azonos elmozdulását.

A felfüggesztés vezetőelemei jellemzően lengőkarok, csapok, csuklók, hossztartó rudak, Panhard-rudak vagy Watt-mechanizmus, valamint a rugó- és lengéscsillapító elemek. A rugózás és lengéscsillapítás alapfogalmait az előző alfejezet, Rugózás és lengéscsillapítás vezette be; itt a geometriai vezetésre koncentrálunk.

24.2.4. Merevtengelyes felfüggesztések

24.2.4.1. Hajtott merevtengely

Személygépkocsin ma már elsősorban hátsókerék-hajtású, régi vagy teherbíró felépítésű járműveken (kisteherautó, terepjáró hátsó híd) találkozol hajtott merev hátsó tengellyel. A hajtott hátsó híd egy központi hídtestből áll, benne a kiegyenlítőmű és a féltengelyek, kétoldalt a kerékvégeken jellemzően félig tehermentesített (semi-floating) féltengely-csapágyazás. A híd a felépítményhez általában **hosszlengőkaros** vagy **panhard-rudas tekercsrugós**, illetve laprugós kialakítással kapcsolódik. A laprugó egyszerre vezető- és rugóelem: a híd elé-hátra és oldalirányban is megtámasztja a tengelytestet, emiatt haszonjárműveken kedvelt. A tekercsrugós hajtott hídnál jellemzően két hosszanti vezetőkar vagy egy háromszög alakú (A-karos) felfogatás viszi a hossz- és féknyomatékot, oldalra pedig Panhard-rúd vagy Watt-mechanizmus vezeti a hidat.

Jellemző hibák. Hajtott merevtengelyen a leggyakoribb kopási hangforrás a híd–kar csatlakozó szilentek felkeményedése, elhasadása, a Panhard-rúd szilentje, a kardáncsukló vagy a féltengely-csukló kopogása, a kerékcsapágy zúgása és a differenciálmű behallatszó zaja. A híd tömegéből adódóan a rossz úton vertikális rázás is nagyobb, ezért a lengéscsillapító állapota fokozottan számít.

24.2.4.2. Nem hajtott merevtengely

Olcsóbb kisautók, régi modellek hátsó futóműve sokszor nem hajtott merev tengelytestet kapott. Itt a tengelytest üreges, könnyű, nem tartalmaz féltengelyeket. A kerékagy csavaros vagy csapos csatlakozással rögzül a tengelycsonkhoz. A vezetés tipikusan hosszlengőkaros, Panhard-rudas vagy Watt-mechanizmusos, rugózásként tekercsrugóval vagy laprugóval. Mivel a tengelyen nincs hajtás, a kerékcsapágyak egyszerűbb, jellemzően kétsoros golyóscsapágyak, vagy kúpgörgős, állítható csapágyazások.

24.2.4.3. Csatolt lengőkaros hátsó tengely

Definíció. A **csatolt lengőkaros tengely** (torsion beam / twist-beam axle) egy keresztirányú, elcsavarodásra képes keresztgerendából és két hosszanti lengőkarból álló hátsó tengely, amelyben a két kerék nem teljesen független: az egyik kerék berugózása a keresztgerenda csavaró rugalmassága révén kismértékben a másik kereket is elmozdítja, de merev tengelyként nem viselkedik.

Ez a konstrukció elsőkerék-meghajtású, nem hajtott hátsó tengelyeken rendkívül elterjedt, mert egyszerű, olcsó, kis helyigényű, és elfogadható kinematikát ad. A két hosszlengőkar elöl csendes szilenttömbben támaszkodik, hátul a karhoz csatlakozik a kerékagy, a rugó és a lengéscsillapító. A keresztgerenda csavaró merevsége helyettesíti a stabilizátort, vagy éppen stabilizátorral is kiegészíthető. A hosszlengőkar-szilentek elhelyezése és keménysége határozza meg, hogy fékezéskor és kanyarban a kerék hogyan mozog.

Jellemző hibák. A csatolt lengőkaros tengely tipikus hibája a beégő, elhasadt hosszlengőkar-szilent, a kerékcsapágy zúgás, a rugótányér korróziója, valamint a keresztgerenda kifáradásából vagy baleseti sérüléséből származó repedés. Utóbbit repedésvizsgálattal, nem csak szemrevételezéssel kell ellenőrizni baleseti sérülés után.

24.2.5. Független kerékfelfüggesztések

24.2.5.1. Keresztlengőkaros felfüggesztés

A keresztlengőkaros rendszerben a kerék a jármű hossztengelyére merőleges, keresztirányban álló lengőkarokon mozog. Két alaptípusa van:

- **Kettős keresztlengőkaros (double wishbone)**: a kerékagy felső és alsó háromszögkarral (A-kar) vezetett; a felső és alsó kar eltérő hossza és dőlése befolyásolja a kerékdőlés-változást.
- **Egy keresztlengőkaros, McPherson**: az alsó háromszögkar megtartja a feladatát, de a felső kart teleszkópos rugóstag helyettesíti, amely elöl vagy felül a karosszériához mereven vagy rugalmasan rögzül.

A kettős keresztlengőkaros felfüggesztésnél a felső és alsó kar belső vége szilenteken vagy perselyeken fordul, külső vége gömbcsuklóval kapcsolódik a keréktartóhoz. A rugó többnyire az alsó karon vagy a felső karon ül, a lengéscsillapító külön elem lehet. Előnye a pontos kerékmozgás, a nagyobb kerékdőlés-szabadság, ezért sportos, prémium és nagyobb járműveken gyakori. Hátránya a több alkatrész és a nagyobb helyigény.

A **McPherson futómű** (MacPherson strut) lényege: a lengéscsillapító és a tekercsrugó egy egységet alkot, a rugóstag alsó vége a keréktartóhoz csatlakozik, a felső vége a rugóstagfelfüggesztő csapágyon (felső támasztócsapágy, „strut bearing”) keresztül a karosszériához kapcsolódik. Az alsó háromszögkar a keréktartót alulról vezeti, a rugóstag a felső vezetést és a kormányzáshoz szükséges forgástengelyt biztosítja. Elterjedt első futómű a személyautókon, mert kevés alkatrészből áll, és a rugóstag a kormányzási tengellyel együtt elforog. Hátsó McPherson is létezik, ott a keréktartó alsó karral és hosszlengőkarral/hossztartóval van vezetve, a rugóstag a felső és rugalmas támasz.

Jellemző hibák. McPherson rendszeren az alsó gömbcsukló, az alsó kar első/hátsó szilentje, a rugóstag felső csapágya, a rugóstag dugattyúszárának kopása, a porvédő repedése és a stabilizátorrúd végei kopnak leggyakrabban. A rugóstag-támasztócsapágy kanyarodáskor recsegő, pattogó hangot ad. A meggörbült rugóstag vagy a süllyedt rugó a kerékdőlést is megváltoztatja, amit futóműbemérőn lehet kimutatni.

24.2.5.2. Hosszlengőkaros felfüggesztés

A hosszlengőkaros rendszerben a lengőkar a jármű hossztengelyével párhuzamos, elöl a karosszériához csatlakozik, hátul a kerékhez. A kerék a kar ívén mozog; mivel a lengőkar forgástengelye keresztirányú, be- és kirugózáskor a kerékdőlés és a nyomtáv a karosszériához képest nem változik, csak a tengelytáv kissé. Kanyarban viszont a kerék a karosszériával együtt dől, ami az úthoz képest kedvezőtlen dőlést ad és rontja az oldalvezetést. Régi hátsó futóműveken (például Renault 4; ellenőrizendő: típusváltozat) és sok pótkocsin gyakori volt. A lengőtengelyes (swing axle) felfüggesztés más szerkezet: ott a féltengely egyik csuklója a lengés forgástengelyénél van, és a dőlés erősen változik. Hátránya miatt a hosszlengőkaros hátsó futómű mai személyautókon ritka; hátul inkább csatolt lengőkaros vagy ferde lengőkaros, esetleg többlengőkaros rendszert építenek.

24.2.5.3. Ferde lengőkaros felfüggesztés

A ferde lengőkar (semi-trailing arm) tulajdonképpen egy hosszlengőkar, amely a járműhöz képest nem párhuzamos, hanem 30–45°-os szöget zár be. A kar forgástengelye ferdén áll, ezért a kerék fel- és lefelé mozgásakor a dőlés és a kitérés együttesen változik. A ferde lengőkaros hátsó futómű helyet ad a féltengelynek, és jó egyensúlyt ad a dőlés- és kitérésváltozás között. Régebbi

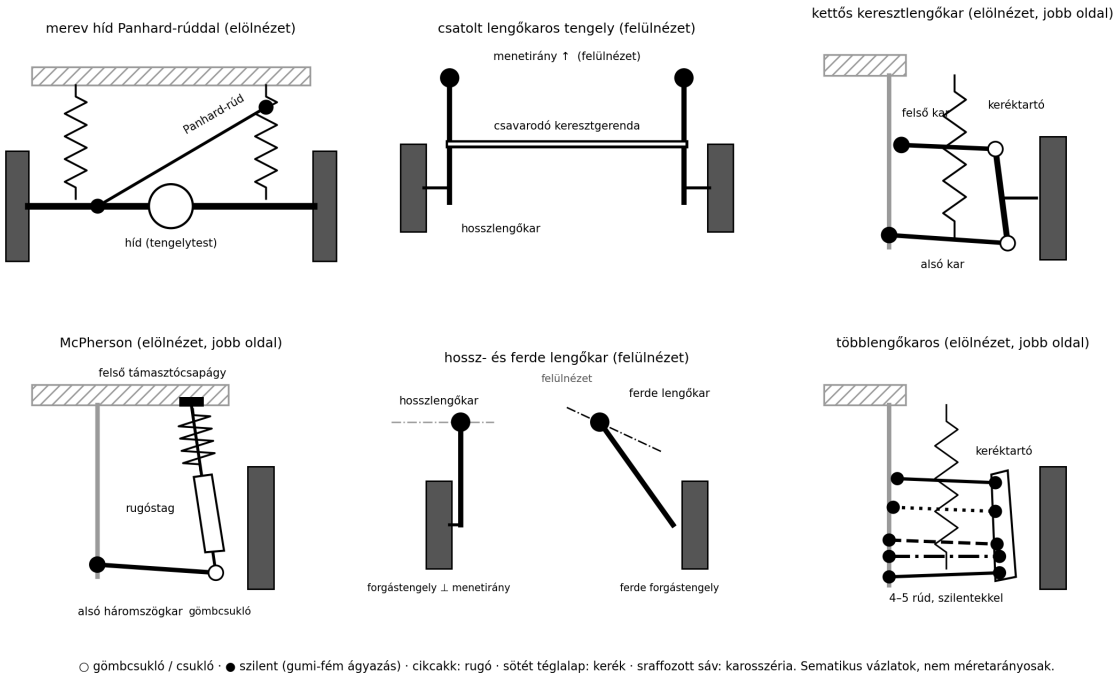
személyautókon (BMW, Mercedes hátsó futómű) elterjedt volt; ma gyakran többlengőkaros rendszerrel helyettesítik, mert ott a tervező finomabban hangolhat.

24.2.6. Többlengőkaros felfüggesztés

Definíció. A **többlengőkaros felfüggesztés** (multilink suspension) olyan független kerékfelfüggesztés, amelyben a kerék irányítását több, jellemzően három–öt kar és vonórúd végzi, amelyek a keréktartót különböző térbeli irányokból vezetik, így a tervező a hossz-, oldal- és dőlésszög-változásokat egymástól jobban függetleníteni tudja.

A többlengőkaros rendszer a mai pontos kerékvezetés és a kompromisszumok finom hangolása miatt gyakori a jobb személyautókon, elsősorban hátsó futóműveken, de elöl is alkalmazzák. A keréktartóhoz több, rugalmas szilenttel felszerelt kar kapcsolódik: hosszlengőkar, alsó és felső keresztlengőkar vagy ívkar, kitérőrúd (track rod), illetve a kormányzott tengelyen a kormányösszekötő rúd. A különböző karok nem feltétlenül háromszögkarok; lehetnek hajlított, egyenes vagy íves karok, amelyek a terhelés alatti célzott rugalmas kitérést is befolyásolják. A szilentek itt nem csak kopó elemek, hanem a rugózási/akusztikai viselkedést is hangolják.

Jellemző hibák. Többlengőkaros futóműnél a sok szilent miatt nehéz egyetlen kopogást beazonosítani. A szerelő emelőn, terheletlen és terhelt helyzetben is vizsgálja a karok holtjátékát, a szilentek elválását, a gömbcsuklók kopását, a kerékcsapágyat és a keréktartó esetleges repedését. A kopott belső szilentek fékezéskor vagy terhelésváltáskor okozhatnak hosszirányú lötyögést, amit a futóműbemérő csak részben mutat, mert ott a kerék a talajon áll.



24.5. ábra. A kerékfelfüggesztések fő típusai

Az ábra a fejezetben tárgyalt hat felfüggesztéstípust hasonlítja össze: a merev hidat Panhard-rúddal, a csatolt lengőkaros tengelyt, a kettős keresztlengőkart, a McPherson-futóművet, a hossz- és a ferde lengőkart (felülnézetben, a forgástengely irányával), valamint a többlengőkaros felfüggesztést. Az üres kör gömbcsuklót, a kitöltött kör szilentet, a cikcakk rugót jelöl. A HTML-változatban a típus kiválasztása után a berugózás csúszkájával követhető a karok mozgása

és a kerékdőlés változása a karosszériához képest: hosszlengőkarnál a dőlés nem változik, ferde lengőkarnál, McPhersonnál és kettős keresztlengőkarnál igen.

24.2.7. Elektronika a kerékfelfüggesztésnél

A kerékfelfüggesztés nem csak passzív elemekből állhat. A Rugózás és lengéscsillapítás alfejezet már említette a szintszabályzást; itt a felfüggesztés oldaláról érdemes rendszerezni:

- **Szintszabályzás (level control)**: a hasmagasságot vagy a hátsó szintet légrugóval, hidropneumatikus rugóval vagy kiegészítő légrugóval tartja állandóan, függetlenül a terheléstől. Az elektronika a szintérzékelők jele alapján szelepeket kapcsol, kompresszort működtet.
- **Folyamatosan állítható lengéscsillapítás (adaptív, pl. CDC/CCD, Continuous Damping Control)**: a lengéscsillapító szelepeit villamos működtetéssel menet közben állítja; érzékelők mérik a kerék/felépítmény gyorsulást, az útlöketet, a kormányszöget.
- **Aktív futómű (active suspension)**: hidraulikus és elektromechanikus beavatkozó elemekkel nemcsak a csillapítást, hanem a rugóerőt is menet közben változtathatja; a rendszer kerékfelé mozgó tömegei így kevésbé terhelik az utasteret. Egyes prémium járműveken a kamerás útfelismerő rendszer előre jelzi a burkolathibákat.
- **Futómű-érzékelők és kalibrálás**: a szintérzékelők, gyorsulásérzékelők, lengőkar-állásszögek jeleit a futómű-ECU dolgozza fel. Alkalmazáskor a járművet gyártói eszközzel kell kalibrálni, mert a megváltozott magasság érinti a fényszóró-magasságállítást (kalibrálást) és a kerékállás-változást.

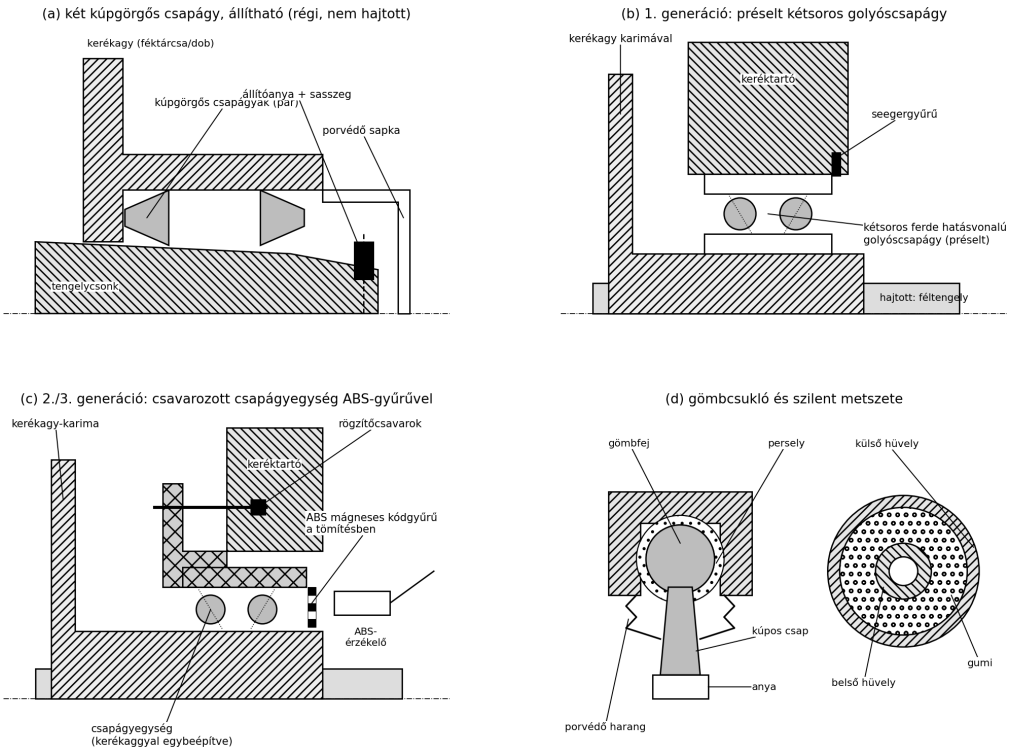
Megjegyzés. Az aktív futómű és a folyamatos szabályozás diagnosztikája meghaladja a hagyományos „feszültségmentes, multiméter mérés” szintet; a gyártói rendszerteszter és az oszcilloszkópos jelalakvizsgálat szükséges. A cél itt az, hogy a tanuló tudja: ezek a rendszerek is a felfüggesztés-koncepcióra épülnek, és a beavatkozó/jeladó elemeket a fedélzeti hálózatra kötik.

24.2.8. Kerékagy-csapágyazás, szilentek, gömbcsuklók

Definíció. A **kerékcsapágy** (wheel bearing) a kerékagy forgó részét támasztja meg a keréktartón vagy a tengelycsapon; felveheti a radiális és axiális terhelést, és lehetővé teszi a kerék csekély súrlódású forgását.

A kerékcsapágy lehet:

- **kétsoros golyóscsapágy**, gyakran egyben épített, tömített egység (hub bearing unit), amelyet nem állítunk, hanem cserélünk;
- **kúpgörgős csapágy**, amely jellemzően külön belső/külső gyűrűből áll, tömítéssel, állítható vagy csavaros anyával beállított csapágyhézaggal;
- **könnyű, egysoros golyóscsapágy** régebbi kisautók nem hajtott kerekein.



24.6. ábra. Kerékagy-csapágyazás kivitelei, gömbcsukló és szilent metszetben

Az ábra a csere előkészítéséhez mutatja a kiviteleket: az állítóanyás kúpgörgős csapágypárt (régi, nem hajtott kerék), az 1. generációs, keréktartóba préselt és seegergyűrűvel rögzített kétsoros golyóscsapágyat, valamint a 2./3. generációs, kerékaggyal egybeépített, a keréktartóhoz csavarozott csapágyegységet a tömítésbe épített mágneses ABS-kódgyűrűvel. A negyedik rész a gömbcsukló (gömbfej, persely, porvédő harang, kúpos csap, anya) és a szilent (külső hüvely, gumi, belső hüvely) metszete. A HTML-változatban rámutatásra megjelenik, hogyan szereljük ki az adott kivitelt.

A csapágyzúgás többnyire a kerékterheléssel váltakozik: kanyar közben a terhelés áthelyeződése miatt a zúgás erősödhet vagy halkulhat. A pontos hibafeltárást emelőn, kerékforgatással és a kerék terheletlen/terhelt mozgatásával végezzük; a zajdiagnosztika rendszerét lásd a Futóműbemérés és a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetekben.

Definíció. A **gömbcsukló** (ball joint) gömbfelületen elforduló, kis súrlódású kötést adó ízület, amely a lengőkar és a keréktartó vagy a kormányrúd között enged többirányú elfordulást, de a csuklóban lévő hézag nem haladhatja meg a gyártói határértéket.

A gömbcsuklónál a csapszeg a gömbfejével a fészekben mozog; a fészket műanyag betét, fémház vagy rugalmas elem védi, a porvédő gumiharang megakadályozza a kenőanyag kijutását és a szennyeződés bejutását. Ha a porvédő elszakad, a csukló hamar tönkremegy. Az ellenőrzéskor a keréken két ponton is mozgatunk (12 és 6 óra, illetve 3 és 9 óra irányban), és figyeljük a csukló holtjátékát, valamint a kenőzsír kiszivárgását.

Definíció. A **futómű-szilent** (rubber-metal bushing) rugalmas, gumiból vagy poliuretánból készült, fémhüvelybe illesztett csapágyazó elem, amely a lengőkart a karosszériához vagy a keréktartóhoz köti, és a kis elfordulásokat, valamint a vibrációt felveszi.

A szilent gumija nemcsak a rezgést szigeteli, hanem a futómű terhelés alatti rugalmas kitérését is szabályozza. A szilent ellenőrzésekor a beépítési helyén repedést, leválást, kiálló gumit, deformációt, a belső fémhüvely elcsúszását keresünk, és emelőrúddal óvatosan feszegetve figyeljük a szabad elmozdulást. A szilentek beépítésekor a jármű legyen a gyártói terhelési állapotnak megfelelő magasságban, mert a gumit beszerelve, elcsavarás nélkül kell terhelni; a menetmagasságban történő meghúzás így nem csavarja előfeszítve a szilentet.

24.2.9. Kerékcsapágy cseréje – előkészítés

A kerékcsapágy cseréje a gyakorlati vizsgán és a műhelymunkában is tipikus feladat. Itt az **előkészítést** tanítjuk, a teljes szerelési munka a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetben következik.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

A munka előtt az autót vízszintes, teherbíró talajra állítjuk, rögzítjük az elgurulás ellen, oldjuk a kerékcsavarokat, majd a járművet a gyártói emelési ponton emeljük, és bakra támasztjuk. **Jármű alá csak bakon vagy mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn megtámasztva szabad bemenni; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.** A hajtott keréknél a féltengely anyáját a kerék állásában, a jármű leengedett állapotában vagy a gyártó által előírt módon oldjuk, mert a rögzítőnyomaték gyakran igen nagy, akár 200–350 Nm körüli példaérték (ellenőrizendő: gyártói adat). A féktárcsa leszerelése, a kerékérzékelő (ABS) kábelcsatlakozójának és rögzítésének eltávolítása után megkezdjük a kerékcsapágy egység kihajtását. A préselést a gyártói szerszámmal végezzük, nem kalapáccsal; a hibás irányú préselés a keréktartó furatát is megsértheti. Az új csapágyat az előírt illesztési felületre ellenőrzötten, egyenletesen, a tömítést és a mágneses jeladógyűrűt nem érintve kell behúzni.

24.2.10. Gyártói adatok és minőségellenőrzés

A felfüggesztés ellenőrzésekor a döntő kérdés az, hogy a mért holtjáték a gyártói határértéken belül van-e. Példaként:

Vizsgálati pont	Mérési mód	Tipikus példahatár
Gömbcsukló hézag	kerék 12–6 óra irányban mozgatva	max. 0,5 mm (ellenőrizendő)
Szilent repedés	szemrevételezés, feszegetés	nincs mély repedés, nincs leválás
Kerékcsapágy holtjáték	12–6 és 3–9 óra irányú mozgatás	max. 0,1–0,2 mm (ellenőrizendő)
Kerékcsapágy zúgás	forgatás, terhelésváltás kanyarban	terhelésfüggő zúgás = gyanús
Abszolút magasság	kerékjárati ív és keréktárcsa közötti magasságmérés	gyártói hasmagasság ± tűrés (ellenőrizendő)

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

Előírás. A futóműalkatrészeket nem szabad hegesztéssel, egyengetéssel vagy utánmunkálással „felújítani”, ha az a biztonsági alkatrész szilárdságát csökkenti; a gyártó által felújíthatónak nyilvánított elemek kivételével a sérült lengőkar, keréktartó, csukló és csavar csak új, előírt

alkatrészre cserélhető. Az önzáró csavarokat és anyákat a gyártó előírása szerint egyszeri használat után cserélni kell (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

24.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy elsőkerék-hajtású, McPherson futóműves autóval az ügyfél kanyarban lassú tempónál is halk, de határozott kopogást hall, rossz úton viszont csak enyhe zörgést. A szerelő először emelőre teszi a járművet, elöl a kereket elforgatva és a rugóstag felső csapágyát hallgatva recsegést tapasztal. Az összekötő gömbcsukló porvédője szakadt, de a külső kormányrúd-végen csak a gumiharang hibás. A diagnózis első hipotézise a kormányrúd-vég, de a tapasztalt szerelő a rugóstag felső támasztócsapágyát is megmozgatja: a kanyarodáskor a felső támasztó csapágy recseg, és kis kerékfordításkor a rugóstag ugráló mozgást ad. A mérés: a kerékdőlés és utánfutás a gyártói tűrésen belül maradt, de a felső támasztó csapágy kézi elforgatása egyenetlen, pattogó. A javítás a rugóstag felső támasztócsapágy cseréje, a rugóstag összeszerelése rugófeszítő szerszámmal, majd futóműbemérési ellenőrzés. A tanulság: a kormányrúd-vég szakadt porvédője is hiba, de a recsegő felső csapágy a fő bűnös; a tünet és az alkatrész pontos beazonosítása több pont vizsgálatával lehetséges.

24.2.12. Gyakorlati útmutató – kerékcsapágy csere előkészítése

Cél. A kerékcsapágy típusának és állapotának ellenőrzése, a csere előkészítése, a szükséges szerszámok és műveleti sorrend meghatározása.

Jármű- és adatazonosítás. A rendelő munkalapján rögzítsd az alvázszámot, a futómű- és a kerékcsapágy típusát, az ABS/ESP meglétét, a meghúzási nyomatékokat a gyártói adatból (ellenőrizendő).

Szükséges szerszámok és anyagok. Kerékemelő, bakok, kerékkereszt vagy csavarkulcs, nyomatékkulcs, műanyag kalapács, feszítővas, tolómérő, mérőóra, féknyereg-visszanyomó (ha nem hátul hajtott), féktárcsa- és csapágyszerelő készlet, nyomatékos ütvecsavarozó vagy hosszú kulcs a nagy anyához, védőkesztyű, védőszemüveg.

Biztonsági korlát. A jármű alá csak bakon alátámasztva; a gyártói emelési pontokon emelj; a kerékcsapágy anyáját a gyártói nyomatékkal húzd meg; az önzáró anyákat cseréld.

Munkalépések (előkészítés):

1. Rögzítsd a járművet; még talajon állva, behúzott rögzítőfékkel lazítsd meg a kerékcsavarokat és (hajtott keréknél) a féltengely központi anyáját (ellenőrizendő: gyártói eljárás). Ezután emeld meg a gyártói emelési pontokon, támaszd bakokra, szereld le a kereket.
2. Forgasd meg a kerékagyat a féktárcsánál, hallgasd a zúgást, próbálj illesztési játékot kimutatni a 12–6 és a 3–9 óra irányban.
3. Keresd meg a kerékcsapágy típusát: hajtott kerekű integrált egység, vagy két kúpgörgős csapágy, állító anyával.
4. Szereld le a féknyerget, és dróttal vagy tartóval kösd fel úgy, hogy ne lógjon a fékcsövön; ezután távolítsd el a tárcsát a gyártói eljárás szerint.
5. A hajtott tengelynél a már meglazított féltengely-központi anyát csavard le; jelöld a helyzetét, és a féltengelyt a gyártói előírással együtt kezeld, ne húzd ki túlzott erővel.
6. Vizsgáld meg a csapágyházat, a tömítéseket, az esetleges mágneses jeladógyűrűt; a kerékérzékelőt és a kábelét sérülésmentesen tedd félre.
7. Döntsd el, hogy a csapágy csavarozott egység-e (akkor a gyártói nyomatékkal bontod), vagy préselendő; a préseléshez a megfelelő célszerszámot válaszd.

8. Tegyél rendet a munkaterületen, az alkatrészeket jelöld meg, és csak ezt követően kezdd a tényleges csapágyszerelést.

Ellenőrzés. A művelet előtt és után a kerékforgatás súrlódása egyenletes, a kerékcsapágy-holtjáték a gyártói határértéken belül van; a meghúzási nyomatékok be vannak tartva; az ABS-érzékelő és a fékrendszer működése ellenőrzött.

24.2.13. Tipikus hibák

1. **A gömbcsuklót a lengőkarra szerelt, szerelt szilenttel együtt próbálják megfogni.** A szerelő az egységet a szilenttel együtt cseréli, pedig a csukló külön, a szilent külön állapotú; a jó diagnózishoz mindkettőt külön kell vizsgálni.
2. **A szilent meghúzását teljesen felemelt kerék mellett végzik.** A gumiszilent ekkor elcsavart, előfeszített állapotba kerül, a jármű leengedése után elszakad vagy a futóműmagasság rossz lesz. A helyes eljárás: a járművet a gyártói terhelési állapotban hagyni, majd így meghúzni a szilentes csavarokat.
3. **A kerékcsapágyat kalapáccsal, ferde kihajtással cserélik.** A csapágyház vagy a keréktartó furata megsérül, a csapágy nem lesz merőleges, menet közben zúg, és a kerékérzékelő jeladógyűrűje is sérülhet. A helyes módszer a párhuzamos, egyenletes présszerszám és a gyártói nyomaték.
4. **A felfüggesztés ellenőrzésekor csak a kerékdőlést mérik.** A futóműhiba gyakori oka a szilentkopás, amely terhelés alatt okoz kitérést, de a statikus futóműbemérésen nem mindig látszik; ezért a holtjátékot és a feszegetést is el kell végezni.

24.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Ha a hajtott merev hátsó tengely panhard-rúdjának szilentje kopott, a tengely oldalirányban elmozdulhat a kanyarokban, és a jármű hátulját oldalra húzhatja. Indokold.
2. Mi a különbség a kettős keresztlengőkaros és a McPherson első futómű között a felső kar tekintetében?
3. Miért kell a szilentes csavarokat a jármű gyártói menetmagasságában meghúzni?
4. Milyen tünetekkel jelentkezik a kerékcsapágy kopása?
5. Mit jelent az, hogy a csatolt lengőkaros tengely „nem teljesen független”?
6. Milyen elektronikus elemekkel találkozhatsz egy adaptív futóműben?

24.2.15. Feladatok

1. feladat (A). Nevezd meg a merevtengelyes felfüggesztés két alaptípusát, és mondj mindkettőre egy-egy alkalmazást. Mi a szerepe a Panhard-rúdnak?

2. feladat (A). Rajzold le szövegesen egy McPherson első futómű fő elemeit: keréktartó, alsó lengőkar, gömbcsukló, rugóstag, felső támasztócsapágy, stabilizátor.

3. feladat (B). Sorold fel a csatolt lengőkaros hátsó tengely fő szerkezeti elemeit, és magyarázd el, miért nevezzük csatoltnak, ha nincs benne közös merev tengelytest.

4. feladat (B). Egy vizsgálat során egy kanyarban csikorgó, recsegő hangot hallasz, amely a kormány elfordításával együtt jelentkezik. Milyen három fő alkatrészt ellenőriznél, és mit mérnél?

5. feladat (C). Egy vásárló szerint a hátsó kerékcsapágy zúg, de a műhelyben emelőn forgatáskor nem hallasz egyértelmű zúgást. Milyen jellegű próbaúttal és terhelésváltással tudnád megerősíteni vagy cáfolni, hogy a hátsó kerékcsapágy a hiba? Mi a hipotézis vizsgálati lánca?

6. feladat (D). Egy autóban elöl jobb oldalon fékezéskor húzás jelentkezik, emelőn a kerék 3–9 óra irányban mérhetően lötyög. A kormányrudazatot már kizártad. Melyik alkatrészt gyanúsítod? Milyen méréssel és gyártói határértékkel döntesz a cseréről?

24.2.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A Panhard-rúd a híd oldalirányú vezetésére szolgál; ha a szilentje kopott, akkor a tengely oldalirányban elmozdul, ami hátul „luttyogó”, kormányozott érzést adhat, és a járműt oldalra húz.
2. A kettős keresztlengőkarosnál a felső kar egy tényleges fém lengőkar, amely a keréktartót felülről vezeti; a McPherson rendszernél ezt a felső kart a rugóstag felső támasztócsapágyára rögzített teleszkópos egység helyettesíti, így a felső vezetést a rugóstag végzi.
3. A szilent gumija elfordulhat; ha a kerék teljesen kifelé/lefelé lóg, a szilent elcsavarodva kapja a terhelést, leengedés után elszakadhat vagy a futóműmagasság rossz lehet.
4. Terhelésfüggő zúgás, amely kanyarban erősödhet vagy halkul, a kerék játékossága, a kerékagy melegedése, egyenetlen gördülési zaj.
5. A csatolt lengőkaros tengelyben a két hosszlengőkar elöl szilenttel, hátul kerékaggyal kapcsolódik, a keresztirányú gerenda elcsavarodik. A két kerék mozgása részben összekapcsolt, de a tengely nincs mereven összekötve, így az egyik kerék bizonyos mértékig függetlenül tud be- és kirugózni.
6. A kormányérzékelő, a szintérzékelő, a kerékgyorsulás-érzékelő, a lengéscsillapító útmérője, a vezérlőegység vagy a kompresszor/szeleptömb.

1. feladat. Hajtott merevtengely (pl. hátsókerék-hajtású kisteherautó hátsó hídja) és nem hajtott merevtengely (pl. egyszerű kisautó hátsó tengelye). A Panhard-rúd a merev tengely oldalirányú elmozdulását korlátozza, miközben a rugózást függőlegesen megengedi.

2. feladat. (Vö. a felfüggesztéstípusokat összehasonlító ábra McPherson-vázlatával.) A rajz középpontjában a keréktartó áll, amelybe a tengelycsap vagy kerékcsapágy illeszkedik; az alsó lengőkar belső vége szilenttel a karosszériához, külső vége gömbcsuklóval a keréktartóhoz kapcsolódik; a rugóstag alsó vége a keréktartóhoz, felső vége a felső támasztócsapágyhoz rögzül; a stabilizátor az alsó lengőkarhoz csatlakozik.

3. feladat. A csatolt lengőkaros hátsó tengely két hosszlengőkarra, az azokat összekötő, elcsavarodásra képes keresztgerendára, a lengőkarok elülső szilentjeire, a kerékagyakra, a rugókra és lengéscsillapítókra épül. A keresztgerenda egyszerre vezeti és elcsavarja a két kereket, ezért az egyik kerék mozgása részben átterjed a másikra; nincs azonban merev tartótengely, ezért nem merevtengely, hanem félmerev vagy csatolt rendszer.

4. feladat. A három fő gyanús elem: a rugóstag felső támasztócsapágya, a külső kormányrúdvég gömbcsuklója és az alsó lengőkar gömbcsuklója. Ellenőrzés: a kormányt lassan elforgatva hallgatni a felső csapágyat, a porvédőt és a kenőzsír-kilépést nézni, emelőn a kereket 12–6 és 3–9 óra irányban mozgatni, és a holtjátékot mérni.

5. feladat. A próbautat úgy kell megválasztani, hogy a kerékcsapágy terhelését változtasd: egyenesben hallott zúgás után finoman, biztonságos sebességgel jobbra és balra kanyarodsz; ha a hang balra kanyarnál erősödik, a jobb oldali kerék terhelése nő, és a jobb oldali csapágy gyanús, illetve fordítva. Az emelőn a forgatás mellett a kerékterhelés hiánya miatt a halk hiba

nem mindig hallható, ezért a terhelés alatti próba kell. A hipotézislánc: tünet (zúgás) → próbaúti terhelésváltás → oldal kijelölése → emelőn forgatás és kerékjáték → csapágy- vagy kerékcsapágyegység-csere → próbaút ellenőrzés.

6. feladat. A 3–9 óra irányú lötyögés és a fékezéskor jobbra húzás gyanús okai: az alsó lengőkar gömbcsuklója és szilentjei (a kopott belső szilentek fékezéskor hosszirányú lötyögést engednek), valamint a kerékcsapágy; a húzás miatt a fékrendszert (féknyereg, egyoldali fékhatás-különbség a görgős fékpadon) is ellenőrizni kell. Mivel a kormányrudazatot már kizártad, az alsó lengőkar gömbcsuklóját és szilentjeit kell elsőként vizsgálni. A mérés: a gömbcsukló feszegetése a keréktartó felől, a csapszeg axiális mozgásának pontos mérése csavarhúzóval és mérőórával, a gyártói határértékkel összevetve (például max. 0,5 mm; ellenőrizendő). Ha a játék nagyobb, a gömbcsuklót ki kell cserélni, majd futóműbemérést és próbafékezést végezni.

24.2.17. Rövid összefoglaló

A kerékfelfüggesztés a kerék és a felépítmény közötti vezetőelemek rendszere; merev és független csoportra oszlik. A merev hajtott és nem hajtott tengelyek egyszerűek és teherbíróak, de a rugózó tömegük nagy; a csatolt lengőkaros hátsó tengely félmerev rendszer, amelyben a csavaró keresztgerenda részben összekapcsolja a kerekeket. A független felfüggesztések közül a McPherson rendszer a rugóstagot használja felső vezetőelemként, az alsó háromszögkar és gömbcsukló alul vezeti a keréktartót; a kettős keresztlengőkaros rendszer két valódi lengőkarral ad pontos pályát; a többlengőkaros rendszer több karral finoman hangolja a hossz-, oldal- és dőlésszög-változást. A felfüggesztés kopó pontjai: a kerékcsapágy, a szilentek, a gömbcsuklók, a rugóstag felső csapágya és a stabilizátor végei; a helytelen szerelés (elszabadult szilent, kalapáccsal bevert csapágy) fokozott kopáshoz és biztonsági kockázathoz vezet. Elektronikus szintszabályzással, adaptív lengéscsillapítással és aktív futóművel a felfüggesztés már nem csupán passzív elem. A javítás előtt a gyártói adatokat, a meghúzási nyomatékokat és a mérési határértékeket kell ellenőrizni.

Továbbvitt eredmény. A felfüggesztés-típusokat és kopási pontjaikat a(z) Kerekek és gumiabroncsok, az Alváz, önhordó karosszéria, aktív és passzív biztonság, a Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők és a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezet használja.

24.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt működési elvek, kinematikai megoldások és tipikus hibák általános járműszerkezettani ismeretek. Ellenőrizendő a gyártói javítási adatoknál a kerékcsapágy-csere szerszámai, a meghúzási nyomatékok, a gömbcsukló- és kerékcsapágy-határértékek, a szilent meghúzási terhelési állapota, valamint az adaptív futómű jeladói és kalibrálási előírásai. A hatályos EU/ENSZ-EGB előírások (pl. a járműszerkezetre és futóműre vonatkozó típusjóváhagyási követelmények) a gyártói dokumentációval és a járműkategória szerint ellenőrizendők.

24.3. Kerekek és gumiabroncsok

24.3.1. Motiváció

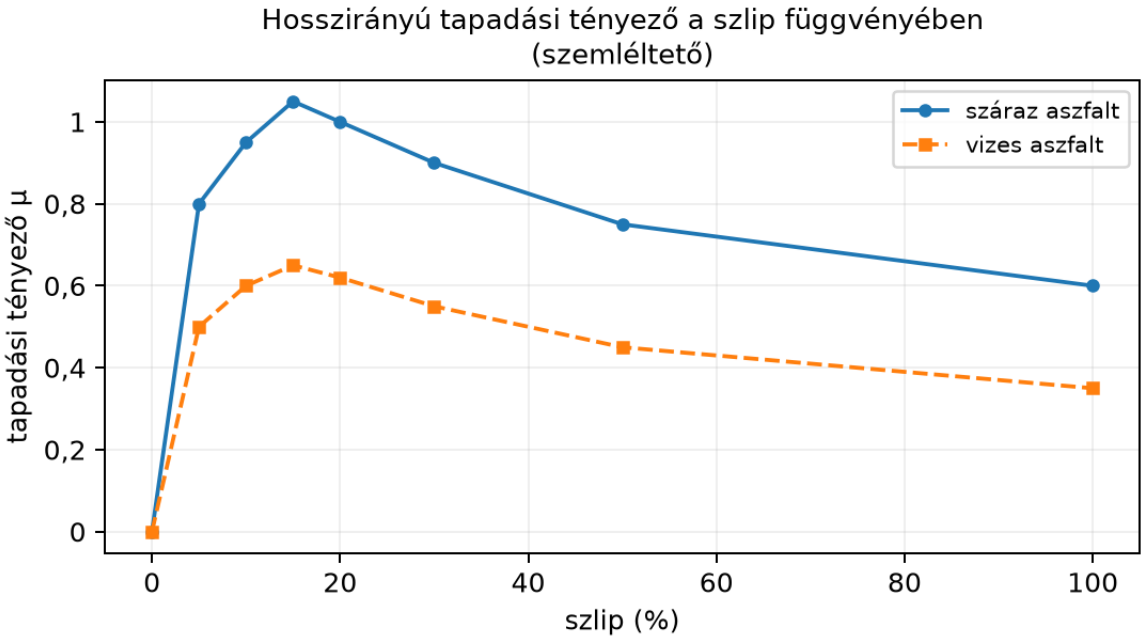
Az autószerelő műhelyben naponta találkozol cserére szoruló gumiabronccsal, keréktárcsával és guminyomás-figyelmeztetéssel. Az ügyfél gyakran így érkezik: „a gumi kopott”, „a kerék megütődött a kátyúban”, „világít a nyomásfigyelő lámpa”, vagy „téligumira szeretném cseréltetni a nyári kereket”. Ugyanaz a tünet – például egyenetlen futófelület-kopás – lehet gumiabroncs-,

futómű- vagy guminyomás-probléma. Ha nem tudod helyesen értelmezni a kerék és az abroncs jelöléseit, nem tudod megállapítani, hogy a javasolt csereabroncs biztonságosan használható-e, és félrediagnosztizálhatod a kopásképet.

24.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy személygépkocsi kerekét: a középpontban a keréktárcsa van, amelyet öt kerékcsavar rögzít az agyhoz. A tárcsa anyaga lehet préselt acéllemez vagy öntött/kovácsolt könnyűfém. A tárcsa peremére a tömlő nélküli, radiál szerkezetű gumiabroncs ül. Az abroncs belsejében levegő van, a belső légzáró réteg biztosítja a tömítést. A futófelület bordákkal és lamellákkal tagolt, az oldalfal hajlékony, a perem merevített. A kerékhez tartozik a szelep, valamint a kerékkiegyensúlyozó súlyok; gyakran a szelepszárra építik a guminyomás-érzékelőt.

A tapadás és a kerék szlipjének kapcsolata mutatja, miért fontos az abroncs és az elektronikus menetstabilizáló rendszerek együttműködése:



24.7. ábra. Hosszirányú tapadási tényező a szlip függvényében (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor, nem mért érték. A valós görbe függ az abroncstól, a burkolattól és a sebességtől.

Amíg a szlip kicsi, a tapadási tényező meredeken nő; a csúcs után a tapadás csökken, tehát a nagyon nagy szlip nem eredményez nagyobb fékerőt vagy vonóerőt. Az ABS és a menetstabilizáló rendszer ezt a csúcs körüli tartományt próbálja tartani.

24.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **keréktárcsa** a járműkerék merev, csavarozott központi eleme, amely az abroncsot a kerékagyhoz köti. A **gumiabroncs** a kerék külső, rugalmas, levegő- vagy támasztóelem-töltésű része, amely a jármű terhét viseli, és fékezéskor, hajtáskor, valamint kanyarodáskor a tapadási erőt átadja az útnak.

Definíció. A **gördülési sugár** (r_d) az a fiktív sugár, amellyel a terhelt, gördülő kerék kerületi sebességét és a jármű haladási sebességét egymáshoz rendeljük:

$$v = r_d\,\omega,$$

ahol v a járműsebesség, ω a kerék szögsebessége. A gördülési sugár kisebb a szabad sugaránál, mert a jármű tömege a talaj felé deformálja az abroncsot.

Definíció. A **szlip** (slip; „csúszás") a kerék kerületi sebessége és a jármű haladási sebessége közötti viszonylagos eltérés. Hajtás/gyorsítás közben:

$$s_{\mathrm{h}} = \frac{r_d\,\omega - v}{r_d\,\omega},$$

fékezés közben:

$$s_{\mathrm{f}} = \frac{v - r_d\,\omega}{v}.$$

A szlipet gyakran százalékban adjuk meg. Blokkolt keréknél $r_d\omega = 0$, tehát a fékezési szlip 100%.

Definíció. A **kúszás** (oldalkúszás, side slip) az abroncs oldalirányú elmozdulása oldalerő hatására. Kanyarodáskor az abroncs futóiránya kis szöggel eltér a haladási iránytól; ez az oldalvezetési szög.

Definíció. A **guminyomás-ellenőrző rendszer** (Tyre Pressure Monitoring System, TPMS) a kerékabroncsok légnyomását vagy annak csökkenését figyeli, és figyelmezteti a vezetőt.

24.3.4. Felépítés és működés

24.3.4.1. Keréktárcsák

A keréktárcsa feladata az abroncs rögzítése, a kerékagyra való csavarozás és a fék hőjének elvezetése. Anyaga szerint megkülönböztetünk:

- **Acéllemez-tárcsát:** olcsó, erős, hajlékony; kátyúban inkább deformálódik, ritkábban törik. Jellemzően kis légellenállású dísztárcsával fedik.
- **Könnyűfémtárcsát:** öntött vagy kovácsolt alumíniumötvözetből készül; kisebb tömegű, jobb fékhűtésű, esztétikusabb, de drágább és ütésre törékenyebb.

A tárcsa jelölése például:

$$7J \times 16\,\mathrm{ET}35\ 5 \times 112$$

Itt: 7 a tárcsa belső szélessége hüvelykben, J a peremprofil, 16 a tárcsa átmérője hüvelykben, ET35 a besajtolási mélység (ET, offset) 35 mm, 5×112 pedig öt csavarlyukat jelent 112 mm-es osztókörön. A besajtolási mélység a tárcsa középsíkja és a felfekvő felület távolsága mm-ben; nagyobb ET-nél a kerék beljebb (a futómű felé), kisebbnél kijjebb kerül a kerékjáratban.

24.3.4.2. Gumiabroncs szerkezete

A modern személyautó-abroncs **radiál** szerkezetű: a szövetváz szálai a haladási irányra merőlegesen, a futófelület alatti övszálak pedig kerületben futnak. Ez stabil futófelületet és kisebb gördülési ellenállást ad. A fő részek:

- **Futófelület:** érdes mintázat, amely a vizet elvezeti és a tapadást adja.
- **Öv:** acél- vagy szövetbetétek a futófelület alatt, a kerületi merevségért.
- **Szövetváz:** az oldalfal hajlékonyságát és a nyomástartást biztosítja.
- **Perem:** a tárcsára ül, és ott tömít; abroncsszerelő gép segítségével szerelhető.
- **Belső légzáró réteg:** tömlő nélküli (tubeless) abroncsnál a levegőt tartja.

24.3.4.3. Méretjelölés, indexek, DOT-kód

A személyautó-abroncs oldalán lévő jelölés például:

$$205/55\,R16\,91V$$

A jelentés:

Jelölés	Jelentés
205	névleges szélesség mm-ben
55	sorozat: a profil magassága a szélesség 55%-a
R	radiál szerkezet
16	tárcsa átmérője hüvelykben
91	terhelési index (load index, LI)
V	sebességindex (speed symbol, SI)

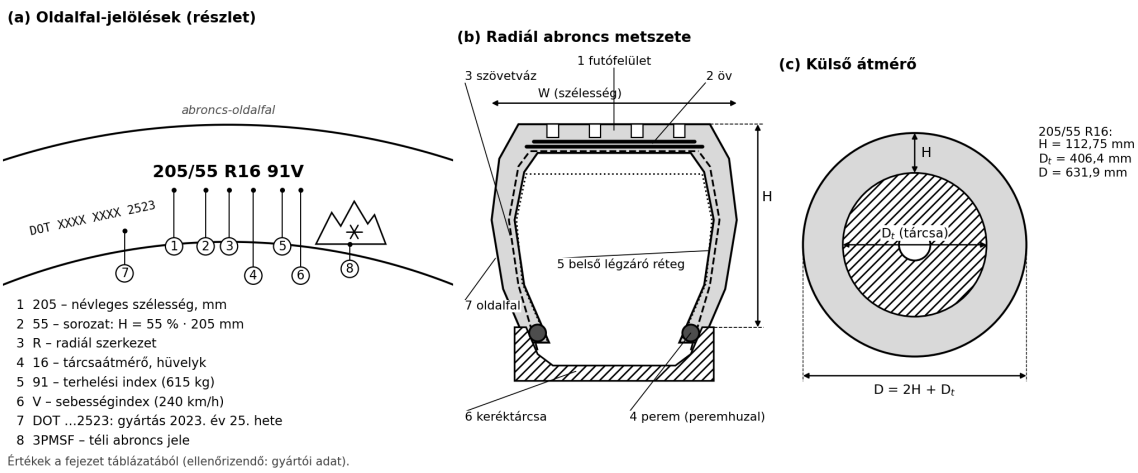
A terhelési index és a sebességindex gyakori példái:

Terhelési index	Terhelés (kg)	Sebességindex	Legnagyobb sebesség (km/h)
87	545	S	180
91	615	T	190
94	670	H	210
97	730	V	240
100	800	W	270

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a hatályos abroncsszabvány és a gyártói adat).

A **DOT-kód** a gumiabroncs oldalfalán például `DOT XXXX XXXX 2523`. Az utolsó négy számjegy a gyártási hét és év: a `2523` a 2023-as év 25. hetét jelenti. A gumiabroncs öregszik, ezért a gyártási időt is figyelembe kell venni.

A téli abroncsot a háromhegyű hópihe/3PMSF (Three Peak Mountain Snow Flake) szimbólum vagy hagyományosan az `M+S` jelölés azonosíthatja. Az `M+S` önmagában nem mindig teljes értékű téli abroncs.



24.8. ábra. A gumiabroncs oldalfal-jelölései (205/55 R16 91V, DOT, 3PMSF), a radiál abroncs metszete és a külső átmérő méretei: $D = 2H + D_t$

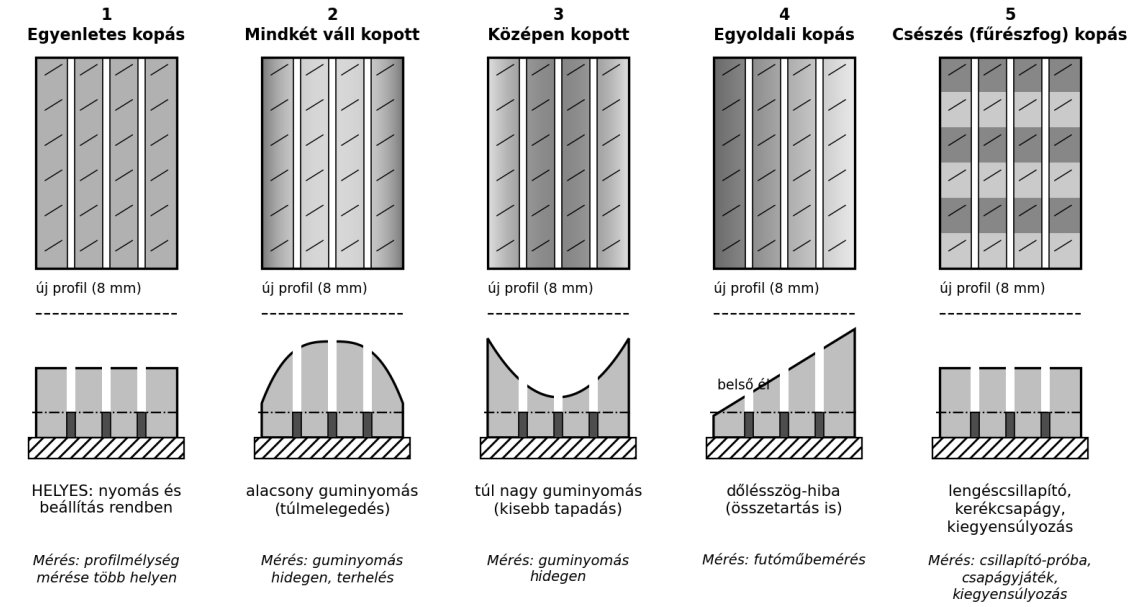
Az ábra (a) része a jelölés tagjait számozza, a (b) metszet a futófelületet, az övet, a szövetvázat, a peremet és a belső légzáró réteget mutatja, a (c) oldalnézet a H profilmagasságot, a D_t tárcsaátmérőt és a D külső átmérőt. A HTML-kiadás kalkulátorában két abroncsméret adható meg; kiszámolja a H, D és a kerület értékét, az átmérő-eltérést százalékban, valamint azt, hogy 100 km/h kijelzett sebességnél mekkora a valódi sebesség.

24.3.4.4. Szlip, tapadás és kopásképek

Az abroncs a talajjal akkor tud erőt átadni, ha a keréknek kicsiny szlipje van. A tapadási tényező a szlip függvényében először nő, majd csökken. Ezért a túlzott kipörgés vagy blokkolás rontja a vonó-, illetve fékerőt, és gyorsítja a kopást.

A gumiabroncsnyomás közvetlenül befolyásolja a gördülési ellenállást, a tapadást és a kopásképet:

- **Alacsony nyomás:** a futófelület szélein erősebben kopik, az abroncs túlmelegszik.
- **Túl nagy nyomás:** a futófelület középső része kopik erősebben, csökken a tapadás.
- **Egyoldali kopás:** többnyire dőlésszög- vagy utánfutás-hiba.
- **Csészés/(fűrészfog) kopás:** gyakran lengéscsillapító-, kerékcsapágy- vagy kiegyensúlyozási hiba.



24.9. ábra. Gumiabroncs-kopásképek: felül a futófelület felülnézete, alul a keresztmetszet a kopott profillal és a TWI-kopásjelző magasságával

Az ábrán a sötétebb sáv a jobban kopott rész. Az egyenletes kopás a helyes kép; a két váll kopása alacsony, a középső sáv kopása túl nagy nyomásra utal, az egyoldali kopás futóműbemérést, a csészés kopás a lengéscsillapító, a kerékcsapágy és a kiegyensúlyozás vizsgálatát kívánja. A profilmélység a barázdákban lévő TWI-bütyökhöz mérhető (1,6 mm, ellenőrizendő: hatályos hazai előírás).

24.3.4.5. Guminyomás-ellenőrző rendszer (TPMS)

A **direkt TPMS** minden kerékben nyomás-/hőmérsékletérzékelőt használ, és rádiós úton küldi az értékeket a vevőegységnek. Előnye a pontos, kerékenkénti nyomásérték; hátránya az érzékelőelem és a szelepszár szerelési költsége.

Az **indirekt TPMS** nem mér nyomást, hanem az ABS-jeladók kerékfordulatszámai alapján figyeli a gördülőkör-különbséget. A leeresztett abroncs gördülési sugara kisebb, ezért az adott kerék gyorsabban forog; a rendszer ebből jelez. Az indirekt rendszer olcsóbb, de általában nem ad meg kerékenkénti abszolút nyomást, és hosszabb egyenes úton tanul.

A **defekttűrő (run-flat) abroncs** megerősített oldalfallal vagy belső támasztógyűrűvel rövid távolságon, csökkentett sebességgel továbbgurul akkor is, ha a légnyomás elveszett. Ennek használatához a járműnek többnyire TPMS-sel kell rendelkeznie, mert a vezető másképp nem veszi észre a defektet.

Előírás. A közúti járművek forgalomban tartásának műszaki feltételeiről szóló hazai rendelet a gumiabroncsokra minimális profilmélységet, a futófelület és az oldalfal sérülésmentességét, valamint az azonos tengelyen azonos méretű és szerkezetű abroncs alkalmazását írja elő (ellenőrizendő: 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet hatályos szövege, gumiabroncs-követelmények). A személygépkocsi-abroncsok ENSZ-EGB jóváhagyását az ECE 30. előírás, a haszongépjármű-abroncsokét az ECE 54. előírás szabályozza (ellenőrizendő: az adott járműkategóriára alkalmazandó ECE-előírás pontos száma). Az új járművekre a guminyomás-ellenőrző rendszer beépítését

uniós járműbiztonsági előírás teszi kötelezővé (ellenőrizendő: a hatályos uniós rendelet, például (EU) 2019/2144 alkalmazási köre és határideje).

24.3.5. Kidolgozott példák

Számítás. Számítsuk ki a $205/55R16$ abroncs külső átmérőjét.

Adott: $W = 205\,\text{mm}$, sorozat 55%, tárcsaátmérő $D_t = 16$ hüvelyk.

Keresett: D külső átmérő.

Képlet:

$$H = \frac{55}{100} \cdot 205\,\text{mm}, \quad D = 2H + D_t, \quad D_t = 16 \cdot 25{,}4\,\text{mm}.$$

Behelyettesítés:

$$H = 0{,}55 \cdot 205 = 112{,}75\,\text{mm},$$
$$D_t = 16 \cdot 25{,}4 = 406{,}4\,\text{mm},$$
$$D = 2 \cdot 112{,}75 + 406{,}4 = 631{,}9\,\text{mm}.$$

Eredmény: a külső átmérő $631{,}9\,\text{mm}$. **Ellenőrzés:** a kerület $\pi D \approx 3{,}1416 \cdot 0{,}6319\,\text{m} \approx 1{,}985\,\text{m}$, ami egy személyautó-keréknél reális.

Számítás. Hasonlítsuk össze a $205/55R16$ és a $225/55R16$ abroncs külső átmérőjét.

Adott: az első abroncsnál $H_1 = 112{,}75\,\text{mm}$, $D_1 = 631{,}9\,\text{mm}$. A másodiknál a sorozat ugyanaz, de a szélesség $225\,\text{mm}$.

Keresett: D_2, valamint az eltérés százalékban.

Képlet:

$$H_2 = 0{,}55 \cdot 225\,\text{mm}, \quad D_2 = 2H_2 + 406{,}4\,\text{mm}, \quad \Delta D = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \cdot 100\%.$$

Behelyettesítés:

$$H_2 = 0{,}55 \cdot 225 = 123{,}75\,\text{mm},$$
$$D_2 = 2 \cdot 123{,}75 + 406{,}4 = 653{,}9\,\text{mm},$$
$$\Delta D = \frac{653{,}9 - 631{,}9}{631{,}9} \cdot 100\% = \frac{22}{631{,}9} \cdot 100\% \approx 3{,}48\%.$$

Eredmény: a $225/55R16$ abroncs $22\,\text{mm}$-rel nagyobb külső átmérőjű, ami $3{,}48\%$ eltérés. **Ellenőrzés:** a járműgyártók általában csak 3% körüli eltérésig engedélyezik a csereabroncs használatát, mert nagyobb eltérés megváltoztatja a sebességmérőt, a fokozati áttételezést és az ABS/ESP kalibrációt (ellenőrizendő: gyártói előírás). Ezért ez a csere így nem ajánlott.

Szabály. Csereabroncsnál ne csak a tárcsaátmérőt, hanem a teljes külső átmérőt és a kerületet is ellenőrizd. Ha az eltérés meghaladja a járműgyártó által megadott értéket (jellemzően $\pm 3\%$ körül), válassz más méretet, vagy végeztess utókódolást, ahol a gyártó engedi (ellenőrizendő).

24.3.6. Minőségellenőrzés

A kerék és a gumiabroncs átvizsgálásakor a következőket ellenőrizd:

1. **Légnyomást hideg abroncson mérj** a járműgyártó adata szerint (például 2,2–2,5 bar, ellenőrizendő: B-oszlopon, tanksapkán vagy a gyártói utasításban található).
2. **Profilmélységet** legalább három ponton (belső, középső, külső) mérd. Személygépkocsinál a minimális futófelület-mélység Magyarországon általában 1,6 mm (ellenőrizendő: hatályos előírás).
3. **Kopásképet** nézd meg: egyoldali, középen, széleken vagy csészés kopás.
4. **DOT-kódot** olvasd le; a 10 évnél idősebb abroncsot inkább cserélni kell, még akkor is, ha van profilmélysége (ellenőrizendő: abroncsgyártói ajánlás).
5. **Tárcsasérülést** keress: repedés, deformálódás, peremütés.
6. **Kerékcsavarokat/anyákat** előírt nyomatékkal húzd meg (például 110–120 Nm, ellenőrizendő: gyártói adat).
7. **TPMS-figyelmeztetést** ellenőrizd, és szükség esetén tanítsd újra a rendszert.

Figyelem. Kerékcsere közben a járművet csak a gyártói emelési ponton emeld, és a jármű alá kizárólag bakra támasztva menj; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.

Környezetvédelem. A hulladék gumiabroncsot a kijelölt gyűjtőhelyen add le; elégetni vagy illegálisan lerakni tilos. A használt abroncs újrafutózható vagy darált gumiként újrahasznosítható (ellenőrizendő: a hulladékjegyzék szerinti besorolás és kezelési előírás).

24.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél a műhelybe hozza a személyautóját, mert a jobb első gumi belső széle feltűnően gyorsabban kopik, és a kormány balra húz. A szemrevételezéskor a jobb első gumi belső profilmélysége 0,8 mm, a külsőé 4,5 mm. A futóműbemérő a jobb első kerék dőlésszögét $-1^\circ 50'$-nek méri, a gyári tűrés $-1^\circ \pm 30'$ (ellenőrizendő: a jármű gyártói adata). A lengéscsillapító-vizsgálat a jobb első csillapítót a gyári értékhez képest 35%-kal gyengébbnek mutatja. A javítás: a jobb első lengéscsillapító cseréje, a dőlésszög beállítása, majd új gumiabroncs szerelése és próbaút. A tanulság: a kopásképnek nemcsak a gumiabroncs hibája, hanem a futómű-diagnosztika bemenete; a tünetet nem elég a gumicserével megszüntetni.

24.3.8. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő csak a futófelület közepét méri meg, és azt mondja, van még 3 mm a gumiban, miközben a belső váll már szövetig kopott. **Helyes gyakorlat.** A profilmélységet mindig a teljes futófelület belső–középső–külső pontján mérd.

Hiba. A DOT-kód `2523` utolsó négy számjegyét úgy olvassa, hogy 2025. év 23. hete, vagy 25. nap, 2023. **Helyes gyakorlat.** Az első két számjegy a hét, az utolsó kettő az év: `2523` = 2023. 25. hete.

Hiba. A csereabroncsnál csak a tárcsaátmérőt vizsgálja, és a $225/55R16$ méretet elfogadja a $205/55R16$ helyett, mert „úgyis 16-os”. **Helyes gyakorlat.** Számítsd ki a külső átmérőt, és ellenőrizd a gyártói tűrést; ha kell, válassz más sorozatot vagy szélességet.

Hiba. A TPMS szenzoros kereket úgy szereli, hogy a régi szelepszárat a szenzorral együtt átteszi az új abroncsba, de nem cseréli a tömítést/csavart a gyártó szerint, vagy az indirekt TPMS kalibrálását elfelejti. **Helyes gyakorlat.** Kövesd a gyártói utasítást a szenzorszerelésre, és végezd el az indirekt rendszer újratanítását/próbaútját.

24.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A $205/55R16$ és a $205/60R16$ abroncs külső átmérője azonos, mert a szélességük azonos.
2. Mit jelent a $91V$ jelölés?
3. Számítsd ki a $225/45R17$ abroncs profilmagasságát mm-ben.
4. Hogyan azonosítod a gumiabroncs gyártási idejét a DOT-kódból?
5. Mi a különbség a direkt és az indirekt TPMS között?
6. Az egyik gumi középen kopik, a szélei nem. Milyen okra gyanakszol?

24.3.10. Megoldások

24.3.10.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A $205/60R16$ profilmagassága 123 mm, külső átmérője 652,4 mm, míg a $205/55R16$-é 631,9 mm (kb. 3,2%-kal nagyobb).
2. A 91 terhelési index 615 kg, a V sebességindex 240 km/h legnagyobb sebességet jelent (példaérték).
3. $H = 225 \cdot 0{,}45 = 101{,}25$ mm.
4. A DOT-kód utolsó négy számjegye: az első kettő a gyártási hét, az utolsó kettő a gyártási év; `2523` = 2023. 25. hete.
5. A direkt TPMS kerékenkénti nyomásérzékelővel pontos nyomást küld; az indirekt TPMS az ABS-jeladók fordulatszám-különbségéből következtet, olcsóbb, de nem mér abszolút nyomást.
6. **Túl nagy keréknyomásra.** Ellenőrizd a nyomást hideg abroncson, és állítsd a gyártói értékre.

24.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Számítsd ki a $205/55R16$ abroncs profilmagasságát és külső átmérőjét mm-ben.

2. feladat (A). A $225/45R1791W$ jelölés minden tagját értelmezd.

3. feladat (B). Egy $205/55R16$ abronccsal szerelt autó 100 km/h sebességgel halad. A gördülési sugár $r_d = 0{,}30$ m. Számítsd ki a kerékfordulatszámot 1/min mértékegységben.

4. feladat (B). Hasonlítsd össze a $205/55R16$ és a $225/45R17$ abroncsok külső átmérőjét, és döntsd el, hogy megfelelő csere-e a második.

5. feladat (C). Magyarázd meg a szlip-tapadási görbe alapján, miért tud az ABS nagyobb fékerőt fenntartani, mint a teljesen blokkolt kerék.

6. feladat (D). Egy jármű jobb hátsó abroncsa a futófelület mindkét szélén kopik, középen alig. Mit ellenőrzöl először, milyen mérést végzel, és mi lehet az ok?

24.3.11.1. 1. feladat megoldása

Képlet: $H = 0{,}55 \cdot 205 = 112{,}75$ mm.
Tárcsa átmérő: $16 \cdot 25{,}4 = 406{,}4$ mm.
Külső átmérő: $D = 2 \cdot 112{,}75 + 406{,}4 = 631{,}9$ mm.
Eredmény: a profil 112,75 mm, az átmérő 631,9 mm.

24.3.11.2. 2. feladat megoldása

- 225: névleges szélesség 225 mm.
- 45: sorozat, a profil magassága a szélesség 45%-a.
- R: radiál szerkezet.
- 17: tárcsa átmérő 17 hüvelyk.
- 91: terhelési index 615 kg (példa).
- W: sebességindex 270 km/h legnagyobb sebesség (példa).

24.3.11.3. 3. feladat megoldása

Adott: $v = 100\,\text{km/h} = 27{,}78\,\text{m/s}$, $r_d = 0{,}30\,\text{m}$.
Képlet: $\omega = v / r_d$, $n = \frac{60\,\omega}{2\pi}$.
Behelyettesítés: $\omega = 27{,}78 / 0{,}30 = 92{,}6\,\text{rad/s}$.
$n = \frac{60 \cdot 92{,}6}{2\pi} = \frac{5556}{6{,}283} \approx 884\,\text{1/min}$.
Eredmény: kb. 884 1/min. **Ellenőrzés:** ez közel van a gyakorlatban mért kerékfordulatszámhoz; a továbbvitt eredmény az ABS kerékfordulatszám-számítását készíti elő.

24.3.11.4. 4. feladat megoldása

Adott: $205/55R16$: $D_1 = 631{,}9\,\text{mm}$.
$225/45R17$: $H = 0{,}45 \cdot 225 = 101{,}25\,\text{mm}$, $D_t = 17 \cdot 25{,}4 = 431{,}8\,\text{mm}$.
$D_2 = 2 \cdot 101{,}25 + 431{,}8 = 634{,}3\,\text{mm}$.
Eltérés: $\Delta = (634{,}3 - 631{,}9)/631{,}9 \cdot 100 \approx 0{,}38\%$.
Eredmény: A $225/45R17$ elfogadható csere, mert az eltérés a jellemző $\pm 3\%$ alatt van (ellenőrizendő: járműgyártói tűrés).

24.3.11.5. 5. feladat megoldása

A görbén a tapadási tényező körülbelül 10–20% szlipnél éri el a maximumát, majd a teljesen blokkolt keréknél (100%) alacsonyabb értékre csökken. Az ABS ezért a féknyomást úgy szabályozza, hogy a kerék szlipje a csúcs körüli tartományban maradjon; így nagyobb tapadóerő, rövidebb fékút és megőrzött kormányozhatóság érhető el.

24.3.11.6. 6. feladat megoldása

Tünet: mindkét váll kopik, középen nem.
Hipotézis: alulnyomott abroncs, mert alacsony nyomásnál a futófelület szélei jobban terhelődnek.
Mérés: hideg abroncsnyomás ellenőrzése mind a négy keréken.
Várt ok: a jobb hátsó kerék nyomása a gyártói előírt érték alatt van (például az előírt 2,2 bar helyett 1,6 bar; ellenőrizendő: gyártói adat).
Javítás: nyomás beállítása, a tömítettség ellenőrzése (szelep, perem, szögszivárgás).
Ellenőrzés: próbaút, ismételt nyomásmérés, a kopásképmegfigyelése.

24.3.12. Rövid összefoglaló

A kerék a jármű és az út közötti erőátvitel alapvető eleme. A keréktárcsa a csavarozott, merev középső rész, míg a gumiabroncs a rugalmas, tapadást adó elem. A tárcsa jelölése a szélességet, peremprofilt, átmérőt, besajtolási mélységet és osztókört adja meg. A radiál abroncs oldalfalán lévő méretjelölés (például $205/55R1691V$) a szélességet, sorozatot, tárcsaátmérőt, terhelési és sebességindexet tartalmazza. A DOT-kód utolsó négy számjegye a gyártási hetet és évet adja meg. A szlip a kerék kerületi és a jármű haladási sebességének viszonyított eltérése; a tapadási tényező a szlip függvényében csúcsot ér el, ezért a túlzott csúszás vagy blokkolás rontja a fékerőt. Az alul- vagy túlnyomott abroncs jellegzetes kopásképet okoz, ezért a légnyomást hideg abroncson kell ellenőrizni. A TPMS direkt és indirekt változatban figyelmeztet a nyomáscsökkenésre.

Továbbvitt eredmény. Az abroncsjelölés és a külsőátmérő-számítás közvetlenül kell a Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA alfejezetben a kerékfordulatszámok és a szlipjel számításakor; a Futóműbemérés alfejezetben a gördülőkör- és abroncshatás miatt; a Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás alfejezetben a gördülési sugár, a tömegkiegyensúlyozás és a gumiabroncs-ütés miatt; továbbá a Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban alfejezetben a szerelés, a méretazonosítás és a nyomás ellenőrzésekor.

24.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A gumiabroncs- és keréktárcsa-jelölések, valamint a szlip és tapadás fizikai alapjai a járműtechnikai szakirodalomból és a stabil mechanikai összefüggésekből származnak. A pontos méret-, terhelési- és sebességindex-értékek a hatályos abroncsszabványok és a gyártói adatok szerint ellenőrizendők. A jogszabályi követelmények (6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet, ENSZ-EGB ECE 30/54, uniós TPMS-előírás) pontos száma, hatálya és határértékei ellenőrizendők. A kerékcsavarok meghúzási nyomatéka, a guminyomás és a kopási határok szintén a gyártó, illetve a jármű típusbizonyítványának adatai szerint ellenőrizendők.

24.4. Alváz, önhordó karosszéria, aktív és passzív biztonság

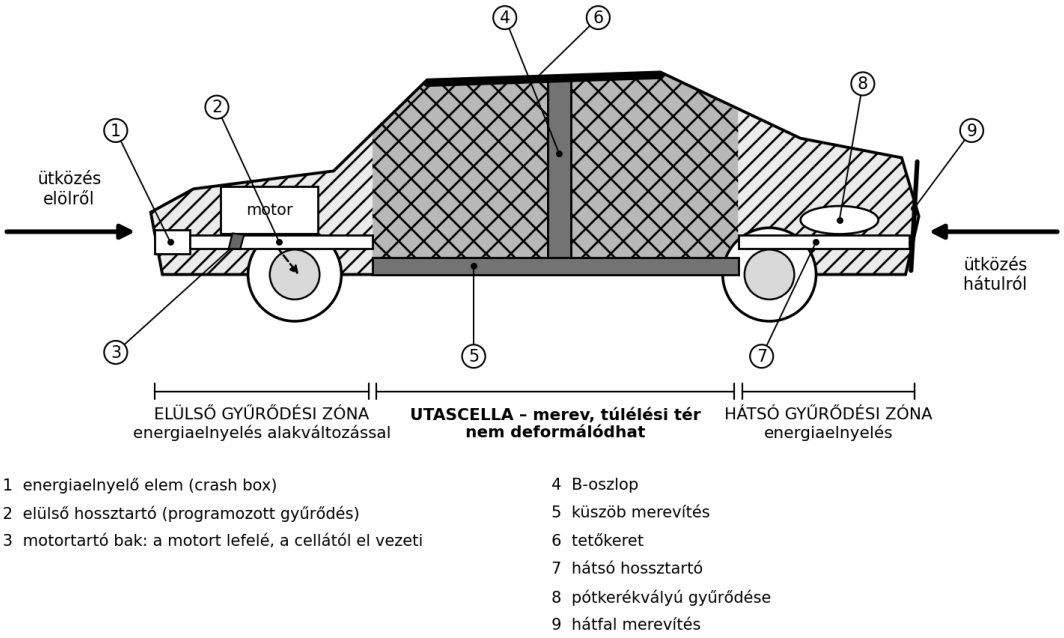
24.4.1. Motiváció

Egy autószerelő műhelyben gyakran hallani, hogy az ügyfél elsősorban a motor teljesítményére, a fogyasztásra vagy a felnikre kíváncsi. Ugyanakkor a biztonság és a hosszú élettartam szempontjából a legfontosabb részegység, amellyel a tulajdonosok ritkán törődnek, maga a karosszéria és az alváz. A műszaki vizsgára bemutatott járműnél a vizsgabiztos először az alvázszámot, a korrózióállapotot, a teherviselő elemek átrozsdásodását és a korábbi sérülések javítását nézi. Ha az önhordó karosszéria fő elemei elkorhadtak vagy szakszerűtlenül lettek javítva, akkor a fék és a futómű tökéletes állapota sem menti meg a járművet a vizsga elutasításától. Az autószerelőnek tehát fel kell ismernie a teherviselő szerkezet sérüléseit, ismernie kell a biztonsági zónákat, és tudnia kell, mikor kötelező a munkát karosszérialakatosnak átadnia.

24.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy modern alsó-középkategóriás önhordó karosszériát madártávlatból, tetőlemez nélkül. A szerkezet három fő zónára bontható. Elöl a motortérben a hossztartók zárt üregei gyűrődési zónát alkotnak, amely ütközéskor harmonikaszerűen összenyomódik, elnyeli az energiát,

és távol tartja a merev motort az utastértől. A középső rész az utascella: nagyszilárdságú acélból készült B-oszlopok, küszöbök, tetőkereszt és padlólemez-merevítés alkotja, amelynek egyetlen feladata, hogy túlélő teret tartson fenn. Hátul a csomagtartó alatti hátsó hossztartók szintén gyűrődve védik az utasteret. Ezt a hármas tagolást szemlélteti az alábbi oldalnézeti vázlat is.



24.10. ábra. Az önhordó karosszéria biztonsági zónái hosszirányban: elülső gyűrődési zóna, merev utascella, hátsó gyűrődési zóna

A nyilak az ütközés irányát jelzik: az energiát a gyűrődési zóna alakváltozással elnyeli, az utascella merev marad, így a túlélési tér megmarad. Az elülső zónában az energiaelnyelő elem és a hossztartó gyűrődik, a motortartó bak a motort lefelé, az utascellától el vezeti.

24.4.3. Alváz és önhordó karosszéria: definíciók és felépítés

Definíció. Az **alváz** (chassis, frame) a jármű teherviselő váza, amely a hajtáslánc, a futómű, a kormányzás, a fék és a felépítmény valamennyi szerkezeti terhelését összegyűjti és továbbítja. Hagyományos felépítésben ez egy különálló **létraalváz** vagy rácsszerkezet, amelyre a karosszéria külön felépítményként kerül.

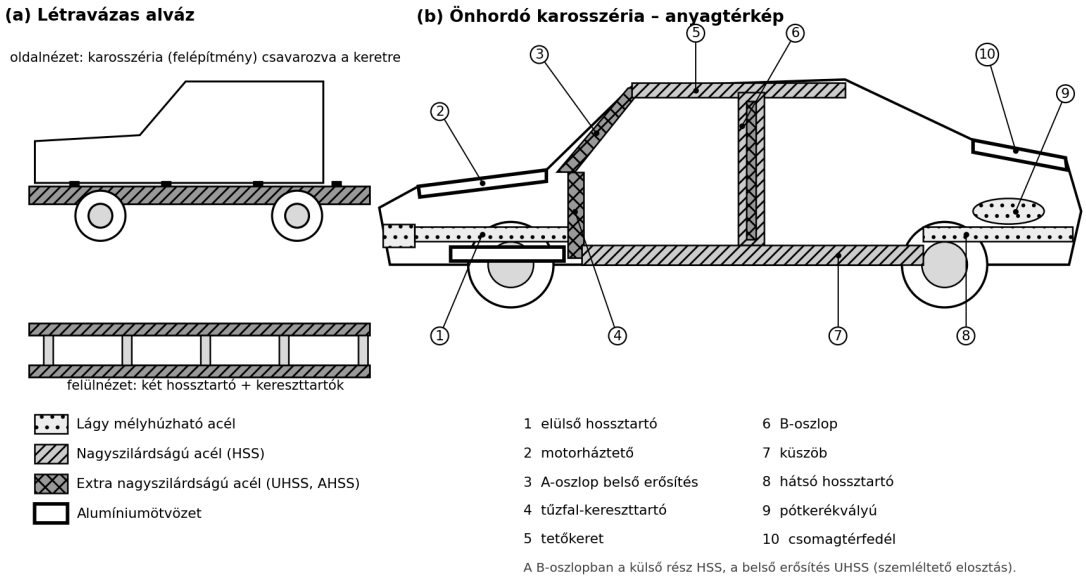
Definíció. Az **önhordó karosszéria** (self-supporting body, monocoque body) olyan építési mód, amelyben a karosszéria lemez- és profil szerkezete maga viseli az összes járműterhelést, tehát különálló alvázkeretre nincs szükség. A merevséget a zárt üreges szelvényekből összeállított, ponthegesztett, ragasztott és részben szegecselt lemezváz adja.

A **létraalvázat** ma elsősorban terepjárókban, kisteherautókban és haszonjárművekben találjuk. Két hossztartóból és az azokat összekötő kereszttartókból áll. Előnye a nagy terhelhetőség, a moduláris felépítés és az, hogy a sérült felépítmény cseréje nem érinti a futómű geometriáját. Hátránya a nagyobb önsúly, a magasabb súlypont és a kisebb torziós merevség a modern önhordó szerkezetekhez képest. A teherbírás növelése érdekében a hossztartók gyakran változó magasságú zárt szelvények; a meghajlított keret a rugózás kiegészítő elemeként is dolgozik.

Az **önhordó karosszéria** a személyautók és a legtöbb modern kisteherautó uralkodó építési módja. A szerkezeti elemeket acéllemezekből hidegen sajtolják, majd ponthegesztéssel, lézerhegesztéssel, ragasztással vagy önkilyukasztó szegeccsel kötik össze. A fő teherviselő elemek zárt üregei a csavaró- és hajlítómerevség gerincét adják. A merevség növelése mellett arra is ügyelnek, hogy az üregek korrózióvédelemmel, viasszal vagy üregvédővel legyenek kezelve, mert ezek a kritikus pontok belülről rozsdásodnak.

A modern karosszériákban anyagkeveréket alkalmaznak:

- **Lágy mélyhúzható acél**: a gyűrődési zónákban, ahol nagyobb alakváltozás szükséges.
- **Nagyszilárdságú acél (HSS)**: a B-oszlopokban, küszöbökben és tetőkeretben, ahol nagyobb szilárdság kell.
- **Extra nagyszilárdságú acél (UHSS, AHSS)**: a biztonsági utascella kulcselemeiben, ahova a ponthegesztő technológiát és a hőkezelést a gyártó pontosan előírja.
- **Alumíniumötvözet**: motortartóban, csomagtérfedélben, motorháztetőben, sőt egyes járművek teljes önhordó vázában. Előnye a kisebb tömeg és a korrózióállóság, hátránya a nehezebb javítás és a vegyes fém kontaktkorróziójának kockázata.



24.11. ábra. (a) Létravázas alváz csavarozott felépítménnyel; (b) önhordó karosszéria sematikus anyagtérképe

Az ábrán a pontozott elemek lágy acélból, a vonalkázottak nagyszilárdságú acélból (HSS), a kereszt-sraffozottak extra nagyszilárdságú acélból (UHSS, AHSS) készülnek, az üres, vastag körvonalú elemek alumíniumból. A HTML-kiadásban anyagonként külön is megjeleníthetők, és rámutatásra kiderül, hogy az elem javítható vagy csak gyártói előírás szerint cserélhető.

Szabály. A csavaros kötésű, hagyományos javíthatóság az önhordó karosszériánál csak a könnyen cserélhető elemekre (ajtó, csomagtérfedél, motorháztető, sárvédő) vonatkozik. A teherviselő belső elemeket a gyártó a javítási utasításban szigorúan szabályozza; bizonyos zónákban az utólagos hőkezelés vagy hegesztés tilos.

24.4.4. Aktív biztonság

Definíció. Az **aktív biztonság** a jármű azon tulajdonságainak és rendszereinek összessége, amelyek segítenek a baleset bekövetkezésének megelőzésében. Hétköznapi megfogalmazásban: minden, ami elvezeti az autót a veszélyhelyzettől.

Az aktív biztonság négy részterületre bontható, amelyek a vezető és a jármű közötti körfolyamatot fedik le:

1. **Menetbiztonság.** Minden, ami a jármű stabil egyenesfutásához, kiszámítható kanyarodásához és lassításához szükséges. Ide tartozik a futómű-konstrukció, a kormányzás, a fék, a gumiabroncs, a lengéscsillapító és a motor nyomatékszállítása. A kopott lengéscsillapító rontja a kerék úttartását, a helytelen kerékbeállítás kúszást és vándorlást okoz.
2. **Kondíciós biztonság.** Azok a feltételek, amelyek a vezető teljesítőképességét fenntartják: utastéri hőmérséklet, szellőzés, zajszint, vibráció, üléshelyzet, tükrök és a műszerek jól látható, félreérthetetlen kialakítása. A párás szélvédő vagy a zörgő utastéri elem ugyanúgy a baleseti kockázatot növeli.
3. **Észlelési biztonság.** Minden, ami a járművet mások számára észlelhetővé teszi: nappali menetjelző, tompított fény, féklámpa, irányjelző, a jármű színe és a fényvisszaverő felületek. Ide tartozik a fényszórók helyes beállítása és az üvegek tisztasága, valamint a kiegészítő jelzőfények.
4. **Kezelési biztonság.** A vezető terhelésének csökkentése és a hibás kezelés következményeinek enyhítése. Ide tartozik a szervokormány megfelelő rásegítése, az ergonomikus pedálrend, az ABS vészfékezés alatti kormányozhatósága, a menetstabilizáló (ESP) és az elektronikus segédrendszerek, például a vészfékasszisztens vagy a holttérfigyelő a későbbi alfejezetek szerint. A szerelő felelőssége, hogy e rendszerek jeladóit, beavatkozóit és kalibrálását a gyártói előírás szerint tartsa karban.

24.4.5. Passzív biztonság

Definíció. A **passzív biztonság** a jármű mindazon szerkezeti és berendezési tulajdonsága, amely a baleset bekövetkezése után csökkenti a járműben ülők és a gyalogosok sérülésének súlyosságát.

A passzív biztonságot három fő területre osztjuk:

- **Külső biztonság (gyalogosvédelem).** Az első lökhárító, a motorháztető elülső él és a szélvédőkeret közelében olyan deformálható anyagok, üregek és a motorháztető alatti szerkezeti elrendezés szükséges, amelyek csökkentik a gyalogos sérülését. A fényszórók és a lökhárító rögzítése nem lehet merev, kiálló szerkezet. A gyalogosvédelmi légzsák és az álló oszlopok lekerekített belső felületei tovább javítják az eredményt.
- **Gyűrődési zóna és utascella.** Ide tartozik a **gyűrődési zóna** és az **utascella** szétválasztása. Az első és hátsó ütközési energiát a gyűrődő elemek nyelik el: az elülső hossztartók programozottan gyűrődnek, a motortartó bakok a motort lefelé vagy a gyűrődő zóna irányába vezetik, a lökhárító energiaelnyelő elemei az alacsony sebességű (például parkolási) ütközéseket teszik károsodás nélkül elviselhetővé. A kormányoszlop is összenyomható kialakítású, a pedálok eltávolodnak a vezető lábától.
- **Belső biztonsági zóna.** Az utascella merev szerkezetét úgy tervezik, hogy a túlélési tér megmaradjon; a belső felületeket elnyeltető anyagok borítják; a biztonsági öv, az övfeszítő, az erőhatároló, a légzsák, a fejtámla és a gyerekülés-rögzítés (ISOFIX) az utast a cellához kötik és a sérülést csökkentik. A tető a borulás ellen megerősített, a B-oszlopok és a küszöbök az oldalütközés ellen merevítettek.

A töréstesztek (például Euro NCAP, ellenőrizendő: az aktuális protokoll és értékelési rendszer) az autót frontális, oldal-, hátsó (ostorcsapás) és gyalogosütközésben vizsgálják. A csillagok számát a mérési eredmények és a biztonsági berendezések megléte alapján adják, így az osztályzat csak azonos protokoll mellett hasonlítható össze.

Előírás. A járművek törésbiztonsági és gyalogosvédelmi követelményeit európai uniós típusjóváhagyási előírások és ENSZ-EGB előírások határozzák meg (ellenőrizendő: a konkrét előírás- és szabványszámok, például a gyalogosvédelmi és frontális ütközési előírások köre). A konkrét javítási eljárások az adott gyártó javítási utasításából következnek.

Továbbvitt eredmény. Az aktív és passzív biztonsági zónák felosztását használjuk a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk alfejezetben az ADAS-funkciók rendszerezésekor, valamint a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok közlekedésbiztonsági témakörénél.

24.4.6. Gyűrődési zóna és utascella – részletes működés

A gyűrődési zóna működése az energiaelnyelésen alapul. Ütközéskor a jármű mozgási energiája:

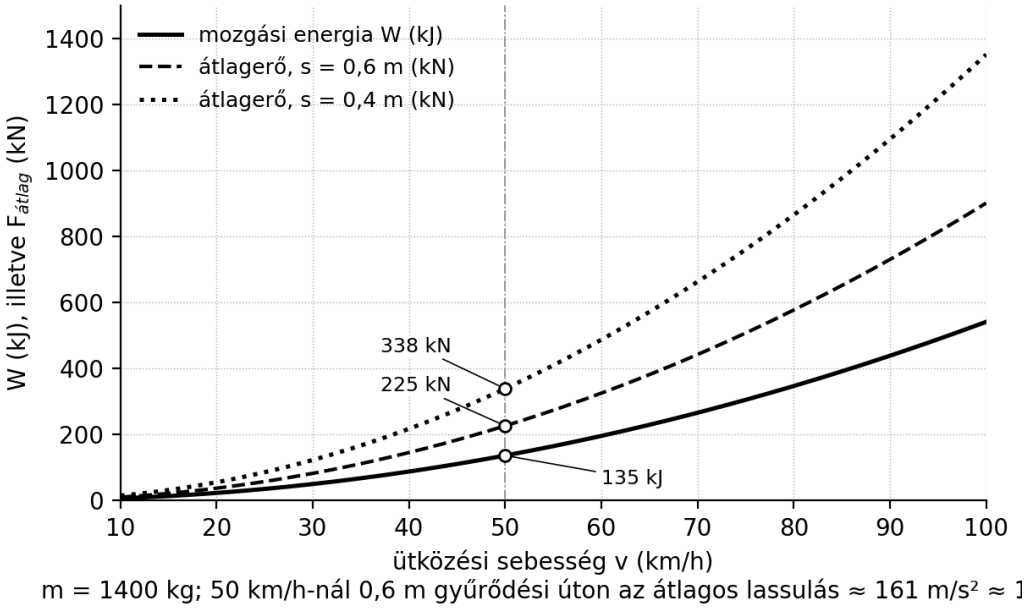
$$W = \frac{1}{2}\, m\, v^2,$$

ahol m a jármű tömege, v az ütközési sebesség. Ezt az energiát a szerkezet alakváltozása emészti fel. A gyűrődési zóna kialakításánál az a cél, hogy a deformáció útja minél hosszabb legyen, miközben a lassulás a vezetőfülke irányában ne lépjen túl egy emberre még elviselhető értéket. Minél hosszabb a deformációs út, annál kisebb átlagos erő jut az utascellára.

Példa. Ha egy $m = 1400\,\mathrm{kg}$ tömegű autó $v = 50\,\mathrm{km/h}$ sebességgel ér el egy fix akadályt, akkor a sebességet átváltva $v = 50/3{,}6 = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$. A mozgási energia:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1400 \cdot 13{,}9^2 \approx 135\,000\,\mathrm{J} = 135\,\mathrm{kJ}.$$

Ha az elülső gyűrődési zóna 0,6 métert deformálódik, és átlagos fékezőerővel számolunk, az átlagos erő $F_{\mathrm{atlag}} = W/s = 135\,000/0{,}6 = 225\,000\,\mathrm{N} = 225\,\mathrm{kN}$. Egyenletes lassulást feltételezve a jármű átlagos lassulása $a = v^2/(2s) = 13{,}9^2/(2 \cdot 0{,}6) \approx 161\,\mathrm{m/s^2}$, ami kb. 16-szorosa a nehézségi gyorsulásnak ($\approx$ 16 g). Ez a személyre ható lassulást a belső légzsák és övrendszer külön módosítja; a merev utascellával a túlélési tér megmarad. Az értékek tanulási példák; a pontos gyűrődési hosszt a gyártói szerkezet és a töréstesztadja meg (ellenőrizendő: a jármű gyártói adata).



24.12. ábra. Az ütközési energia és az átlagerő a sebesség függvényében, 1400 kg-os járműre, 0,4 m és 0,6 m gyűrődési úttal

A görbéken látszik, hogy kétszeres sebességnél az energia négyszeres, és ugyanannyi energiát rövidebb (0,4 m) gyűrődési úton nagyobb átlagerő nyel el (50 km/h-nál 338 kN a 225 kN helyett). A HTML-kiadás kalkulátorában a tömeg, a sebesség és a gyűrődési út változtatható; kijelzi az energiát, az átlagerőt és az átlagos lassulást.

24.4.7. Karosszériajavítás határai

A sérült karosszéria javításánál az autószerelőnek először el kell döntenie, hogy a munka a gépműhely, a karosszérialakatos vagy a márkaszerviz hatáskörébe tartozik-e. Az általános szerelő feladata a műszaki állapot felmérése, a korróziós állapot és a biztonsági rendszerek ellenőrzése, nem pedig a teherviselő elem önálló hegesztése vagy egyengetése.

A gyártói javítási utasítások gyakran előírják:

- a sérült elemet szakaszosan, a ponthegesztéseknél előírt illesztéssel kell kicserélni;
- a préskeményített (ultranagy szilárdságú) acéloknál bizonyos zónákban a hegesztés és a melegítés tilos, mert a hő a szilárdságot lerontja (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás);
- a javításnál csak a gyártó által elfogadott kötéstechnológiát és csereszerszámot szabad használni;
- a légzsák kioldott egységét, az övfeszítőt és a biztonsági rendszer érintett elemeit a gyártói előírás szerint kell cserélni.

Tilos. A biztonsági rendszerek (légzsák, övfeszítő, ABS/ESP, HV-rendszer) kiiktatása, illetve a sérült utascella-elemek gyári adatoktól eltérő javítása. A gépjárművet az időszakos műszaki vizsgán elutasítják, ha a teherviselő elemek javítása szakszerűtlen.

24.4.8. Korrózióvédelem

Az önhordó karosszéria javítása után a gyárival azonos minőségű korrózióvédelmet kell helyreállítani. Az üregekben és a meleg hatásnak kitett lemezéleknél a védőréteg leggyakrabban sérül. A javításnál jellemző lépések:

1. a felület csupasz fémig tisztítása, zsírtalanítása;
2. foszfátozás vagy átalakítószer a rozsdamaradványok semlegesítésére;
3. hegesztési varratvédő, alapozó és fedőlakkozás;
4. üregvédő viasz vagy alvázvédő felvitele a zárt terek belsejébe;
5. az alvázvédő réteg sérüléseinek pótlása.

Környezetvédelem. A karosszériajavítás során keletkező csiszolási por, festék, hígító, üregvédő anyag és régi lemez darab veszélyes hulladék lehet. Az anyagok biztonsági adatlapja alapján kell gyűjteni, tárolni és elszállíttatni (ellenőrizendő: a hatályos hulladékjogi előírás). A festék- és korrózióvédő anyagok oldószertartalma miatt megfelelő szellőzés és légzésvédelem szükséges.

24.4.9. Minőségellenőrzés

A karosszéria ellenőrzésekor az autószerelő az alábbiakat vizsgálja:

- a teherviselő elemek korróziós állapotát, különösen a küszöb, a hossztartó és a padlólemez pontjain;
- a homlokíven, a tetőcsatlakozáson és a nyitható elemek zsanérjain a repedéseket;
- a lengéscsillapító tornyok, a futómű bekötési pontok deformációit és rozsdásodását;
- a biztonsági öv és a légzsák szerelését, a kábelezés és a csatlakozók sértetlenségét;
- a repedések, átfúrások, illetve a szakszerűtlen hegesztési nyomok jelenlétét.

A geometriai eltérést az ütközés utáni javításkor karosszéria-mérőpadon, a gyártói referenciapontok alapján kell ellenőrizni. A mérődiagram pontjainak eltérése megmutatja, hogy a futómű bekötési pontokra és az utascella kritikus pontjaira a karosszéria visszaállítható-e. Az egyes pontok mérési hibáit a gyártói adatok jelölik (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

24.4.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél az éves szervizre hozza a tízéves alsó-középkategóriás autóját. Az átvizsgálás során a szerelő a bal oldali elülső hossztartón, a motortartó bak mögött korrodált csatlakozást talál. A fék- és futómű-alkatrészek jó állapotúak, de a hossztartó kritikus csatlakozása a futómű-bekötési pont közelében okozhat merevségvesztést. A szerelő a gyártói rajz és a korróziós zóna alapján megállapítja, hogy a sérülés a teherviselő elemben van; a javítás karosszérialakatos feladat, mert a hossztartó cseréjéhez a gyártói ragasztási és ponthegesztési eljárás szükséges. Az ügyfélnek elmagyarázza, hogy a műszaki vizsga előtt ezt kötelező javítani, mert ellenkező esetben a járművet elutasítják. A javítás után a mérési jegyzőkönyv igazolja a geometriai pontok gyártói tűrésen belüli helyzetét.

24.4.11. Gyakorlati útmutató – Karosszéria átvizsgálása

Cél. A jármű teherviselő szerkezete és biztonsági rendszereinek szemrevételezéses ellenőrzése ügyfélpanasz vagy műszaki vizsgára felkészítés előtt.

Jármű- és adatazonosítás. Rögzítsd az alvázszámot, motorszámot, kilométeróra-állást, a jármű típusát, évjáratát és a gyártói javítási adatbázisra vonatkozó hivatkozást.

Szükséges eszközök. Emelő, bakok, lámpa, tükör, kalapács a korróziós kopogtatáshoz (gyári lemeznél csak óvatos üregellenőrzés), mérőszalag, tolómérő, fényképfelvétel, munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Jármű alá csak mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn, vagy bakra támasztva szabad bemenni.

Munkalépések.

1. A járművet emelőre állítod, rögzíted, a bakokat a gyártói emelési pontokon elhelyezed.
2. Esőcsatornáknál, küszöböknél, padlólemeznél, hossztartóknál szemrevételezéssel ellenőrzöd a rozsdásodást, repedést, deformációt.
3. A védőanyaggal fedett felületeken óvatosan, a gyártói lemezvastagságot nem károsítva ellenőrzöd az anyagréteg elválását.
4. A biztonsági öv teljes hosszon kihúzható és visszaugrik, a csatja reteszel; a légzsák jelzések épek.
5. A futómű bekötési pontok környékén a hajlítási vonalak és a ponthegesztések szakadásmentesek.
6. A megfigyelést fényképpel és munkalappal dokumentálod; kritikus sérülést a műhelyvezetőnek vagy a gyártói eljárás szerint a karosszérialakatosnak jelzed.

Tipikus hibák.

- A vizsgálatnál a fény hiánya és a gyors, csak a külső lemezekre koncentráló ellenőrzés.
- A korróziós hibát csak kívülről nézik, nem az üregek belsejében és a csatlakozó éleknél.
- A sérült teherviselő elemet azzal az indokkal hagyják figyelmen kívül, hogy „még bírja”.

Dokumentálás. A munkalapon szerepeljen az alvázszám, a vizsgálat időpontja, a talált eltérések, a javítási javaslat és a műszaki vizsga szempontjából releváns megjegyzés.

24.4.12. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő az alváz és a létraalváz kifejezést szinonimaként használja, pedig az önhordó karosszéria is alvázként funkcionál. Helyes gyakorlat: az alváz a teherviselő váza a járműnek, függetlenül attól, hogy külön keret vagy önhordó lemezszerkezet.

Hiba. A gyűrődési zónát bármilyen acélból hegesztett megerősítéssel javítják, mert a látszólag erősebb elem biztonságosabbnak tűnik. Valójában a merevítés elviheti az energiaelnyelés tervezett helyét, és az utascellát terhelheti túl.

Hiba. A korróziót csak az üreg külső élén javítják, a belső felületet nem védik. A varrat melletti korrózió gyorsan továbbterjed, és a javítás utáni állapot rosszabb, mint a gyári.

24.4.13. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a létraalváz és az önhordó karosszéria között?
2. A gyűrődési zóna elé kerülő megerősítő hegesztés miért veszélyes?
3. Mi a különbség az aktív és a passzív biztonság között?
4. Sorolj fel három aktív biztonsági rendszert!
5. Mit ellenőrzöl először egy használt autó korrózióvizsgálatánál?

24.4.14. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld az önhordó karosszériát és a gyűrődési zónát!

2. feladat (A). Számítsd ki az energiaelnyelési példában szereplő erőt, ha a gyűrődési hossz 0,4 m!

3. feladat (B). Egy jármű teherviselő eleme korrodált. Melyik vizsgálati lépés hiányzott, ha a hiba a műszaki vizsga elutasításához vezetett?

4. feladat (B). Hasonlítsd össze a létraalváz és az önhordó karosszéria javítási lehetőségeit a biztonsági zónák szempontjából!

5. feladat (C). A karosszéria-javítás során az egyik műhely dolgozója a sérült B-oszlopot nagy szilárdságú acéllemezzel, de a gyártói hegesztési tervtől eltérően javította. Mi lehet a következmény?

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza: a jármű kormányzása kanyarban bizonytalan, a gumiabroncsok egyenletesen kopnak, de a futómű-alkatrészek jók. Milyen megfigyelés és mérés után döntöd el, hogy a karosszéria geometriája a hibás?

24.4.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. A létraalváz különálló keret, amelyre a felépítmény szerelhető; az önhordó karosszéria maga a teherviselő szerkezet, különálló keret nincs.
2. A megerősítés eltolja az energiaelnyelés helyét, és az utascella terhelését növeli, a tervezett gyűrődési zóna kiesik.
3. Az aktív biztonság a baleset megelőzésére, a passzív biztonság a baleseti sérülés csökkentésére irányul.
4. Például ABS, ESP, fényszóró, szervokormány, gumiabroncs, fék.
5. A teherviselő elemeket: hossztartók, küszöb, padlólemez, B-oszlop, ahol a korrózió a merevséget veszélyezteti.

1. feladat. Az önhordó karosszéria a jármű összes terhelését viselő lemez- és profil szerkezet, amelynél nincs különálló alvázkeret. A gyűrődési zóna a jármű elején és hátulján kialakított, energiát elnyelő, deformálódó szerkezet, amely az ütközési energiát alakváltozással csökkenti, hogy az utascella lassulása túlélhető maradjon.

2. feladat. $m = 1400\,\text{kg}$, $v = 13{,}9\,\text{m/s}$, $s = 0{,}4\,\text{m}$. A mozgási energia $W = 135\,000\,\text{J}$. Az átlagos erő $F_{\text{átlag}} = W/s = 135\,000/0{,}4 = 337\,500\,\text{N} \approx 338\,\text{kN}$. Az eredmény azt mutatja, hogy rövidebb gyűrődési hossznál nagyobb átlagos erő jut az utascellára. (Az értékek tanulási példák.)

3. feladat. Hiányzott a jármű alá bemenés és a kritikus teherviselő elemek, különösen az üregek belsejének rendszeres vizsgálata. A külső lemez nézése nem elég; a hossztartó belső korrózióját a gyártói ellenőrzési pontok szerint, üregvédő eltávolítása nélkül is gyanús folt jelezte.

4. feladat. A létraalvázas járműnél a keret önállóan ellenőrizhető és javítható, a felépítmény cseréje egyszerűbb. Az önhordó karosszéria javításánál a biztonsági zóna határait a gyártó pontosan meghatározza; a gyűrődési zóna elemeit nem szabad merevíteni, az utascella elemei csak előírt módon javíthatók. A létraalváz előnye a moduláris javíthatóság, de tömeg és merevség szempontjából hátrányos.

5. feladat. A B-oszlop az utascella kulcseleme, a gyártói hőkezelési és hegesztési tervtől eltérő javítás a nagyszilárdságú acélban lágy zónát, repedést és csökkent szilárdságot okozhat. Oldalütközésnél az oszlop nem nyújt elegendő túlélést, a jármű a töréstesztek sem felelne meg. A hibát „szakszerűtlen javítás” gyakorlatként mutatjuk be; a helyes eljárás a gyártói adatot követő, dokumentált karosszérialakatos javítás.

6. feladat. Először a futómű-alkatrészek és a kerékbeállítás ellenőrzése. Ha a futómű jó, megméred a karosszéria geometriai pontjait a gyártói mérődiagram szerint: az oldalsó hossztartókat, a csomagtartó alatti padlót, a futómű-bekötési pontokat. Ha a referenciapontok eltérést mutatnak, akkor a karosszéria torzult, ezért a járművet karosszéria-mérőpadon kell tovább vizsgálni és javítani.

24.4.16. Rövid összefoglaló

Az alváz a jármű teherviselő váza, amely lehet különálló létraalváz vagy önhordó karosszéria. A létraalvázat főleg terepjárókon és haszonjárműveken használjuk, az önhordó építésmód pedig a személyautók jellemzője. A modern önhordó karosszéria anyagkeverékkel készül: a lágyacél a gyűrődő zónáké, a nagyszilárdságú acél és az alumínium az utascella merevségéé. Az aktív biztonság a baleset megelőzésére szolgál (menet-, kondíciós, észlelési és kezelési biztonság); a passzív biztonság a baleset következményeit enyhíti (gyűrődési zóna, utascella, légzsák, öv). A gyűrődési zóna az ütközési energiát programozott alakváltozással nyeli el, a merev utascella a túlélő teret védi. A javításnál a gyártói utasítás elsőbbsége érvényes; a teherviselő elemek hegesztése, a biztonsági rendszerek és a korrózióvédelem mindig szigorú eljárás szerint történik. **Továbbvitt eredmény.** Az aktív és passzív biztonsági zónák felosztását a vezetőtámogató rendszereknél és a vizsgafelkészülésnél használjuk.

24.4.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB járműbiztonsági előírások; európai uniós típusjóváhagyási rendeletek; Euro NCAP töréstesztprotokoll; a gyártói javítási utasítások és mérődiagramok; autóipari anyagismereti szakkönyvek.
Ellenőrizendő állítások: az ütközésbiztonsági és gyalogosvédelmi előírások konkrét számai, az Euro NCAP aktuális protokollverziója és értékelési rendszere, a karosszéria-mérőpad pontjaira vonatkozó gyártói tűrések, valamint a hegesztési és korrózióvédelmi eljárások gyártói feltételei. Az energia- és erőpélda tanulási példa, nem egy konkrét jármű mérési eredménye.

25 Kormányzás

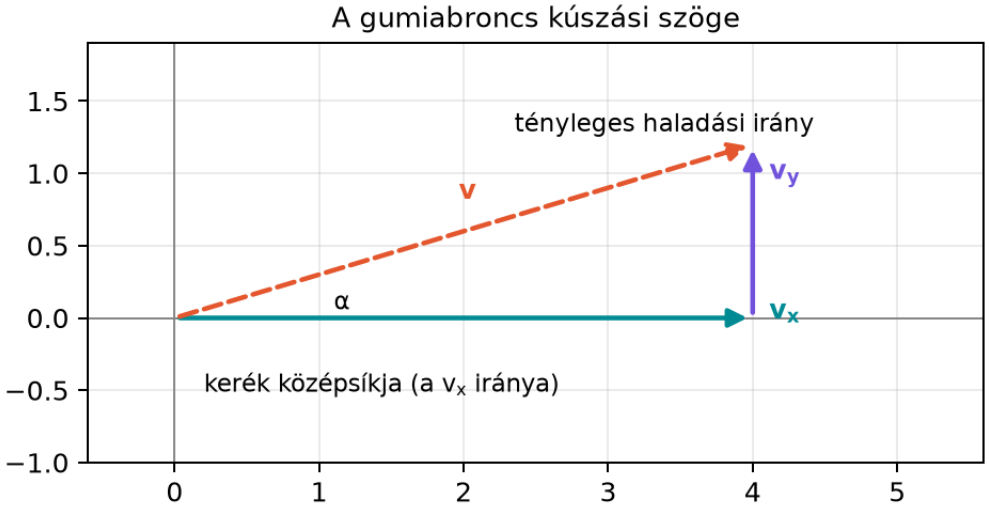
25.1. Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők

25.1.1. Motiváció

Egy autószerelő gyakran találkozik olyan panasszal, hogy a jármű húz valamelyik oldalra, a kormány ferdén áll egyenes menetben, vagy az első gumiabroncsok belső vagy külső éle egyenetlenül kopik. A tulajdonos általában a gumiabroncsot hibáztatja, pedig a panaszok többsége a kormánygeometria és a kerékbeállítás hibájára vezethető vissza. Ha a szerelő ilyenkor csak kicseréli az abroncsot anélkül, hogy megmérné a kerékdőlést, az utánfutást vagy a kerékösszetartást, a hiba rövid időn belül újra megjelenik, és a jármű vezethetősége is romlik. A kormánygeometria pontos ismerete ahhoz is kell, hogy a kormánymű szerelése után vagy futóműalkatrész cseréjekor a beállítást szakszerűen elvégezzük, és ne rontsuk el a jármű önbeálló tulajdonságait.

25.1.2. Szemléletes kép

Amikor egy gumiabroncs kanyarban oldalirányú erőt ad át, a gumi futófelülete a deformáció miatt nem pontosan a kerék középsíkjának irányában halad: a kerék középsíkja és a tényleges haladási irány egy kis szöget zár be. Ezt a szöget kúszási szögnek nevezzük, és a gumiból származó oldalvezetési erő éppen e szög következménye.



25.1. ábra. A gumiabroncs kúszási szöge - Szemléltető vektorábra: a kerék középsíkja mentén mért gördülési sebesség és az oldalirányú csúszás összege adja a tényleges haladási irányt. A kerék középsíkja (vízszintes) és a v eredő által bezárt szög az α kúszási szög; a tengelybeosztás csak arányokat mutat.

Az ábrán a vízszintes v_x vektor a kerék középsíkjával párhuzamos gördülési sebesség, a függőleges v_y az abroncs oldalirányú csúszásából adódó sebességösszetevő, a szaggatott vonallal rajzolt v pedig a kettő eredője, vagyis a tényleges haladási irány. A kerék középsíkja és a v eredő közötti szög a kúszási szög. A kúszási szög tehát nem egyszerűen „csúszást” jelent, hanem a gumiabroncs rugalmas deformációjának mérőszáma.

25.1.3. Definíció és összefüggés

Definíció. A **kormánygeometria** a kormányzott kerekek és a kormányberendezés azon geometriai jellemzőinek összessége, amelyek meghatározzák a kerekek elmozdulását kormányzáskor, a kerékdőlést, a csapterpesztést, az utánfutást, a legördülési sugarat és a kerékösszetartást.

Definíció. A **kúszási szög** az a szög, amely a kerék középsíkja és a gumiabroncs tényleges haladási iránya között jön létre oldalirányú erő hatására. Jele α, mértékegysége fok vagy radián.

Összefüggés. A kúszási szög közelítőleg a kerék középsíkra merőleges oldalirányú sebesség és a haladási sebesség arányából számítható:

$$\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}.$$

Kis α esetén $\tan\alpha \approx \alpha$ (radiánban).

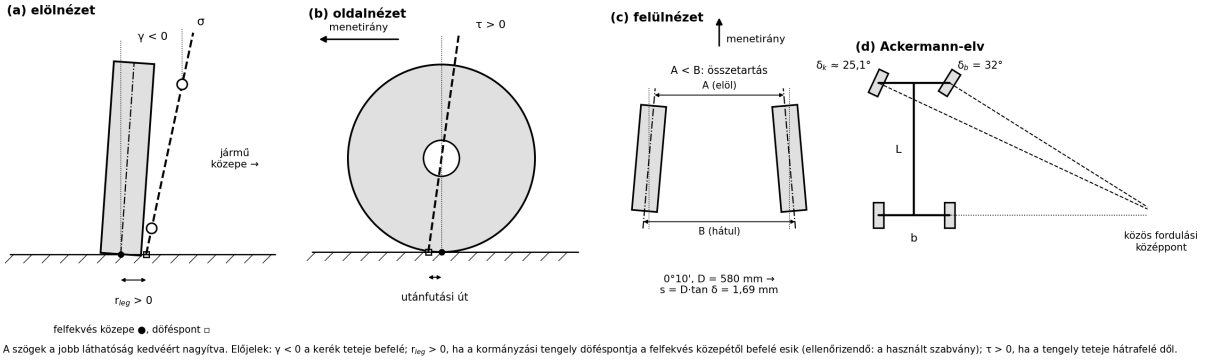
Definíció. A **kerékdőlés** (camber, műhelyi szóhasználatban „dőlés”) a kerék középsíkja és a függőleges sík közötti szög, elölnézetben. Jele γ. Ha a kerék felső része kifelé dől, pozitív, ha befelé, negatív kerékdőlésről beszélünk.

Definíció. A **csapterpesztés** (steering axis inclination, SAI) a kormányzási tengely elölnézeti, befelé irányuló dőlése a függőlegeshez képest. Jele σ. A kormányzási tengely a felső és alsó csuklóponton átmenő egyenes, amely körül a kerék kormányzáskor elfordul.

Definíció. Az **utánfutás** (caster) a kormányzási tengely hátrafelé irányuló dőlése oldalnézetben, a függőlegeshez képest. Jele τ. Ha a tengely felső pontja hátrafelé dől, az utánfutás pozitív; ha előre, negatív.

Definíció. A **legördülési sugár** (scrub radius) a kerék középsíkja és a kormányzási tengely útfelületi metszéspontja közötti oldalirányú távolság. Jele r_{leg}. Ha a metszéspont a kerékfelfekvés középpontjától befelé (a jármű középvonala felé) esik, a legördülési sugár pozitív, ha kifelé, negatív (ellenőrizendő: a használt szabvány előjelkonvenciója).

Definíció. A **kerékösszetartás** (toe-in) a kormányzott kerekek hossztengelyeinek egymáshoz viszonyított helyzete. Pozitív összetartás, ha a kerekek elülső pontjai közelebb vannak egymáshoz, mint a hátsó pontjaik; ellenkező esetben széttartásról (toe-out) beszélünk. Jele δ_{toe}.



25.2. ábra. Kerékállás-jellemzők: (a) elölnézet – kerékdőlés, csapterpesztés, legördülési sugár; (b) oldalnézet – utánfutás; (c) felülnézet – összetartás; (d) Ackermann-elv

Az ábrán a szögek nagyítva láthatók. Elölnézetben a negatív kerékdőlésű kerék teteje befelé dől, a kormányzási tengely (szaggatott) teteje szintén befelé dől (csapterpesztés); a tengely útfelületi döféspontja (□) és a felfekvés közepe (●) közötti távolság a legördülési sugár. Oldalnézetben a pozitív utánfutású tengely döféspontja a felfekvési pont előtt van. Felülnézetben összetartásnál az elülső távolság (A) kisebb a hátsónál (B). Az Ackermann-vázlaton a két kormányzott kerék tengelyvonala a hátsó tengely vonalán lévő közös fordulási középpontban metszi egymást. A HTML-kiadás kalkulátora a szögekből kiszámolja a legördülési sugarat és előjelét, az utánfutási utat, az összetartást milliméterben ($s = D\tan\delta$) és az ideális külső kerékszöget.

25.1.4. Felépítés és működés

A kormányzás feladata, hogy a vezető elfordítsa a kormányzott kerekeket, és így a jármű pályáját megváltoztassa. A járművek túlnyomó többségénél az első kerekeket kormányozzuk. A kerék a **tengelycsonk** (steering knuckle) csapágyaiban fordul el; a tengelycsonk maga a felső és alsó gömbcsuklón vagy a rugóstag felső csapágyán és az alsó gömbcsuklón keresztül csatlakozik a kerékfelfüggesztő elemhez. Ezt a két csuklópontot összekötő egyenes a **kormányzási tengely**; ez általában nem esik egybe sem a kerék középsíkjával, sem a függőlegessel. A kormánytrapéz a bal és jobb oldali tengelycsonk karját, a kormányösszekötő rudat és a kormányművet köti össze, és a két kerék eltérő szögű elfordítását hozza létre.

Ackermann-elv. Kanyarban a belső kerék kisebb sugarú köríven gurul, mint a külső, ezért a belső kereket nagyobb szögben kell elfordítani. Az ideális eset az, ha a két kormányzott kerék tengelye és a hátsó tengely egy közös pillanatnyi fordulási középpontra mutat. A kormánytrapéz ezt a feltételt közelíti. A fordulási szögkülönbségre érvényes közelítő összefüggés:

$$\frac{1}{\tan\delta_{\mathrm{k}}} - \frac{1}{\tan\delta_{\mathrm{b}}} = \frac{b}{L},$$

ahol δ_{b} a belső, δ_{k} a külső kerék kormányzási szöge, b a kormányzási tengelyek oldaltávolsága, L pedig a tengelytáv. A kormánytrapéz geometriája a gyakorlatban úgy lett kialakítva, hogy a kis és közepes kormányzási szögeknél jól közelítse ezt az összefüggést.

Kerékdőlés. A kerékdőlés hatása kettős. Kanyarban a karosszéria oldalirányban megdől, ami a külső kerék dőlésszögét pozitív irányba változtatná; ezért a járműveknél gyakran kis negatív kerékdőlést alkalmaznak, hogy kanyarban a külső kerék közel függőlegesen álljon, és a gumiabroncs teljes felülete érintkezzen az úttal. Ugyanakkor a kerékdőlés a gumiabroncs belső vagy külső élén fokozott kopást okoz, ha az érték túl nagy, vagy ha a két kerék között nagy a különbség.

Csapterpesztés. A kormányzási tengely befelé dőlése a kerék elfordításakor emeli a jármű elejét, mert a kerékpánt középpontja a kormányzási tengely körül kis íven mozog. Ez az emelés a jármű súlyerejének visszatérítő nyomatékát hozza létre, ezért a kormány a kanyarból elengedve magától visszaáll egyenesbe. A csapterpesztés egyúttal csökkenti a pozitív legördülési sugarat, ami a fékezési és hajtási erők kormányra gyakorolt hatását mérsékli.

Utánfutás. A pozitív utánfutás a kormányzási tengely útfelületi metszéspontját a kerék felfekvési pontja elé helyezi. Ez az oldalerővel arányos önbeálló nyomatékot hoz létre, és javítja az egyenesfutást. Ha az utánfutás túl kicsi, a kormány „súlytalan”, és a jármű iránytartása romlik; ha túl nagy, a kormányzás nehézzé válik, és a kerék felfekvési pontján nagyobb dinamikus erők ébredhetnek. A jármű a pozitívabb dőlésű és a kisebb utánfutású kerék oldala felé húz (ellenőrizendő).

Legördülési sugár. A legördülési sugár a fékezési, hajtási és útsebesség-különbségből származó erők kormányrudazatra gyakorolt nyomatékát határozza meg. A nullához közeli legördülési sugár kevésbé érzékeny a féloldalas fékerő-különbségre; a negatív legördülési sugár fékezéskor befelé fordítja a kormányt, ami a járművet egyenesben tartja. A legördülési sugár a kerékdőlés, a csapterpesztés és a felnieltolás együttes eredménye.

Kerékösszetartás. A pozitív összetartás kompenzálja a gumiabroncs és a kormányrudazat rugalmas deformációját, ezért egyenes haladáskor a kerekek ténylegesen párhuzamosan, közelítőleg nulla kúszási szöggel gurulnak. A széttartás a járművet idegesen irányíthatóvá teszi, és a belső gumiéleken fűrészfogas kopást okoz. A pontos értéket a gyártó a kerékbeállítási adatlapon adja meg; a mérőszámot fokban vagy a kerékpánt peremén mért milliméterben szokták megadni.

Kúszási szög és alul-/túlkormányzottság. Kanyarban a gumiabroncsok oldalirányú erőt csak kúszási szög kialakulásával tudnak átvinni. Ha az első kerekek átlagos kúszási szöge nagyobb, mint a hátsóké, a jármű eleje jobban csúszik kifelé, mint a far: ez az **alulkormányzottság** (understeer). Ha a hátsó kúszási szög a nagyobb, a jármű far a kanyar külső oldala felé tör ki: ez a **túlkormányzottság** (oversteer). A kúszási szögek viszonyát a futómű geometriája, a gumiabroncs merevsége, a terheléseloszlás és a hajtás is befolyásolja. A menetstabilizáló rendszerek éppen ezt a viszonyt figyelik és korrigálják, ahogyan a(z) Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség alfejezetben láttuk.

25.1.5. Kidolgozott példák

Számítás. Az elsőkerék-összetartást gyakran szögpercben adják meg. Számítsuk át az egy kerékre vonatkozó $\delta_{\text{toe}} = 0^\circ 10'$ értéket milliméterre, ha a kerékpánt mérőperemének átmérője $D = 580\,\text{mm}$.
1. A szöget fokba váltjuk: $10' = \frac{10}{60}^\circ = 0{,}1667^\circ$.
2. Kis szög esetén a lineáris elmozdulás: $s = D \cdot \tan\delta$.
3. Behelyettesítés: $s = 580\,\text{mm} \cdot \tan 0{,}1667^\circ = 580 \cdot 0{,}00291 \approx 1{,}69\,\text{mm}$.
4. Szimmetrikus beállításnál a teljes, bal és jobb kerékre összeadott érték megközelítőleg $2 \cdot 1{,}69 = 3{,}38\,\text{mm}$.
5. Ellenőrzés: a kapott érték a tipikus személyautó-összetartások tartományába esik (ellenőrizendő: gyártói adat).

Számítás. A futóműbemérő műhelyben 2,4 mm teljes összetartást mutat két kerékre, a kerékpánt átmérője $D = 590\,\text{mm}$. Mekkora ez fokban és szögpercben?
1. A teljes lineáris értékből az egy kerékre jutó érték: $s_{\text{kerék}} = \frac{2{,}4}{2} = 1{,}2\,\text{mm}$.
2. A szög: $\tan\delta = \frac{s_{\text{kerék}}}{D} = \frac{1{,}2}{590} = 0{,}00203$.
3. Ebből $\delta = \arctan 0{,}00203 = 0{,}116^\circ$.
4. Szögpercben: $0{,}116^\circ \cdot 60 = 6{,}96' \approx 7'$.

5. Ellenőrzés: az eredmény nagyságrendje megfelel a szokásos beállítási tartománynak, de a pontos előírt értéket a gyártói adat határozza meg.

25.1.6. Előírás

Előírás. A kerékbeállítási szögeket mindig a gyártó javítási utasítása szerint, a megadott tűréssel és mérési feltételekkel (üres tömeg, előírt gumiabroncsnyomás, üzemanyagszint, kormány középállás) kell beállítani. Az itt megadott számértékek tanulási példák (ellenőrizendő: az adott jármű gyártói beállítási adata és a vonatkozó műszaki előírás). A futóműbeállítás megkezdése előtt a kormányrudazatot, a gömbcsuklókat, a lengőkar-szilenteket és a kormánymű holtjátékát ellenőrizni kell; kopott alkatrészekkel a beállítás nem végezhető el.

25.1.7. Minőségellenőrzés

A kerékbeállítás ellenőrzésére **futóműbemérő** állványt használnak. A korszerű berendezés háromdimenziós kamerás vagy CCD-érzékelős célzótárcsákkal méri a kerékdőlést, az utánfutást, a csapterpesztést, a kormányzási szögkülönbséget és az összetartást. A mérés előtt a járművet sík felületen kell elhelyezni, a gumiabroncsok nyomását a gyártói értékre kell állítani, és a járművet a gyártó által előírt terhelési állapotba kell hozni. A kormányt középállásba kell fordítani, majd a mérőrendszer kalibrálása után a kerék elfordításával a csapterpesztési tengely geometriáját is meghatározza.

Ellenőrzőlista egy futóműbemérés előtt:

1. Gumiabroncsnyomás ellenőrzése.

2. A jármű terhelési állapota (üres, félterhelés vagy teljes terhelés) a gyártói utasítás szerint.

3. A futómű holtjátékának vizsgálata: gömbcsuklók, szilentek, kerékcsapágy.

4. A kormánymű és a kormányrudazat ellenőrzése.

5. A kormány középállásának beállítása.

6. A mérés jegyzőkönyvben rögzítése.

7. Beállítás után próbaút és ismételt ellenőrzés.

25.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél hároméves alsó-középkategóriás személygépkocsival érkezik, mert a jármű egyenes haladásnál jobbra húz, és a jobb első abroncs belső éle erősen kopott. A kormány egyenes állásban szinte vízszintes, de az autó folyamatosan jobbra tart. A szervizben először a gumiabroncsokat ellenőrzik, majd futóműbemérést végeznek. A mérési jegyzőkönyv szerint a bal első kerék dőlése $-0{,}2^\circ$, a jobb első kerék dőlése $-1{,}9^\circ$ (a gyártói tűrés például $-0{,}5^\circ \pm 0{,}5^\circ$ – ellenőrizendő); az utánfutás a bal oldalon $4{,}1^\circ$, a jobb oldalon $2{,}6^\circ$. A szakember megállapítja, hogy a jobbra húzást főként az utánfutás-különbség okozza (a jobb oldal 1,5°-kal kisebb utánfutású), a jobb kerék túl negatív dőlése pedig a belső élkopás oka (a dőlésküönbség önmagában ellenkező irányba, balra hatna). A futóművön az állító excentercsavarokkal a dőlést és az utánfutást beállítják, ha a konstrukció lehetővé teszi. Amennyiben az értékek nem állíthatók, a kerékfelfüggesztő elem

(például egy hajlott lengőkar vagy ütközés miatt deformálódott rugóstag) cseréje szükséges. A javítás után ismételt bemérés, próbaút és a gumikopás későbbi ellenőrzése következik.

A tanuló számára itt a legfontosabb tanulság az, hogy a húzás nem önmagában gumiabroncs-probléma, hanem a kerékbeállítási jellemzők oldalankénti különbsége.

25.1.9. Tipikus hibák

1. **Hibás átszámítás a milliméterben megadott összetartásnál.** A tanuló a kerékpánt átmérő helyett a gumiabroncs külső átmérőjét használja, vagy elfelejti, hogy a lineáris érték a mérőperem átmérőjétől függ. Helyes: a mérési pont átmérőjét kell használni, és a szöget radiánba vagy fokba pontosan átváltani.
2. **A kormány ferde állása miatt a futóműbemérést nem központi helyzetben végzik.** Ha a kormány nem pontos középállásban áll a méréskor, a mért összetartás és a kormányzási szögkülönbség hamis lesz. Helyes: a kormányt a gyártó által megadott helyzetbe kell állítani.
3. **A hibás beállítást csak a kormányösszekötő rúd egyik oldalán korrigálják.** Ez a kormány ferde állásához és aszimmetrikus kormányzási szögekhez vezet. Helyes: a beállítást a gyártói utasítás szerint, szimmetrikusan vagy a kormány középállását megtartva kell végezni.
4. **A kerékdőlést úgy magyarázzák, mint a kerék függőlegestől való eltérését, de nem veszik figyelembe a csapterpesztést.** A kettőt elölnézetben együtt, de külön kell értelmezni; a kerékdőlés a kerék középsíkjára, a csapterpesztés a kormányzási tengelyre vonatkozik.
5. **A beállítási jellemzőket szigetelten szemlélik.** Például a kerékösszetartást beállítják anélkül, hogy a kerékdőlést vagy az utánfutást ellenőrizték volna, holott azok hibája ugyanúgy húzást és gumiabroncskopást okoz.

25.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a pozitív kerékösszetartás azt jelenti, hogy a kerekek elülső pontjai távolabb vannak egymástól, mint a hátsó pontjaik? Indokolj.

2. Melyik kerékbeállítási jellemző helyezi a kormányzási tengely útfelületi metszéspontját a kerék felfekvési pontja elé, és milyen hatása van?

3. Egy gumiabroncs kúszási szöge 1,2°. Számítsa át radiánba, és közelítőleg adja meg az oldalirányú sebesség arányát, ha a haladási sebesség $v_x = 20\,\mathrm{m/s}$.

4. Milyen tünetre utal, ha a jobb első kerék dőlése $-1{,}8°$, a bal első kerék dőlése $-0{,}2°$?

5. Miért kell a futóműbemérés előtt a gumiabroncsnyomást ellenőrizni?

25.1.11. Feladatok

1. feladat (A) Definiálja a kerékdőlést, a csapterpesztést és az utánfutást saját szavaival, és adja meg, melyik síkban értelmezzük őket.

2. feladat (A) Egy kerék összetartási szöge egy elsőkerékre vonatkoztatva $0^\circ 12'$, a mérőperem átmérője $D = 580\,\text{mm}$. Számítsa ki az egy kerékre jutó lineáris összetartást milliméterben.

3. feladat (B) A futóműbemérő 2,8 mm teljes összetartást mutat két kerékre, a mérőperem átmérője $D = 590\,\text{mm}$. Számítsa ki az egy kerékre jutó összetartási szöget fokban és szögpercben.

4. feladat (B) Rajzolja le vagy írja le a kormánytrapéz elvi vázlatát, és magyarázza el, miért fordul a belső kerék kanyarban nagyobb szögben, mint a külső. Melyik geometriai elv írja le ezt?

5. feladat (C) Egy személygépkocsi kanyarban alulkormányzottan viselkedik. Az első kerekek átlagos kúszási szöge $5{,}5^\circ$, a hátsóké $3{,}5^\circ$. Számítsa ki a kúszási szögek különbségét, és magyarázza el, milyen járműreakcióra számíthat a vezető.

6. feladat (D) Ügyfél panasza: az autó balra húz, a bal első gumi külső éle erősen kopik. A mérési adatok: bal első kerékdőlés $+1{,}6^\circ$ (gyártói tűrés $0^\circ \pm 0{,}5^\circ$ – ellenőrizendő), jobb első kerékdőlés $-0{,}1^\circ$, utánfutás mindkét oldalon $3{,}8^\circ \pm 0{,}2^\circ$. Az összetartás $0^\circ 8'$ mindkét keréken. Milyen hibát valószínűsíthet, és milyen javítást javasol?

25.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Pozitív kerékösszetartásnál a kerekek elülső pontjai közelebb vannak egymáshoz, mint a hátsó pontjaik.

2. Az utánfutás. A pozitív utánfutás önbeálló nyomatékot hoz létre, javítja az egyenesfutást és a kormány visszatérését.

3. $1{,}2^\circ$ átváltása: $1{,}2 \cdot \frac{\pi}{180} = 0{,}0209\,\text{rad}$. Az arány: $\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$, ezért $v_y = v_x \cdot \tan\alpha = 20 \cdot \tan 0{,}0209 \approx 0{,}42\,\text{m/s}$.

4. A jobb első kerék a tűrésnél negatívabb: a jobb abroncs belső éle kopik; a dőléskülönbség önmagában a pozitívabb (bal) oldal felé húzná a járművet – a húzás irányát a többi jellemzővel (utánfutás, összetartás, abroncs) együtt kell értékelni.

5. A gumiabroncsnyomás befolyásolja a gumiabroncs rugómerevségét, a futófelület érintkezését és a kerékbeállítási mérés geometriáját; hibás nyomás téves mérési eredményt ad.

1. feladat megoldása
- Kerékdőlés: a kerék középsíkja és a függőleges sík közötti szög elölnézetben.
- Csapterpesztés: a kormányzási tengely elölnézeti, befelé dőlése a függőlegeshez képest.
- Utánfutás: a kormányzási tengely oldalnézeti, hátrafelé dőlése a függőlegeshez képest.

2. feladat megoldása
Adott: $D = 580\,\text{mm}$, $\delta = 0^\circ 12'$.
Fok: $12' = 0{,}2^\circ$, tehát $\delta = 0{,}2^\circ$.
Képlet: $s = D \cdot \tan\delta$.

Számítás: $\tan 0{,}2^\circ = 0{,}00349$, így $s = 580 \cdot 0{,}00349 = 2{,}02\,\text{mm}$.
Válasz: körülbelül 2,0 mm egy kerékre, szimmetrikusan a teljes összetartás kb. 4,0 mm.

3. feladat megoldása
Adott: teljes 2,8 mm, $D = 590\,\text{mm}$.
Egy kerékre: $s = 1{,}4\,\text{mm} = 0{,}0014\,\text{m}$.
$\tan\delta = \frac{0{,}0014}{0{,}59} = 0{,}00237$.
$\delta = \arctan 0{,}00237 = 0{,}136^\circ$.
Szögperc: $0{,}136 \cdot 60 = 8{,}2' \approx 8'$.
Válasz: az egy kerékre vonatkozó szög körülbelül $0^\circ 8'$.

4. feladat megoldása
A kormánytrapéz vázlata két lengőkarral (a tengelycsonk kormánykarjai) és a közös nyomtávrúddal. A tengelycsonk karok a jármű középvonala felé mutatnak, ezért a nyomtávrúd oldalirányú elmozdulásakor a belső kerék karja nagyobb szögben fordul, mint a külsőé. Ezt az **Ackermann-elv** írja le: a két kormányzott kerék és a hátsó tengely egy közös pillanatnyi középpontra mutat, mert a kerekek csúszás nélkül különböző sugarú köríveken gurulnak.

5. feladat megoldása
A kúszási szögek különbsége: $\Delta\alpha = 5{,}5^\circ - 3{,}5^\circ = 2{,}0^\circ$.
Ez a vezető számára azt jelenti, hogy a kanyar felé kell növelnie a kormányszöget, mert a jármű eleje kifelé tolódik; az autó „nem veszi be a kanyart”. A jelenség az alulkormányzottság.

6. feladat megoldása
A bal első kerékdőlés $+1{,}6^\circ$, ami a gyártói tűrésből kifelé lóg, ezért a bal első abroncs külső éle erősen kopik, és a jármű balra húz. A jobb oldali érték közel középértéken van. Az utánfutás szimmetrikus. A húzás és a kopás oka a bal oldali pozitív kerékdőlés. A javítás: a bal első kerék dőlését a gyártói tűrésre kell állítani, ha az adott futómű rendelkezik dőlésállítással; ha nem, a felfüggesztő alkatrész (például a rugóstag, a csapágyház vagy a bekötési pont) sérülésére kell gyanakodni, és az alkatrészt ki kell cserélni. Beállítás után futóműbemérés és próbaút szükséges.

25.1.13. Rövid összefoglaló

A kormánygeometria a kormányzott kerekek elfordulási és beállítási jellemzőit foglalja rendszerbe. A kerékdőlés a kerék középsíkjának függőlegestől való dőlése; a csapterpesztés a kormányzási tengely elölnézeti, az utánfutás pedig az oldalnézeti dőlése. A legördülési sugár a kormányzási tengely és a kerék középsíkja útfelületi metszéspontja közötti távolság. A kerékösszetartás a kormányzott kerekek párhuzamossági hibáját adja meg; milliméterben mérve az érték függ a mérőperem átmérőjétől, átszámítása $s = D \cdot \tan\delta$. A tengelycsonk-kormányzás és a kormánytrapéz az Ackermann-elv szerint a belső kereket nagyobb szögben mozdítja el, mint a külsőt. A gumiabroncs oldalvezetését a kúszási szög jellemzi; az első és hátsó kúszási szögek viszonya adja az alul- vagy túlkormányzottságot. A hibás beállítás félrehúzást, rendellenes gumiabroncskopást és rossz kormány-visszatérést okoz. **Továbbvitt eredmény.** A kormányzási szögkülönbség, a kerékbeállítási jellemzők és a kormánytrapéz geometriája elengedhetetlen a Kormányművek és kormányrudazat alfejezetben a kormányrudazat mozgásának és a kormánymű csatlakoztatásának, valamint a Futóműbemérés alfejezetben a mérési eljárás és a beállítási értékek értelmezéséhez.

25.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A kormánygeometria és a kerékbeállítási jellemzők leírása a járműmechanika stabil műszaki alapjain nyugszik. A megadott beállítási értékek, tűrések és átszámítási példák tanulási példák. A

gyártói beállítási adatokat, a mérési feltételeket és az esetleges hatósági követelményeket az adott jármű javítási utasításából és a hatályos nemzeti/uniós előírásokból kell ellenőrizni. A kormányzási szögkülönbségre vonatkozó b/L összefüggés a kormánytrapéz idealizált geometriájából származik; a konkrét járműveknél a gyártói konstrukció ettől kissé eltérhet. A kúszási szög és az alul-/túlkormányzottság kapcsolata minőségi leírás, a pontos menetdinamikai jellemzőket a gyártói mérési adatok és a vonatkozó járműdinamikai szabványok adják meg (ellenőrizendő: gyártói futóműbeállítási adatok, mérési eljárás).

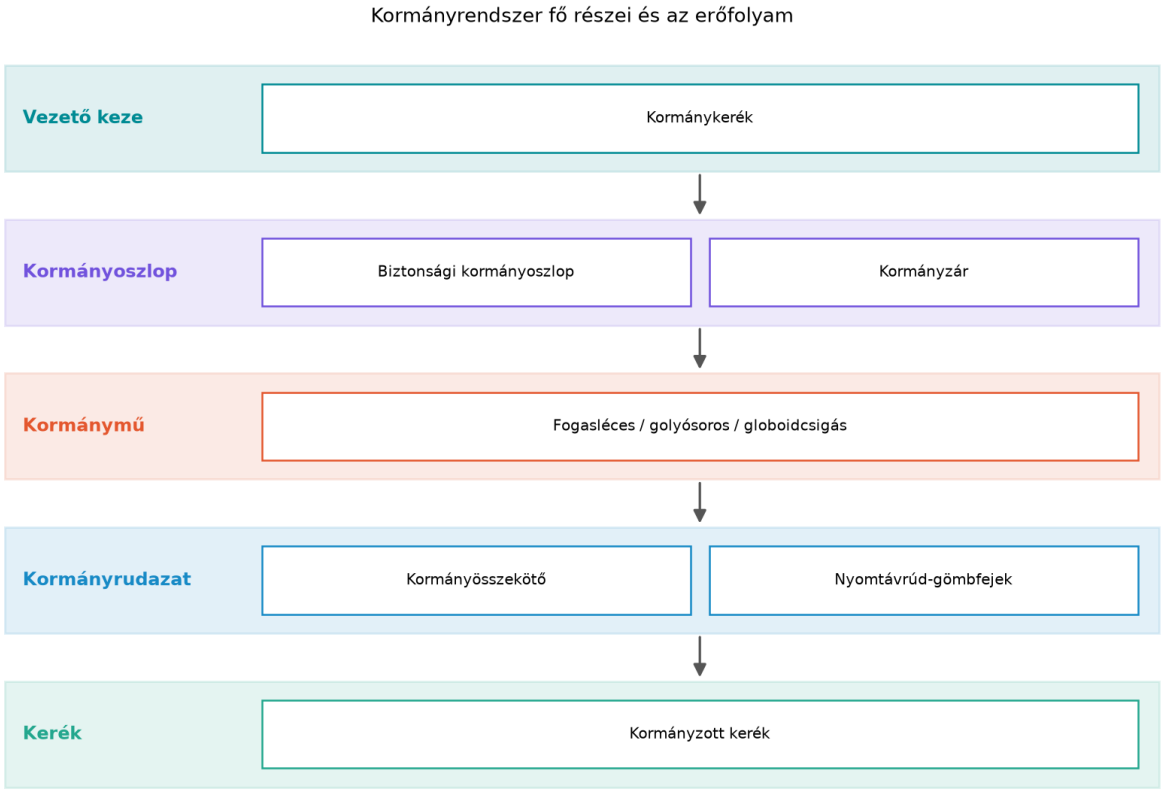
25.2. Kormányművek és kormányrudazat

25.2.1. Motiváció

A műhelyben gyakori ügyfélpanasz: „a kormány bizonytalan, kopog, a kormánykeréken van egy holtjátékszakasz, amíg a kerék nem reagál.” Ilyenkor a hibát nem a kormánykerék alatt, hanem a kormányláncban kell megkeresni. Ha vakon csak a kormánykerék rögzítését húzzuk meg, a kormányberendezés kopott gömbfeje később balesetet okozhat. Ebben az alfejezetben a kormányműfajtáit, a rudazat felépítését és a holtjáték okait tanuljuk meg úgy, hogy a karbantartáskor és a műszaki vizsga előtt célzottan tudjunk ellenőrizni.

25.2.2. Szemléletes kép

A kormányzási lánc a vezető kezétől a kormányzott kerékig halad. Először a kormánykereket fordítjuk, a mozgás a kormányoszloppal a kormányműbe jut, onnan a kormányrudazat a kerekeket téríti ki. Az alábbi vázlat a fő részeket és az erőfolyam irányát mutatja.



25.3. ábra. Kormányrendszer fő részei és az erőfolyam - Sematikus tanulási ábra; a konkrét felépítés típusfüggő.

A rajz rétegei felülről lefelé olvashatók: a kormánykerék az oszlopon keresztül hajtja a kormányművet, amely a rudazatot mozgatja, a rudazat pedig a kormányzott kereket. A kormányzár a kormányoszlopba építve reteszel, a biztonsági kormányoszlop ütközéskor elnyeli az energiát.

25.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **kormánymű** a kormányoszlop forgómozgását a kormányzott kerekek elfordításához szükséges rudazati mozgássá alakító, áttételes szerkezet. Feladata a kormányzási nyomaték növelése és a kerék elfordulásának a kormánykerék elfordulásához viszonyított áttételezése.

Definíció. A **kormányrudazat** a kormányműtől a kormányzott kerékig húzódó rudak és gömbcsuklók összessége, amely a mozgást átviszi, és megvalósítja a kormánytrapézt, hogy a belső és a külső kerék eltérő szögben forduljon el.

Definíció. A **gömbfej** (tie rod end) a kormányrudazat és a tengelycsonk kormánykarja közötti gömbcsuklós csatlakozó. Szögelfordulás közben is erőzáró kapcsolatot tart, de kopáskor radiális játék keletkezik benne.

Összefüggés. Az átlagos kormányáttétel a kormánykerék elfordulási szöge és a kormányzott kerék átlagos elfordulási szöge hányadosa:

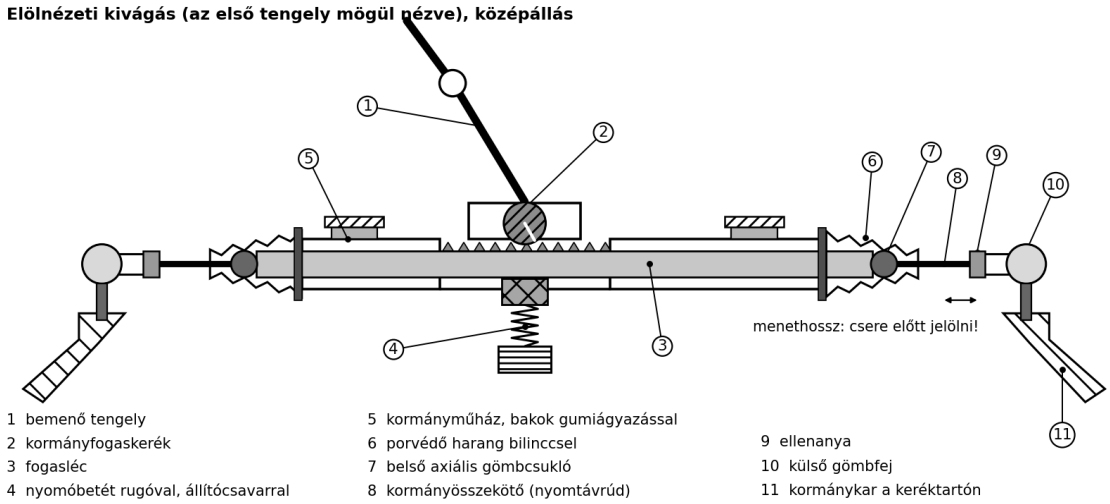
$$i_{\text{korm}} = \frac{\varphi_{\text{kormánykerék}}}{\varphi_{\text{kerék}}}$$

Személyautóknál a fogasléces kormányművel jellemzően $i_{\text{korm}} \approx 14 \ldots 18$ (ellenőrizendő: gyártói adat). A kormányáttétel nem mindig állandó – a fogasléc változó osztású fogazása vagy a karos geometria miatt középpontban és szélső helyzetben eltérhet.

25.2.4. Felépítés és működés

25.2.4.1. Fogasléces kormánymű

A mai személyautók leggyakoribb megoldása. A kormányoszlop végén lévő fogaskerék egy fogasléccel kapcsolódik. A kormánykerék elfordításakor a fogaskerék forgása a fogaslécet oldalirányban tolja. A fogasléc két vége belső kormányösszekötő rudakkal (axiális csuklóval a fogaslécen), majd külső kormányösszekötő-gömbfejekkel csatlakozik a tengelycsonk kormánykarjához. Előnye a kis szerkezeti tömeg, a kevés csukló és a pontos, közvetlen kormányérzet. Hátránya, hogy a fogasléc és a fogaskerék kopása holtjátékot okozhat, és a szerkezet érzékeny a porvédő sérüléseire.



25.4. ábra. Fogasléces kormányműű elölnézeti kivágásban a kormányrudazattal

Az ábrán a bemenő tengely (1) fogaskereke (2) a fogaslécet (3) oldalirányban tolja; a nyomóbetét (4) rugója a fogaslécet a fogaskerékhez szorítja. A ház (5) gumiágyazású bakokon ül, a fogasléc végeit porvédő harang (6) védi. A belső axiális gömbcsuklóhoz (7) csatlakozó kormányösszekötő (8) menetes végén az ellenanya (9) és a külső gömbfej (10) van, amely a kormánykarhoz (11) kapcsolódik. A HTML-kiadásban a kormány balra–jobbra fordítható, és rámutatásra megjelenik az alkatrész neve és tipikus kopási helye.

25.2.4.2. Golyósoros kormánymű

Régi személyautókon és nagyobb, merev hidas haszongépjárműveken találkozunk vele. A kormánytengely golyós csavartekercse egy szektorral vagy anyával kapcsolódik, a golyók a csavar és az anya közötti zárt pályán cirkulálnak, csökkentve a súrlódást. A forgó csavar az anyát elmozdítja, az anya fogazata pedig a kormánykar tengelyét forgatja el. Előnye a nagy áttétel és a nagy teherbírás, hátránya a nagyobb méret, tömeg és a több illesztési pont.

25.2.4.3. Globoidcsigás kormánymű

Szintén régebbi megoldás. A kormánytengelyen kialakított globoidcsiga egy görgővel vagy ujjal kapcsolódik, amely a kormánykar tengelyén lévő kart hajtja. A globoidcsiga íves felülete nagyobb fogfelületet ad, de a mai járművekben ritkán fordul elő.

25.2.4.4. Kormányrudazat és nyomtávrúd-elrendezések

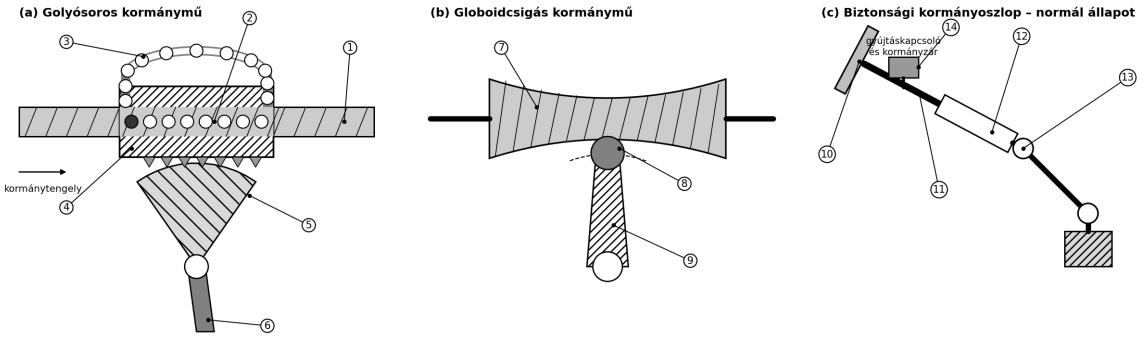
Fogasléces kormányműnél a kormányösszekötő rúd a fogasléc és a kormányösszekötő-gömbfej között helyezkedik el. A külső kormányösszekötő-gömbfej a kormánymozgást a tengelycsonk kormánykarjára viszi; a belső rúd és a gömbfej menetes kapcsolatán állítható az összetartás. A gömbfej a kerék felőli végén lehetővé teszi a kerék elfordulását és a futómű függőleges mozgását.

Merev hidas járműveknél a kormánymű kimenő karja egy középső kormányrudat mozgat, amely a könyökkarral a két oldali kormányrudat hajtja; a két kormánykart összekötő rúd a nyomtávrúd. A kormánytrapéz geometriája biztosítja, hogy az ív belső oldalán futó kerék nagyobb szögben fordul el, mint a külső.

25.2.4.5. Biztonsági kormányoszlop és kormányzár

A **biztonsági kormányoszlop** frontális ütközéskor nem nyomódhat a vezető felé mereven. Jellemző megoldás a perforált, összecsuklódó cső, a teleszkópos kormánytengely vagy az energiaelnyelő oszlopcsukló. A légzsák a kormánykerékben van; a kormányoszlop szerelésekor a pirotechnikai egység biztonsági szabályait is be kell tartani (lásd a Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő alfejezetet).

A **kormányzár** a gyújtáskapcsolóval egybeépített mechanikus retesz, amely a kulcs kihúzásakor egy csapot nyom a kormánytengely hornyába, és megakadályozza a kormány elfordítását. Lopásgátló szerepe van. **Tilos** menet közben a gyújtáskulcsot kihúzni (vagy kulcs nélküli rendszernél a motort leállítva gurulni), mert a kormányzár bereteszelhet, és a kormányzott kerék hirtelen blokkolása balesetet okozhat.



1 csigatengely, 2 golyósor, 3 golyóvisszavezető cső, 4 kormányanya fogazattal, 5 fogazott szektorkerék, 6 kormánytőkar (Pitman-kar); 7 globoidcsiga, 8 görgő, 9 kormányrúd-kar; 10 kormánykerék, 11 felső oszloprész, 12 összecsúszó (teleszkópos) elem, 13 kardáncsukló (kettő), 14 kormányzár reteszcsapja a gyújtáskapcsolónál. Sematikus rajz, nem gyártói metszet.

25.5. ábra. (a) Golyósoros kormánymű, (b) globoidcsigás kormánymű, (c) biztonsági kormányoszlop két kardáncsuklóval

A golyósoros kormányműben a golyók a csigatengely és a kormányanya között keringenek, és a visszavezető csövön át térnek vissza; az anya fogazata a szektorkereket és vele a kormánytőkart

forgatja. A globoidcsigás kormányműben a homokóra alakú csiga a görgőt és a kormányrúdkart mozgatja. A biztonsági kormányoszlop két kardáncsuklóval csatlakozik a kormányműhöz; ütközéskor az összecsúszó elem rövidül. A HTML-kiadásban lépésenként követhető a golyók körforgása és az oszlop ütközés utáni állapota.

25.2.5. Kidolgozott példák

Példa. Egy személyautó kormánykereke középállásból az egyik végállásig 1,2 fordulatot tesz meg, a kormányzott kerék átlagos elfordulása 28°. Számítsuk ki az átlagos kormányáttételt.

Adott: 1,2 fordulat, $\varphi_{\text{kerék}} = 28^\circ$.
Keresett: i_{korm}.
A kormánykerék szögelfordulása:

$$\varphi_{\text{kormánykerék}} = 1{,}2 \cdot 360 = 432^\circ.$$

$$i_{\text{korm}} = \frac{432}{28} \approx 15{,}4.$$

A kapott 15,4-es átlagos kormányáttétel a fogasléces személyautók tipikus tartományába esik (ellenőrizendő: gyártói adat).

Példa. Fogasléces kormányműben a fogaskerék osztókörátmérője $d = 16\,\text{mm}$, sugara $r = 8\,\text{mm}$. Mekkora utat tesz meg a fogasléc, ha a kormánykereket 90°-kal elfordítjuk?

Adott: $r = 8\,\text{mm}$, $\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}\,\text{rad}$.
Keresett: s.
A fogasléc elmozdulása:

$$s = r \cdot \varphi = 8 \cdot \frac{\pi}{2} = 8 \cdot 1{,}5708 \approx 12{,}6\,\text{mm}.$$

A fogasléc teljes löketéhez viszonyítva ez az egyirányú 12,6 mm reális. A fogasléces kormányművek fogasléclökete jellemzően 140–180 mm között van (ellenőrizendő: gyártói adat).

25.2.6. Minőségellenőrzés

A kormányberendezés ellenőrzése először **a kormánykerék holtjátékának mérésével** kezdődik. A kormánykerék kerületén, középállásban, álló motorral, finoman jobbra-balra mozgatva mérjük az elmozdulást addig, amíg a kerék nem reagál. Példaként a gyártó 0–10 mm közötti kerületi holtjátékot engedhet meg (ellenőrizendő: gyártói adat). Ha nagyobb, a hiba a kormányoszlop csuklójában, a kormányműben vagy a rudazat gömbfejeiben lehet.

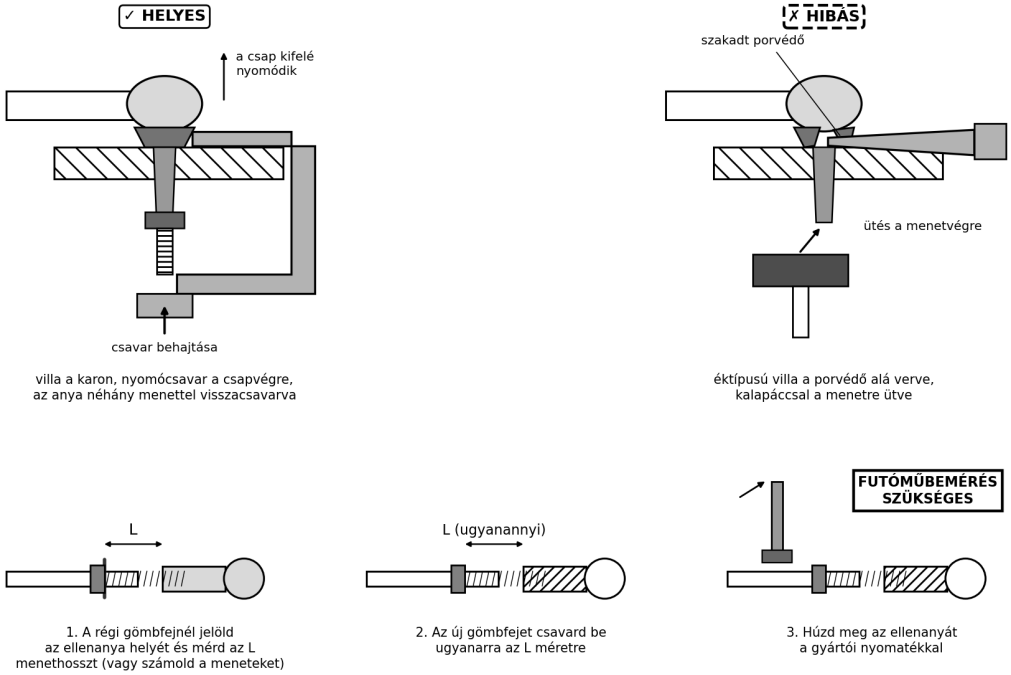
A gömbfejek ellenőrzéséhez emeljük meg a járművet, és **csak bakra támasztva** dolgozzunk. A kereket a 6 és a 12 óra irányban, illetve a 3 és a 9 óra irányban mozgatva érzékelhető radiális játékot keresünk. A porvédő gumiharang repedése, zsírvesztése korai csereindok, mert a szennyeződés gyorsítja a gömbfej kopását.

Szabály. A holtjáték hibáját a teljes kormányláncban alulról felfelé keressük, mert a leggyakoribb ok a kormányösszekötő-gömbfej vagy a kormányösszekötő kopott csuklója, nem pedig maga a kormánymű.

25.2.7. Szerelési és ellenőrzési alapelvek

A kormányösszekötő, a gömbfej, a nyomtávrúd vagy a kormánymű cseréjének előkészítésekor mindig a gyártói javítási utasítást követjük.

1. Azonosítsuk a járművet és keressük meg a gyártói javítási adatokat (nyomatékok, beállítási értékek).
2. Ha a kormányoszlopon vagy a légzsákos kormánykeréken dolgozunk, a gyújtás kikapcsolása és az akkumulátor lekötése után várjuk ki a gyártói várakozási időt (ellenőrizendő). A kormányoszlop/kormánymű bontása előtt állítsuk a kerekeket egyenesbe, és rögzítsük a kormánykereket középállásban (célszerszám/szalag), hogy a spirálkábel ne sérüljön; összeszerelés után a kormányszögérzékelő alapbeállítását a gyártó szerint végezzük el (ellenőrizendő).
3. Emeljük meg a járművet a gyártói emelési pontokon, és **soha ne dolgozzunk csak kocsiemelővel tartott jármű alatt**; használjunk bakot.
4. A kormányrudazat bontásához használjunk célszerszámot (például gömbfejleválasztót). **Figyelem.** A gömbfej leválasztásakor a porvédő és a menet ne sérüljön meg.
5. A kormányösszekötő rúd vagy a gömbfej cseréjekor jelöljük meg a régi gömbfej menethosszát, és az új gömbfejet ugyanarra a méretre állítsuk be.
6. Húzzuk meg a rögzítőelemeket a gyártói nyomatékkal, és biztosítsuk a kötéseket a gyártó szerint.
7. A kormányösszekötő vagy nyomtávrúd csere után **futóműbemérés szükséges**, mert az összetartás értéke megváltozik.
8. Próbaúton ellenőrizzük, hogy a kormány egyenesen áll középállásban, nincs kopogás, és a kormány holtjátéka a gyártói tartományban van.



25.6. ábra. A 4–5. lépés: gömbfejleválasztó helyes és hibás használata; a gömbfej menethosszának jelölése és átvitele

A helyes képen a csavaros leválasztó villája a kormánykaron fekszik, a nyomócsavar alulról a

csapvégre nyom, és a néhány menettel visszacsavart anya védi a menetet. A hibás képen az éktípusú villa szétszakítja a porvédőt, a kalapácsütés pedig a menetet teszi tönkre. Az alsó sor az 5. lépést mutatja: jelölés és az L menethossz mérése, az új gömbfej beállítása ugyanarra az L méretre, az ellenanya meghúzása, majd futóműbemérés.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Környezetvédelem. A kormányműből kiengedett olajat, a zsíros rongyot és a szennyezett gömbfejzsírt zárt, feliratozott edényben gyűjtsük, és veszélyes hulladékként kezeljük a hatályos hulladékgazdálkodási előírások szerint (ellenőrizendő: hulladékrendelet).

25.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy személyautó ügyfélpanasza: „kormányzás közben jobb oldalon kopog, és egyenetlen úton a kormány ide-oda ráng.” A mérés a kormánykerék kerületén 35 mm holtjátékot mutat (a gyártó példaértéke szerint 10 mm a felső határ). A jármű alatt, bakon állva a jobb oldali külső kormányösszekötő-gömbfej radiális játéka 2 mm, a bal oldalié 0,3 mm. A jobb oldali gömbfej porvédője elszakadt, a zsír szennyezett. A javítás során a gömbfejet és a porvédőt cseréljük, az új gömbfejet a régi menethosszra állítjuk, meghúzzuk a gyártói nyomatékkal, majd futóműbemérést végzünk. Próbaút után a holtjáték a megengedett tartományba kerül. Később a Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás alfejezetben a rásegítő rendszereket is ellenőrizzük.

25.2.9. Tipikus hibák

1. **A kormányösszekötőt és a nyomtávrudat összekeverik.** A fogasléces kormánynál a belső kormányösszekötő rúd a fogasléc és a külső gömbfej közötti rudazati rész; nyomtávrúdról (a két kormánykart összekötő rúd) csak merev hidas kormányzásnál beszélünk. Helyes azonosítással nem rendelünk rossz alkatrészt.
2. **Gömbfejcsere után elmarad a futóműbemérés.** Az összetartás értéke megváltozik, ezért a kopás és a kormány húzása később jelentkezik. A csere után mindig futóműbemérés szükséges.
3. **A holtjátékot azonnal a kormányműre fogják.** Gyakran a gömbfejek, a kormányösszekötő vagy az oszlopcsukló koptak, a kormánymű hibátlan. Mindig a teljes láncot mérjük.

25.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A fogasléces kormánymű a kormánykerék forgómozgását a fogasléc oldalirányú mozgásává alakítja.
2. Mi a gömbfej feladata a kormányrudazatban?
3. Mi a különbség a belső kormányösszekötő rúd, a külső gömbfej és a (merev hidas rendszerű) nyomtávrúd között?
4. Számítsa ki az átlagos kormányáttételt, ha a kormánykerék 1,5 fordulatot tesz meg a középállásból a végállásig, a kerék elfordulása 30°.
5. Miért szükséges futóműbemérés a kormányösszekötő-gömbfej cseréje után?

25.2.11. Feladatok

1. feladat (A) Nevezze meg a három kormányműfajtát, és mondja meg, melyiket használják leggyakrabban a mai személyautókban.

2. feladat (A) Egy fogasléces kormánymű fogaskerekének osztókörsugara 7 mm. Mekkora a fogasléc elmozdulása, ha a kormánykereket 60°-kal elfordítjuk?

3. feladat (B) Egy kormánykerék 2,9 fordulatot tesz meg ütközéstől ütközésig, a kerék összes elkormányzási tartománya 70°. Számítsa ki az átlagos kormányáttételt, és ellenőrizze, hogy a fogasléces személyautó tipikus tartományába esik-e.

4. feladat (B) A fenti rétegábra alapján sorolja fel az erőfolyam sorrendjében a kormányrendszer fő részeit.

5. feladat (C) Hasonlítsa össze a fogasléces és a golyósoros kormányművet tömeg, pontosság, teherbírás és tipikus alkalmazás szerint. Ez az összehasonlítás készíti elő a Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás alfejezetet.

6. feladat (D) Ügyfélpanasz: „a kormánykeréken 20 mm-es holtjáték van, és balra húz a kocsi.” Mérés: bal oldali külső kormányösszekötő-gömbfej radiális játéka 1,5 mm, jobb oldali 0,5 mm. A kormánymű csatlakozásai feszesek. Milyen okot valószínűsít, milyen javítást tervez, és milyen ellenőrzést végez a javítás után?

25.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A fogaskerék forgása a fogaslécet oldalirányban tolja, ami a rudazaton át a kerekekre jut.
2. A gömbfej gömbcsukló, amely a rudazat és a kerékagy, illetve kormánykar között szögelfordulás közben is erőzáró kapcsolatot tart, és lehetővé teszi a kerék elfordulását és a futómű mozgását.
3. A belső kormányösszekötő rúd a fogasléc és a külső gömbfej közötti rész, a gömbfej a tengelycsonk kormánykarjához csatlakozik; hossza, illetve a menetes kapcsolat az összetartás beállítására szolgál. Nyomtávrúdnak a merev hidas rendszerben a két kormánykart összekötő rudat nevezzük.
4. A kormánykerék elfordulása: $1{,}5 \cdot 360 = 540^\circ$. $i_{\text{korm}} = 540/30 = 18$. Az átlagos kormányáttétel 18.
5. Mert a gömbfej cseréje megváltoztatja az összetartást, ami a kerékállás-jellemzőkre és a kormány geometriájára hat; csak futóműbeméréssel állítható vissza a gyártói érték.

1. feladat – megoldás

Fogasléces, golyósoros és globoidcsigás kormánymű. A mai személyautókban a fogasléces a leggyakoribb.

2. feladat – megoldás

Adott: $r = 7\,\text{mm}$, $\varphi = 60^\circ = \frac{\pi}{3}\,\text{rad}$.
Keresett: s.

$$s = r \cdot \varphi = 7 \cdot \frac{\pi}{3} = 7 \cdot 1{,}0472 \approx 7{,}33\,\text{mm}.$$

A fogasléc elmozdulása 7,33 mm.

3. feladat – megoldás

Adott: 2,9 fordulat összesen két irányba, a kerék összes elfordulása 70°.
A kormánykerék teljes elfordulása ütközéstől ütközésig:

$$\varphi_{\text{kormánykerék}} = 2{,}9 \cdot 360 = 1044^\circ.$$

$$i_{\text{korm}} = \frac{1044}{70} \approx 14{,}9.$$

Ez az érték a személyautók tipikus 14–18 közötti fogasléces tartományába esik (ellenőrizendő: gyártói adat).

4. feladat – megoldás

A rétegek sorrendjében: kormánykerék → biztonsági kormányoszlop és kormányzár → kormánymű (fogasléces, golyósoros vagy globoidcsigás) → kormányrudazat (kormányösszekötő, kormányösszekötő-gömbfejek) → kormányzott kerék.

5. feladat – megoldás

A fogasléces kormánymű kis tömegű, kevés csuklót tartalmaz, közvetlen és pontos kormányérzetet ad, de kisebb teherbírású; ezért személyautókon és könnyű haszongépjárműveken használják. A golyósoros kormánymű nagyobb méretű és tömegű, több illesztési ponttal, de nagy áttételt és nagy teherbírást biztosít; merev hidas, nagyobb járműveken alkalmazható. Ez a különbség azért fontos, mert a Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás alfejezetben a szervokormány rásegítő rendszereit is ezekhez a kormányműtípusokhoz kell illeszteni.

6. feladat – megoldás

A tünet és a mérés alapján a bal oldali külső kormányösszekötő-gömbfej kopott (1,5 mm radiális játék a megengedettnél nagyobb, a gyártói példaérték szerint). A kormánymű feszes, így a holtjáték oka a gömbfejben van. A javítás: a bal oldali gömbfej és szükség szerint a porvédő cseréje, a gömbfejet a régi menethosszra állítani, meghúzás gyártói nyomatékkal. A balra húzást a gömbfej kopása önmagában ritkán okozza; a futóműbemérésnél az összetartást, dőlést, utánfutást, továbbá az abroncsnyomást és a fékeket is ellenőrizni kell. A javítás után futóműbemérést végzünk, próbaúton ellenőrizzük a holtjátékot és a kormány középállását.

25.2.13. Rövid összefoglaló

A kormánymű a kormánykerék forgómozgását a kormányzott kerekek elfordításához szükséges rudazati mozgássá alakítja. A három alaptípus a fogasléces, a golyósoros és a globoidcsigás kormánymű; a mai személyautókban a fogasléces a meghatározó. A kormányrudazat részei a kormányösszekötő, a nyomtávrúd és a gömbfejek, amelyek a kormánytrapézt is megvalósítják. A kormánykerék holtjátékát a teljes láncban mérjük, és alulról felfelé keressük az okot, mert a leggyakoribb hiba a gömbfej kopása. A gömbfej és a kormányösszekötő/nyomtávrúd csere után futóműbemérés szükséges. A biztonsági kormányoszlop ütközéskor elnyeli az energiát, a kormányzár lopásgátló reteszként működik. Továbbvitt eredmény: a kormánymű és a rudazat ismerete szükséges a Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás alfejezetben, ahol a rásegítő rendszerek működését és diagnosztikáját ezekre építjük.

25.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: kormányholtjáték határértéke, meghúzási nyomatékok, beállítási méretek, fogasléc-löket, kormányáttétel tartománya.
- ENSZ-EGB előírás a kormányberendezésre vonatkozóan (ellenőrizendő: ECE R79 pontos száma, hatálya és a vonatkozó műszaki követelmények).
- A megadott holtjáték-határértékek (0–10 mm, 1,5 mm gömbfejjáték) tanulási példák, gyártói adat szerint változnak.
- A kormányáttétel jellemző 14–18 közötti tartománya tájékoztató érték, járműtípusonként eltérhet.

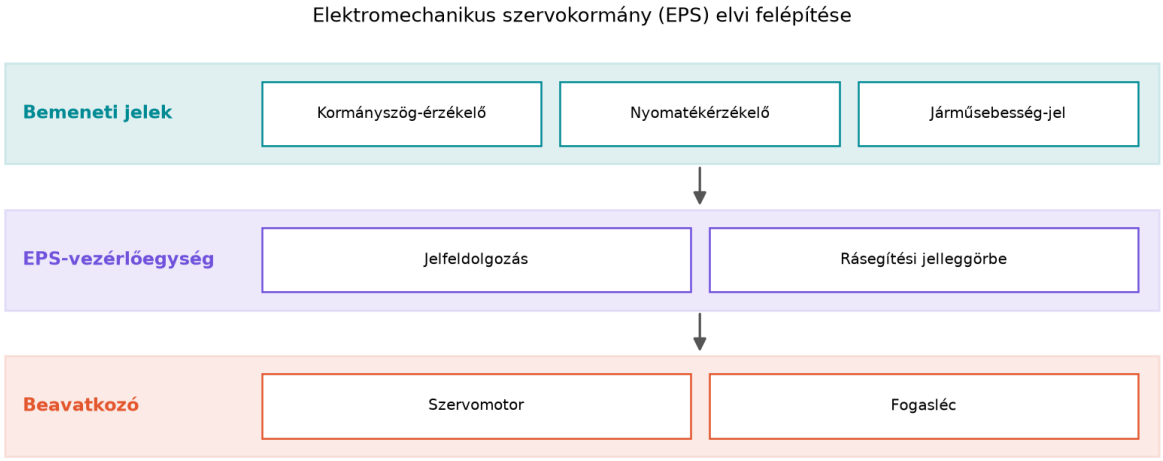
25.3. Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás

25.3.1. Motiváció

Egy ügyfél azzal hozza be a járművét, hogy parkolás közben „elfáradt a keze”, mert a kormányt csak nagy erővel tudja elforgatni. Ugyanezt a járművet autópályán viszont kellemesen feszesnek érzi. A műhelyben ilyenkor a szervokormány rendszerét vizsgáljuk: a hidraulikus rásegítésnél a folyadékot, a szivattyút és a szivárgást, az elektromechanikus rásegítésnél pedig a vezérlőegységet, a motoráramot és a kormányszög-érzékelő kalibrálását. A szervokormány ugyanis nem egyszerű luxuskiegészítő: a kormánynyomatékot a járműsebességhez és a vezetési helyzethez igazítja, és a mai vezetőtámogató rendszerek (ESP, sávtartó, parkolási asszisztens) is a kormányrendszer jeladóira épülnek.

25.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy fogasléces hidraulikus szervokormányt metszetben. A kormánykerék felől a kormánytengely egy vékony torziós rúd közbeiktatásával a fogasléc fogaskerekéhez kapcsolódik. A torziós rúd a kormányzási nyomaték hatására néhány fokot elcsavarodik. Ez az elcsavarodás mozgatja a szervoszelepet, amely a nyomás alatt lévő hidraulikafolyadékot a munkahenger egyik vagy másik oldalára irányítja. A fogaslécre épített dugattyúra ható nyomáskülönbség rásegít a kormányerőre, így a vezető csak a torziós rúd elcsavarásához szükséges kisebb nyomatékot érzi. Az elektromechanikus rendszerben ugyanez a torziós rúd egy nyomatékérzékelő központi eleme, a rásegítő erőt pedig villanymotor és fogasléc-áttétel hozza létre.



25.7. ábra. Elektromechanikus szervokormány (EPS) elvi felépítése - Szemléltető rendszervázlat, nem gyártói rajz.

A fenti rétegábra azt mutatja, hogy az EPS-vezérlőegység a kormányszög-érzékelő, a nyomatékérzékelő és a járműsebesség-jel alapján dönt a villanymotor rásegítő nyomatékáról. A hidraulikus rendszerben ezt a feladatot mechanikusan a szervoszelep látja el, míg az elektromos rendszerben az ECU jelleggörbéi végzik.

25.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **kormányrásegítés** (power steering) olyan berendezés, amely a kormánykeréken kifejtett vezetői nyomatékot a kerék elfordításához szükséges érték alá csökkenti úgy, hogy a hiányzó részt idegen energia (hidraulikus nyomás vagy villanymotor) biztosítja.

Definíció. A **rásegítési tényező** i_{r} a kerékoldali teljes kormányzónyomaték és a kormánykeréken kifejtett nyomaték hányadosa:

$$i_{\mathrm{r}} = \frac{M_{\mathrm{kerék}}}{M_{\mathrm{kormány}}}$$

A hidraulikus szervokormánynál $M_{\mathrm{kerék}}$ a fogaslécre ható erőből és a fogaskerék-áttételből adódik; vezetői oldalról a szervoszelep torziós rúdjának elcsavarásához tartozó nyomaték a bemeneti jel.

Definíció. A **kormányszög-érzékelő** (steering angle sensor) a kormánykerék vagy a kormányoszlop abszolút vagy inkrementális szöghelyzetét méri, általában a teljes többfordulatú tartományban (például $\pm 720°$). Jele a járművezető kormányzási szándékát és a jármű tényleges kormányzott kerékhelyzetét közvetíti az ESP, az EPS és az ADAS rendszerek felé.

Definíció. A **nyomatékérzékelő** (torque sensor) a kormánykeréken kifejtett nyomatékot méri. Az EPS-rendszerek leggyakrabban a torziós rúd elcsavarodását érzékelik mágneses, induktív vagy optikai úton, és ebből számítják a pillanatnyi vezetői nyomatékot.

25.3.4. Felépítés és működés

25.3.4.1. Fogasléces hidraulikus szervokormány (HPS)

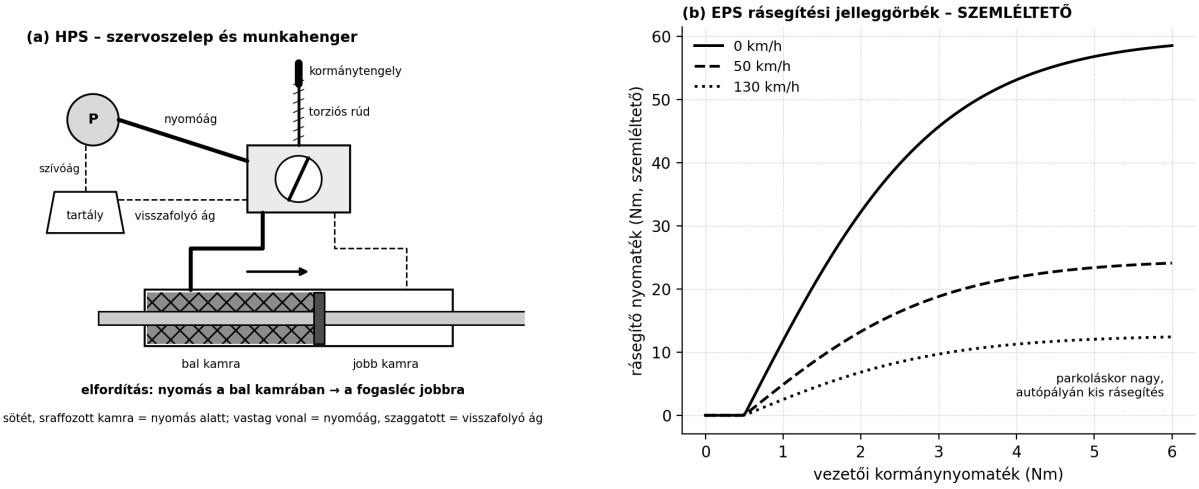
A hagyományos hidraulikus szervokormány fő részei: szivattyú, tartály, nyomócső, visszafolyócső, kormányműbe épített szervoszelep és munkahenger. A szivattyút általában a motor ékszíja hajtja, és olajáramot szállít a szervoszelephez. A szervoszelep jellemzően a kormánytengely és a fogaskerék közötti torziós rúdra épülő forgó tolattyú. Egyenes haladásnál a szelep középállású: a folyadék kis ellenálláson, munkavégzés nélkül kering vissza. Amikor a vezető elfordítja a kormányt, a torziós rúd elcsavarodik, a szelep elmozdul, és a nyomás alatti olajat a munkahenger megfelelő oldalára irányítja.

A rásegítő erő a munkahengerben:

$$F_{\mathrm{r}} = \Delta p \cdot A_{\mathrm{dugattyú}}$$

ahol Δp a nyomáskülönbség a dugattyú két oldala között, $A_{\mathrm{dugattyú}}$ pedig a dugattyú effektív felülete. A szervoszelep így mechanikusan visszacsatolja a vezetői nyomatékot: ha a vezető elengedi a kormányt, a torziós rúd visszaáll, a szelep középhelyzetbe kerül, és a rásegítés megszűnik.

A szivattyú szállítása és nyomása a motor fordulatszámával is változhat, ezért a hidraulikus rendszert általában nyomáshatárolóval és áramlásszabályozóval egészítik ki. A **sebességfüggő rásegítés** célja, hogy parkoláskor nagy rásegítést adjon, autópályán viszont feszesebb kormányzást biztosítson. Régebbi rendszerekben ezt az áramlásszabályozóval vagy elektromosan vezérelt szeleppel (EVO) oldották meg.



25.8. ábra. (a) Hidraulikus szervokormány: szervoszelep torziós rúddal és a munkahenger; (b) EPS rásegítési jelleggörbék különböző járműsebességeknél (szemléltető)

Az (a) részen a kormány elfordításakor elcsavarodó torziós rúd a forgó tolattyút elmozdítja: a szivattyú nyomóága a munkahenger bal kamrájába jut (sötét, sraffozott), a jobb kamra a visszafolyó ágon a tartályba ürül, így a dugattyú a fogaslécet jobbra tolja. A (b) rész szemléltető görbéi szerint ugyanakkora vezetői nyomatékhoz álló járműnél nagy, autópályán kis rásegítés tartozik. A HTML-kiadásban a szelep állásai váltogathatók, a kalkulátor pedig az $F_{\mathrm{r}} = \Delta p \cdot A$ rásegítő erőt és a sebességfüggő jelleggörbét mutatja.

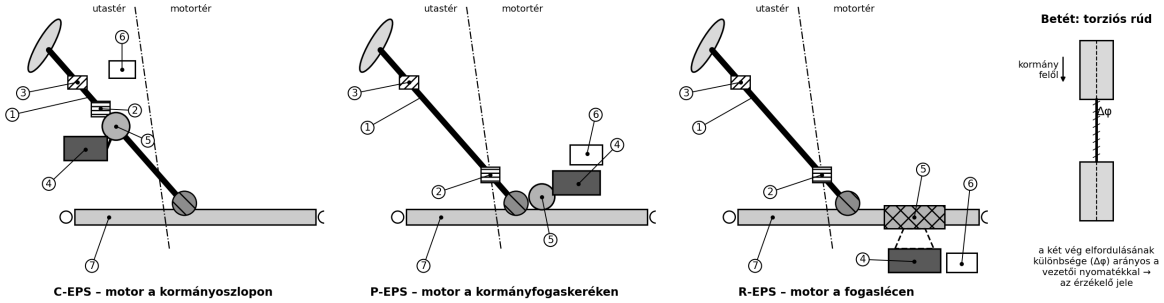
25.3.4.2. Elektrohidraulikus szervokormány (EHPS)

Az elektrohidraulikus szervokormány a hidraulikus rendszer előnyeit megtartja, de a szivattyút nem a belső égésű motor ékszíja, hanem fedélzeti hálózatról üzemeltetett villanymotor hajtja. A vezérlőegység a járműsebesség és a kormányzási nyomaték alapján szabályozza a szivattyú fordulatszámát. Parkoláskor magas fordulaton jár a szivattyú, egyenes haladásnál pedig alacsonyabb vagy csak alapjáraton, így energiát takarít meg. A hidraulikus oldal továbbra is olajos, tehát itt is kell olajszintet, szivárgást és olajminőséget ellenőrizni.

25.3.4.3. Elektromechanikus szervokormány (EPS)

Az EPS-rendszerben nincs hidraulikafolyadék, nincs szivattyú és tartály. A rásegítő nyomatékot villanymotor hozza létre. A motort szerelhetik:

- a **kormányoszlopra** (column-drive EPS, C-EPS),
- a **fogaslécre** közvetlenül vagy szíjhajtással (rack-drive EPS, R-EPS),
- a fogasléc fogaskerekére (pinion-drive EPS).



1 kormányoszlop, 2 nyomatékérzékelő (torziós rúd), 3 kormányszög-érzékelő, 4 villanymotor, 5 hajtómű (csiga, fogaskerék, illetve szíj + golyósorsó), 6 vezérlőegység, 7 fogasléc. Sematikus rajz; az érzékelők csere után kalibrálást igényelnek.

25.9. ábra. Az elektromechanikus szervokormány kivitelei: C-EPS, P-EPS és R-EPS, a nyomaték- és a kormányszög-érzékelő helyével; betét: a torziós rúd elcsavarodása

A C-EPS motorja és csigahajtóműve az utastérben, a kormányoszlopon ül; a P-EPS motorja a kormányfogaskerékre hajt; az R-EPS motorja szíjjal és golyósorsóval közvetlenül a fogaslécet mozgatja. Mindhárom kivitelben a torziós rúdra épülő nyomatékérzékelő méri a vezetői nyomatékot (a két rúdvég elfordulásának különbsége arányos vele), a kormányszög-érzékelő pedig a kormány helyzetét; mindkettő csere vagy javítás után kalibrálást igényel.

Az EPS-vezérlőegység bemenetei közé tartozik a nyomatékérzékelő, a kormányszög-érzékelő és a járműsebesség-jel. A vezérlő a rásegítési jelleggörbe alapján számítja ki a motoráramot. A motor által leadott nyomaték a mechanikus áttételen keresztül a fogaslécet segíti.

Az EPS előnye, hogy csak akkor fogyaszt áramot, amikor a kormányt elfordítják; nincs olaj, kisebb a környezetszennyezés, és a rásegítés könnyen járműsebesség-függővé tehető. Hátránya, hogy nagyobb terhelésnél (például álló járműnél, széles gumikkal) jelentős áramfelvétel léphet fel, és a kormányérzet finomhangolása elektronikus. A rendszer biztonsági szempontból redundáns figyelőáramköröket is tartalmazhat: ha az ECU hibát észlel, a rásegítést csökkenti vagy leállítja, és a műszercsoportban figyelmeztetést ad.

A **kormányszög-érzékelő** az EPS-ben nemcsak a rásegítés irányát és erősségét segíti, hanem az ESP számára is alapjelet ad. A jármű menetdinamikai szabályozása a kormányszög és a legyorsulás-érzékelő jelének összhangját vizsgálja. Ezért a kormányszög-érzékelő nullpontját és

véghelyzeteit a gyártói diagnosztikai eljárás szerint kalibrálni kell: például a kormányt egyenes előre helyzetbe állítják, majd a rendszerteszterrel elvégzik a nullponttanítást. Ugyanez szükséges lehet az akkumulátor le- és felkötése, kormányműcsere, futómű-bemérés vagy a kormányoszlop javítása után.

Előírás. A kormányszög-érzékelő kalibrálását a gyártói diagnosztikai utasítás szerint, rendszerteszterrel kell elvégezni; a nullpontot és a végállásokat a kerékbeállítás és a kormányrendszer működésének ellenőrzése után kell betanítani (ellenőrizendő: gyártói javítási útmutató). A kormányrendszer biztonsági berendezés, ezért javítás és kalibrálás után a hibakód-tárolóból a bejegyzéseket is törölni kell, majd próbaúttal ellenőrizni a rásegítést.

25.3.4.4. Aktív és összkerék-kormányzás

Az **aktív kormányzás** (active front steering) a kormánykerék és a fogaskerék közé egy elektromosan vezérelt bolygóművet vagy más differenciálművet épít. A rendszer a kormánykerék szögétől és a járműsebességtől függően módosítja a tényleges kormányszöget. Parkoláskor nagyobb kerékszög érhető el kisebb kormánykerék-elfordítással, autópályán pedig közvetettebb, nyugodtabb áttétel valósul meg. Az aktív kormányzás gyakran az ESP-vel együttműködve ellenkormányzást is végezhet, ha a jármű destabilizálódik.

Az **összkerék-kormányzás** (rear wheel steering, all-wheel steering) a hátsó kerekeket kis szögben elfordítja. Kis sebességnél a hátsó kerekeket az elsőkkel ellentétes irányba fordítják, így csökken a fordulókör átmérője és javul a parkolási manőverezhetőség. Nagyobb sebességnél a hátsó kerekeket az elsőkkel azonos irányba, kis szögben fordítják, ami stabilabb sávtartást és gyorsabb, egyensúlyos irányváltást eredményez. A hátsó kormányzómű lehet elektromechanikus vagy hidraulikus működtetésű. A rendszer vezérlése a kormányszög-érzékelő, a sebességjel és a menetdinamikai szenzorok jeleire épül.

A sávtartó rendszer beavatkozása is a kormányrendszeren keresztül valósul meg: az EPS vagy az aktív kormányzás a vezető beavatkozásától függetlenül kis nyomatékot vagy szöget adhat a kormányrendszernek. Ezért a kormányszög-érzékelő kalibrálása, a kormányközép és a kerékbeállítás pontossága alapfeltétel.

25.3.5. Kidolgozott példák

25.3.5.1. Példa 1 – Hidraulikus rásegítő erő

Adott: Egy fogasléces hidraulikus szervokormány munkahengerének effektív dugattyúfelülete $A = 8{,}0\,\mathrm{cm}^2$. A munkahenger két oldalán mért nyomáskülönbség $45\,\mathrm{bar}$. **Keresett:** a fogaslécet segítő erő.

Képlet és behelyettesítés:

$$F_\mathrm{r} = \Delta p \cdot A$$

Az egységeket SI-be váltva:

$$A = 8{,}0\,\mathrm{cm}^2 = 8{,}0 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2, \quad \Delta p = 45\,\mathrm{bar} = 4{,}5\,\mathrm{MPa}$$

$$F_\mathrm{r} = 4{,}5 \cdot 10^{6}\,\mathrm{Pa} \times 8{,}0 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2 = 3600\,\mathrm{N}$$

Eredmény: A rásegítő erő 3600 N (tanulási példa). Ez a fogaslécet közvetlenül segíti; a kerékoldali nyomaték a fogaskerék sugarától függ.

Ellenőrzés: 1 bar = 100 kPa, így 45 bar = 4500 kPa, és 4500 kPa × 0,0008 m^2 = 3,6 kN. A nagyságrend reális.

25.3.5.2. Példa 2 – Elektromechanikus szervomotor nyomatéka

Adott: Egy EPS-szervomotor fedélzeti feszültsége 12 V, áramfelvétele csúcs terhelésnél 55 A, a motor és a vezérlő együttes hatásfoka 0,85. A motor fordulatszáma ebben a munkapontban 1500 1/min. **Keresett:** a motor tengelyén leadott nyomaték.

Számítás lépésenként:

A felvett villamos teljesítmény:

$$P_{\text{el}} = U \cdot I = 12\,\text{V} \times 55\,\text{A} = 660\,\text{W}$$

A tengelyen leadott mechanikai teljesítmény:

$$P_{\text{mech}} = P_{\text{el}} \cdot \eta = 660\,\text{W} \times 0{,}85 = 561\,\text{W}$$

A szögsebesség:

$$\omega = 2\pi\frac{n}{60} = 2\pi\frac{1500}{60} = 157\,\text{rad/s}$$

A nyomaték:

$$M = \frac{P_{\text{mech}}}{\omega} = \frac{561\,\text{W}}{157\,\text{rad/s}} \approx 3{,}6\,\text{Nm}$$

Eredmény: A szervomotor tengelyén leadott nyomaték kb. 3,6 Nm (tanulási példa). **Ellenőrzés:** az EPS-motor néhány Nm-es, ezres fordulatszámú villanymotor; a csigahajtás (például $i = 18$, ellenőrizendő) után a kormányoszlopon kb. 64 Nm (veszteség nélkül) – ez reális rásegítés. A fogaslécen ható rásegítő erő a mechanikus áttételtől függ.

Ellenőrzés: A mértékegység W/(rad/s) = Nm. A kapott érték a kormánymű áttételén át reális rásegítő nyomatékot adhat.

25.3.6. Minőségellenőrzés

A szervokormány javítása és vizsgálata mindig a gyártói adatok szerint történik; az alábbi értékek tanulási példák.

Hidraulikus szervokormány (HPS/EHPS) ellenőrzőlista:

1. Olajszint ellenőrzése a megfelelő motorhőmérsékletnél (a tartályon jelölt minimum–maximum között).
2. Folyadék színének, habzásának ellenőrzése; levegős rendszer zavaros, habos folyadékot mutat.

3. Szivárgás ellenőrzése a szivattyú, a csőbilincsek, a szervoszelep és a fogasléc szimeringjei körül.
4. A szivattyú ékszíjának feszessége vagy a feszítő állapota; törött, üvegesedett bordásszíj kerülendő.
5. Rásegítő nyomás mérése próbapadon vagy diagnosztikai mérőcsatlakozón; a jellemző csúcsnyomás gyártónként eltérő, például 50 ... 110 bar (ellenőrizendő: gyártói adat).
6. Zajvizsgálat: üvöltő szivattyú, kattogó kormánymű vagy ropogó szervoszelep hibára utal.
7. Próbaút: a kormány visszatér-e középhelyzetbe, nincs-e önkéntes oldalra húzás a rásegítő rendszer miatt.

Elektromechanikus szervokormány (EPS) ellenőrzőlista:

1. Hibakódok kiolvasása rendszerteszterrel a kormányrendszer és az ESP vezérlőegységéből.
2. A tápellátás és a testcsatlakozás feszültségesésének mérése; a laza csatlakozó melegedést, teljesítménycsökkenést okoz.
3. A kormányszög-érzékelő élő adatainak ellenőrzése: egyenes állásban nullához közeli érték, a kormány elfordításakor folytonos, tartományarányos jel.
4. A nyomatékérzékelő jelének ellenőrzése: a kormányra kismértékű nyomatékot gyakorolva a jel iránya és nagysága változzon.
5. A járműsebesség-jel összhangjának vizsgálata az élő adatokban.
6. Kalibrálás a gyártói útmutató szerint: kormány egyenes előre, műszeres nullponttanítás, esetleg véghelyzet-tanítás.
7. Beavatkozó teszt: a kormánymotor rövid idejű járatása a diagnosztikai műszerrel, ha a gyártó engedi.

Figyelem. A szervokormány javítása alatt a kormány hirtelen elfordulhat, ha a nyomatékérzékelő jele hibás vagy a motor beavatkozik. A kormányrendszert csak a gyártói utasítás szerint szabad szerelni, és az ujjakat távol kell tartani a mozgó fogasléctől, kardáncsuklóktól és villanymotor forgó alkatrészeitől. A pirotechnikai légzsák javítását a szervokormány bontása előtt külön kell kezelni.

Környezetvédelem. A hidraulikus szervokormány olaja veszélyes hulladék. A fáradt olajat jelölt edénybe kell gyűjteni, a kiömlött folyadékot nedvszívóval felitatni, és a hulladékot a veszélyes hulladékokra vonatkozó szabályok szerint leadni (jogszabály: hulladékgazdálkodási előírások – ellenőrizendő). Az EPS-rendszer elektronikai részei, motorja és vezérlője szintén nem háztartási hulladékban helyezhetők el.

25.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy autószerelő műhelybe dízel középkategóriás autó érkezik. Az ügyfél panasza: „Kis sebességnél időnként nagyon nehéz a kormány, autópályán viszont túl könnyű, és a kormány jelzőlámpa is kigyullad.” A diagnosztikai műszer a kormányrendszer vezérlőegységében feszültségellátási hibát és kormányszög-érzékelő kalibrálási hibát tárol.

A szerelő először ellenőrzi a fedélzeti feszültséget: alapjáraton 14,2 V, terhelés alatt 13,5 V – ez elfogadható. A kormányrendszer tápcsatlakozóján azonban 0,9 V feszültségesést mér: a tápvezeték egyik nagyáramú csatlakozója a korábbi akkumulátorcsere után lazára volt húzva, emiatt melegedési nyomok is látszottak. A csatlakozó cseréje és a tápellátás javítása után a kormányszög-érzékelő nullpontját a mérőcsapos kerékbeállítás ellenőrzése után rendszerteszterrel kalibrálják. A hibakódokat törlik, a próbaúton a kormány kis sebességnél könnyű, autópályán megfelelően feszes, a visszajelző lámpa nem gyullad ki.

Valós eset tanulsága: az EPS-hiba nem mindig a motor vagy a szenzor belső hibája; a nagyáramú tápcsatlakozó meghibásodása, a testpont korróziója vagy a kalibrálás hiánya is okozhat nehéz kormányzást és hibakódot.

25.3.8. Tipikus hibák

1. **Fékfolyadék betöltése a szervokormány tartályába.** A fékfolyadék tönkreteszi a szervokormány tömítéseit, a rendszer tömítetlenné válhat. Mindig a gyártó által előírt szervoolajat vagy az azzal egyenértékű folyadékot kell használni.
2. **A kormányszög-érzékelő kalibrálásának elmulasztása** akkumulátorle- és felkötés után. Az ESP és az ADAS rendszerek hibás kormányközépjelet kapnak, ami hamis beavatkozást, hibakódot okozhat.
3. **A hidraulikus rendszer légtelenítésének kihagyása** alkatrészcsere után. A levegős rendszer habzik, a szivattyú zajos, a rásegítés szakaszos.
4. **A nyomatékérzékelő erőltetett elforgatása a végállásig** a kalibrálás során. A torziós rúd és az érzékelő mechanikai túlterhelése maradandó elállítódást okozhat. A kalibrálást a gyártói lépések szerint, kéz nélkül vagy csak előírt nyomatékkal szabad végezni.
5. **Csak a hibakód törlése** az EPS-rendszerből, az alaphiba (például laza csatlakozó) javítása nélkül. A hiba rövid időn belül visszatér, és a kormány biztonsági tartalékfokozatba léphet.

25.3.9. Önellenőrzés

1. **Igaz/hamis:** A hidraulikus szervokormány rásegítő nyomatéka minden járműsebességnél pontosan ugyanakkora, mert a hidraulikus rendszer nyomása nem függ a járműsebességtől. Indokold röviden.
2. **Igaz/hamis:** Az EPS-rendszerben nincs hidraulikafolyadék, ezért olajszintet sem kell ellenőrizni.
3. **Gyors számítás:** Mekkora a hidraulikus rásegítő erő, ha a dugattyúfelület $6\,\mathrm{cm}^2$, a nyomáskülönbség pedig $50\,\mathrm{bar}$?
4. **Rövid válasz:** Miért kell a kormányszög-érzékelőt kalibrálni a futómű-bemérés vagy a kormányműcsere után?
5. **Rajzolvasás:** A rétegábra szerint melyek az EPS-vezérlőegység bemeneti jelei, és mi a beavatkozó?
6. **Mi a hiba ebben a leírásban?** „Az EPS szervokormányban a vezetői nyomatékot a torziós rúd csavarása méri, de a kormányszög-érzékelőre nincs szükség, mert a motoráram minden helyzetben azonos irányú.”

25.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a rásegítési tényezőt, és határozd meg a hidraulikus rásegítő erőt, ha $A = 10\,\mathrm{cm}^2$ és $\Delta p = 60\,\mathrm{bar}$.

2. feladat (A). Tölts ki egy rövid táblázatot: HPS, EHPS és EPS összehasonlítása az energiaforrás, a folyadék jelenléte és a járműsebesség-függő szabályozás szerint.

3. feladat (B). Számítsd ki az EPS-szervomotor tengelynyomatékát, ha $U = 12\,\mathrm{V}$, $I = 40\,\mathrm{A}$, $\eta = 0{,}9$, a motor fordulatszáma $1200\,1/\mathrm{min}$.

4. feladat (B). Rendezd sorba a kormányszög-érzékelő kalibrálásának lépéseit: a) hibakódolvasás, b) kormány egyenes élő adat ellenőrzése, c) kerékbeállítás ellenőrzése, d) nullponttanítás diagnosztikai műszerrel, e) próbaút és hibakód-törlés. Add meg a helyes sorrendet, és indokold.

5. feladat (C). Magyarázd el, miért változtatja a rásegítést a járműsebesség függvényében az EPS, és hogyan befolyásolja a kormányszög-érzékelő jelének hibája az ESP és a sávtartó rendszer működését.

6. feladat (D). Egy EPS-es autó kormánya parkoláskor szakaszosan nehéz, a műszerfalon kigyullad a kormány hibajelző. A hibakód tárol: „kormányszög-érzékelő jel elfogadhatatlan”. Az élő adatban a kormányszög-érzékelő értéke egyenes kormányállásnál -12°, a kormány elfordításakor ugrál. Mi lehet a hiba, és hogyan javítod?

25.3.11. Megoldások

25.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A hidraulikus rásegítés a szervoszelep nyitásával arányos, és a járműsebességtől függően a rendszer nyomásszabályozása vagy elektromos szelepe csökkentheti a rásegítést autópályán.
2. **Hamis.** Az EPS-ben nincs hidraulikafolyadék, de a rendszer villamos tápellátását, csatlakozóit, motorját, érzékelőit és kalibrálását ellenőrizni kell.
3. $A = 6\,\text{cm}^2 = 6 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2$, $\Delta p = 50\,\text{bar} = 5\,\text{MPa}$. $F = 5 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 3000\,\text{N}$.
4. Mert a kormányközép és a kerékhelyzet megváltozik; a kalibrálás biztosítja, hogy az ESP/ADAS a tényleges kormányzási helyzetet kapja.
5. Bemeneti jelek: kormányszög-érzékelő, nyomatékérzékelő, járműsebesség-jel. Beavatkozó: szervomotor (és fogasléc).
6. Hiba: a kormányszög-érzékelőre igenis szükség van; a motoráram iránya és nagysága a kormányzási iránytól, szögtől és sebességtől függ.

25.3.11.2. Feladatok megoldása

1. A rásegítési tényező $i_\text{r} = \frac{M_\text{kerék}}{M_\text{kormány}}$. $A = 10\,\text{cm}^2 = 10^{-3}\,\text{m}^2$, $\Delta p = 60\,\text{bar} = 6\,\text{MPa}$. $F_\text{r} = 6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 6000\,\text{N}$.

2. Táblázat:

Jellemző	HPS	EHPS	EPS
Energiaforrás	belső égésű motor által hajtott szivattyú	villanymotor hajtotta szivattyú	villanymotor közvetlenül a kormányművön
Hidraulikafolyadék	van	van	nincs
Sebességfüggő rásegítés	mechanikus/elektromos szelep	elektronikus szivattyúszabályozás	elektronikus jelleggörbe

3. $P_\text{el} = 12 \cdot 40 = 480\,\text{W}$, $P_\text{mech} = 480 \cdot 0{,}9 = 432\,\text{W}$. $\omega = 2\pi \cdot 1200/60 = 125{,}7\,\text{rad/s}$. $M = 432/125{,}7 \approx 3{,}44\,\text{Nm}$.

4. Helyes sorrend: c) kerékbeállítás ellenőrzése, a) hibakódolvasás, b) kormány egyenes élő adat ellenőrzése, d) nullponttanítás diagnosztikai műszerrel, e) próbaút és hibakód-törlés. Indoklás: előbb a mechanikai alapot kell rendbe tenni, utána az elektronikus nullpontot tanítani, majd a javítást próbaúttal igazolni.

5. Parkoláskor a kormányzási ellenállás nagy, ezért nagy rásegítés kell; autópályán a feszesebb kormány javítja a stabilitást és a visszajelzést. Ha a kormányszög-érzékelő jele hibás, az ESP

nem tudja, merre kormányoz a vezető, így hamis beavatkozást végezhet; a sávtartó rendszer pedig tévesen feltételezett sávközép-helyzetből indít kormányzást.

6. A -12° eltérés és az ugráló jel a kormányszög-érzékelő kalibrálatlanságára vagy a szenzor mechanikai sérülésére utal. Először ellenőrizni kell a kormányközép és a kerékbeállítás mechanikai helyzetét, majd a szenzor csatlakozóját és rögzítését. Ha ép, a gyártói diagnosztikai műszerrel nullpont- és végállás-tanítást kell végezni; ha a jel továbbra is hibás, a szenzort ki kell cserélni.

25.3.12. Rövid összefoglaló

A szervokormány a kormánykeréken kifejtett erőt csökkenti, a hiányzó részt hidraulikus nyomással vagy villanymotorral pótolja. A fogasléces hidraulikus rendszerben a torziós rúd elcsavarodása a szervoszelepet nyitja, így a munkahengerben $\Delta p \cdot A$ rásegítő erő keletkezik. Az elektrohidraulikus rendszer elektromos szivattyúval dolgozik, az elektromechanikus szervokormány (EPS) pedig hidraulikafolyadék nélkül, nyomaték- és kormányszög-érzékelő jeleiből vezérel villanymotort. A kormányszög-érzékelő nullpontját a kerékbeállítás és a kormányközép ellenőrzése után rendszerteszterrel kalibrálni kell, mert jele az ESP, a sávtartó és az aktív kormányrendszerek számára alapvető. Az aktív kormányzás a kormányáttételt változtatja, az összkerék-kormányzás kis sebességnél ellentétes, nagy sebességnél azonos irányban kormányozza a hátsó kerekeket. A szervokormány javításánál a gyártói utasítás az elsődleges, a hidraulikaolajat nem szabad fékfolyadékkal helyettesíteni, és a hulladékot szakszerűen kell kezelni.

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert EPS-működés és kalibrálási igény a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk alfejezetben az ADAS-javításoknál, a Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája alfejezetben a hibakeresésnél, valamint a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetben a szerelési gyakorlatnál tér vissza. A kormányszög-érzékelő kalibrálásának kötelező lépéseit ott is el kell végezni.

25.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB előírás a kormányberendezésre (ECE R79 – ellenőrizendő), gyártói javítási utasítások és diagnosztikai folyamatok, járműrendszer-szintű típusjóváhagyási követelmények.

Ellenőrizendő: a hivatkozott ECE-előírás száma és hatálya; a gyártói szivattyúnyomás, motoráram, kalibrálási és meghúzási nyomaték értékek; a hulladékgazdálkodási jogszabályok aktuális megnevezése és az EPS-akkumulátor-leválasztás utáni tanítási követelmények. A példákban szereplő számértékek tanulási példák, nem gyártói adatok.

26 Fékrendszerek

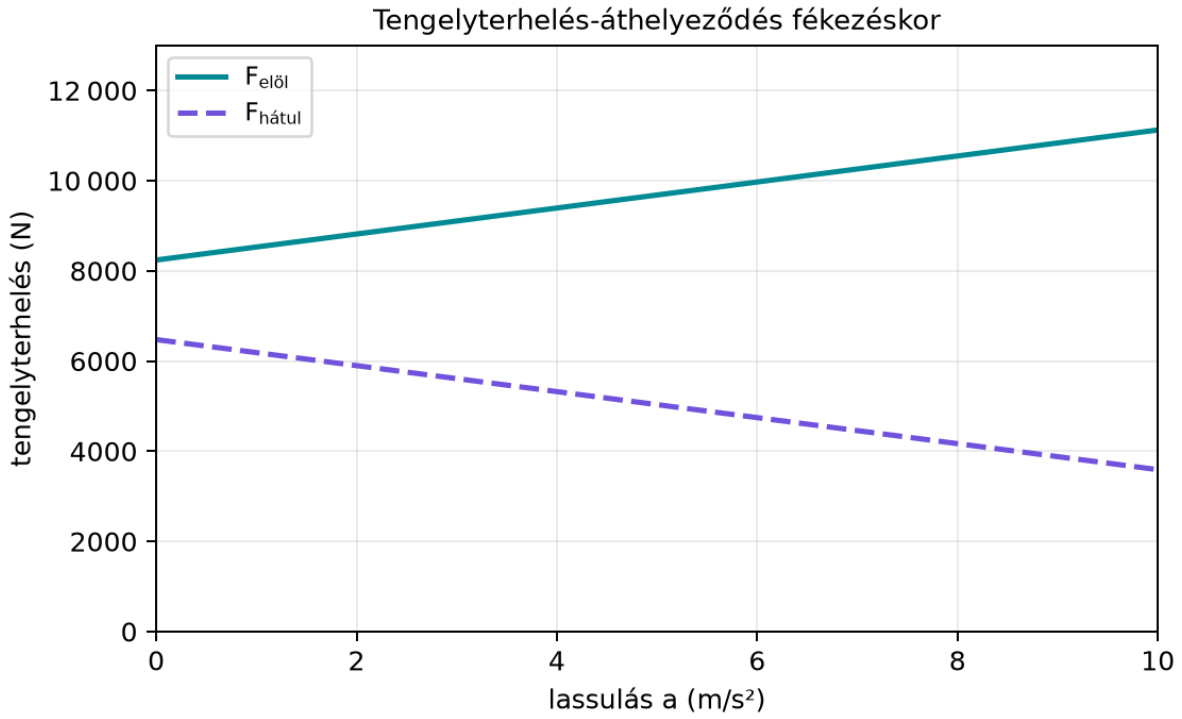
26.1. A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások

26.1.1. Motiváció

A műhelyben az egyik leggyakoribb ügyfélpanasz: „hosszú a fékút”, „a fék nem fog rendesen”, vagy éppen „a műszaki vizsgán megbukott a fékhatás”. Ilyenkor nem elég betétet cserélni: a szerelőnek tudnia kell, mit jelent a fékhatás, hogyan függ a fékút a sebességtől, miért tolódik el a tengelyterhelés fékezéskor, és miért követeli meg az előírás a kétkörös fékrendszert. Ez az alfejezet ezt az alapot adja meg: a fékezés fizikáját, a fékek osztályozását és a hatósági követelmények szerkezetét.

26.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy átlagos személyautót, amely 50 km/h sebességről vészfékez. A vezető észleli az akadályt, majd kb. 1 másodperc elteltével teljes erővel lenyomja a fékpedált. A fékek néhány tizedmásodperc alatt felépítik a lassulást, közben a karosszéria előrebólint, az első rugók összenyomódnak, a hátsók megemelkednek. A kerekek az út és a gumi közötti tapadási erőt használják fel, hogy a jármű mozgási energiáját hővé alakítsák. Az alábbi diagram a tengelyterhelés-áthelyeződést mutatja a lassulás függvényében egy szemléltető, 1500 kg tömegű járműre.



26.1. ábra. Tengelyterhelés-áthelyeződés fékezéskor - Szemléltető, számított értékek m=1500 kg, tengelytáv 2,6 m, súlypontmagasság 0,5 m esetén; statikus megoszlás 56:44 (8240 N + 6475 N = mg = 14 715 N), a meredekség m · h_s/l = 288,46 N/(m/s²).

A diagram azt mutatja, hogy a lassulás növekedésével az első tengely terhelése nő, a hátsóé csökken. Ezért a fékerőt nem lehet egyenlő arányban elosztani, hanem a tényleges dinamikus tengelyterheléshez kell igazítani.

26.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **fékrendszer** a jármű mozgását lassító, megállító, illetve álló helyzetben rögzítő szerkezetek összessége. A fék a mozgási energiát elsősorban súrlódás útján hővé alakítja.

A fékrendszereket feladatuk szerint osztályozzuk:

- **Üzemi fék** – a jármű normál lassítására, megállítására szolgál.
- **Rögzítőfék** – az álló járművet tartja a lejtőn is; működtethető kézzel (kézifék) vagy lábbal, illetve elektromechanikusan (EPB).
- **Segédfék (vészfék)** – az üzemi fék kiesése esetére tartalék fék; sok személyautónál a rögzítőfék tölti be ezt a szerepet.
- **Tartós lassító fék** – hosszú lejtmenetben lassítja a járművet anélkül, hogy a kerékfékek túlmelegednének; ilyen például a motorfék, a kipufogófék, a hidrodinamikus retarder és az elektromos örvényáramú lassító.

Definíció. A **lassulás** a a sebesség csökkenésének időbeli mértéke, mértékegysége $\mathrm{m/s^2}$. A **fékhatás** z a lassulás és a nehézségi gyorsulás hányadosa, gyakran százalékban adják meg:

$$z = \frac{a}{g}$$

ahol $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$. Például ha egy jármű $7{,}85\,\mathrm{m/s^2}$ lassulással fékez, a fékhatása $z = 7{,}85/9{,}81 = 0{,}8$, azaz 80 %.

Definíció. A **fékút** a fékezés megkezdésétől a jármű megállásáig megtett út. A **reakcióidő** t_r a vezető észlelésétől a fékpedál megnyomásáig eltelő idő, jellemzően 0,6–1,2 s. A **fékkésedelem** a fékpedál lenyomásától a tényleges fékhatás fellépéséig tartó idő, jellemzően 0,1–0,3 s. A reakcióidő és a fékkésedelem alatt a jármű közel állandó sebességgel továbbhalad, ezért a teljes megállási út nagyobb, mint a tiszta fékút.

26.1.4. A fékút összefüggése

Egyenletes lassulást feltételezve a Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia alfejezetben tanult kinematikai képletből $v^2 = v_0^2 + 2as$ indulunk ki. Mivel a sebesség a végén nulla, $v = 0$, és a lassulás negatív, a megálláshoz szükséges **tiszta fékút**:

$$s_{\text{fék}} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2zg}$$

Ha a fékezést a tapadási tényező korlátozza, a maximális lassulás $a_{\max} = \mu g$, ezért $z_{\max} = \mu$. A teljes megállási út a reakcióidő és a fékkésedelem alatt megtett úttal növelt érték:

$$s_{\text{megállás}} = v_0\,(t_r + t_k) + \frac{v_0^2}{2zg}$$

ahol t_k a fékkésedelem. A példákban t_k-t elhanyagoljuk, így a képlet $s = v_0 t_r + v_0^2/(2zg)$ alakra egyszerűsödik.

A sebességet általában km/h-ban adják meg, ezért át kell váltani m/s-ra: $v_0\,(\mathrm{m/s}) = v_0\,(\mathrm{km/h})/3{,}6$.

26.1.5. Tengelyterhelés-áthelyeződés fékezéskor

Fékezéskor a jármű tömegközéppontjában ható tehetetlenségi erő $F_t = ma$ előre mutat. Ez az erő a súlypont magasságában (h_{s}) támad, és előrebillentő nyomatékot hoz létre. A tengelyeknél ébredő függőleges támasztóerők megváltoznak: az első tengely terhelése megnő, a hátsóé csökken. A terhelésváltozás nagysága:

$$\Delta F = \frac{m a h_{\mathrm{s}}}{l}$$

ahol l a tengelytáv, m a jármű tömege, a a lassulás, h_{s} a súlypontmagasság. A dinamikus tengelyterhelések:

$$F_{\text{elöl,din}} = F_{\text{elöl,stat}} + \Delta F, \qquad F_{\text{hátul,din}} = F_{\text{hátul,stat}} - \Delta F$$

Ebből következik, hogy nagyobb lassulásnál a hátsó tengely terhelése annyira lecsökkenhet, hogy a hátsó kerekek hamarabb blokkolnak, ha a fékrendszer fékerő-elosztása merev. Ezért az **ideális fékerő-elosztás** olyan eloszlás, amely a tényleges dinamikus tengelyterhelésekhez igazodik, így minden kerék a tapadási határ közelében dolgozik, és egyik tengely sem blokkol korábban. A mai járművekben ezt az ABS és az elektronikus fékerő-elosztó (EBV) valósítja meg.

26.1.6. Kidolgozott példák

Számítás.
Egy személyautó 50 km/h sebességről vészfékez. A fékhatás $z = 0{,}8$, a reakcióidő $t_r = 1{,}0\,\mathrm{s}$, a fékkésedelmet elhanyagoljuk. Mekkora a tiszta fékút és a teljes megállási út?

Adott: $v_0 = 50\,\mathrm{km/h}$, $z = 0{,}8$, $t_r = 1{,}0\,\mathrm{s}$.
Keresett: $s_{\text{fék}}$, $s_{\text{megállás}}$.
Átváltás: $v_0 = 50/3{,}6 = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$.
Tiszta fékút:

$$s_{\text{fék}} = \frac{v_0^2}{2zg} = \frac{(13{,}9)^2}{2 \cdot 0{,}8 \cdot 9{,}81} = \frac{193{,}2}{15{,}70} \approx 12{,}3\,\mathrm{m}$$

A reakcióidő alatt megtett út:

$$s_{\text{reakció}} = v_0 t_r = 13{,}9 \cdot 1{,}0 = 13{,}9\,\mathrm{m}$$

Teljes megállási út:

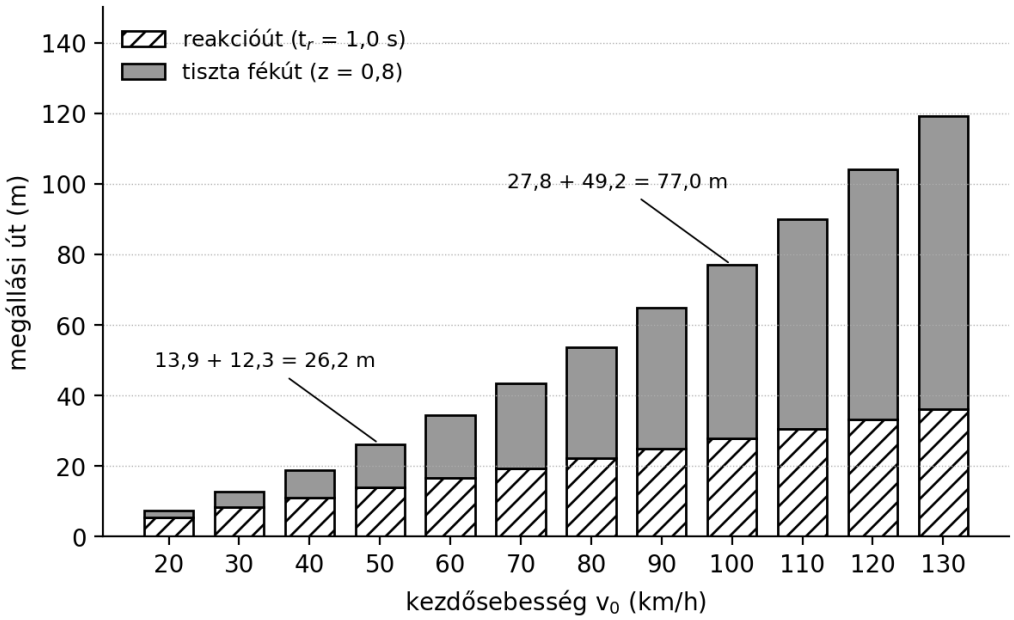
$$s_{\text{megállás}} = 13{,}9 + 12{,}3 \approx 26{,}2\,\mathrm{m}$$

Ellenőrzés: 80 % fékhatás mellett a lassulás $0{,}8 \cdot 9{,}81 = 7{,}85\,\mathrm{m/s^2}$, a fékút nagyságrendje reális.

Számítás.
Ugyanaz a jármű 100 km/h sebességről fékez, a fékhatás csak 0,7, a reakcióidő 1,2 s.
Átváltás: $v_0 = 100/3{,}6 = 27{,}78\,\mathrm{m/s}$.
Tiszta fékút:

$$s_{\text{fék}} = \frac{27{,}78^2}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 9{,}81} = \frac{771{,}7}{13{,}73} \approx 56{,}2\,\mathrm{m}$$

Reakcióút: $27{,}78 \cdot 1{,}2 = 33{,}3\,\mathrm{m}$.
Teljes megállási út: $56{,}2 + 33{,}3 \approx 89{,}5\,\mathrm{m}$.
Tanulság: a sebesség duplázásával a tiszta fékút négyszeresére nő, a reakcióút pedig kétszeresére, ezért a teljes megállási út a nagyobb sebességnél aránytalanul nő.



26.2. ábra. Megállási út a kezdősebesség függvényében: reakcióút ($t_r = 1{,}0$ s) és tiszta fékút ($z = 0{,}8$) egymásra halmozva

Az ábrán a sraffozott reakcióút a sebességgel egyenes arányban, a szürke fékút a sebesség négyzetével nő: 50 km/h-nál $13{,}9 + 12{,}3 = 26{,}2$ m, 100 km/h-nál (azonos t_r és z mellett) $27{,}8 + 49{,}2 = 77{,}0$ m, vagyis a kétszeres sebességhez kb. háromszoros megállási út tartozik. A HTML-kiadás kalkulátorában a kezdősebesség, a reakcióidő, a fékkésedelem és a fékhatás állítható; a sebesség–idő diagramon a reakcióút a téglalap, a fékút a háromszög területe.

Számítás és ellenőrzés.
Egy fékpadon mért átlagos lassulás $7{,}1\,\mathrm{m/s^2}$. Mekkora a fékhatás?

$$z = \frac{a}{g} = \frac{7{,}1}{9{,}81} \approx 0{,}724 \quad (72{,}4\,\%)$$

Ez rendszerint megfelel a műszaki vizsga követelményeinek, de a pontos határértéket a hatályos előírás adja meg (ellenőrizendő).

Hibás példa.
Egy tanuló a fékutat így számolja: $v_0 = 50\,\mathrm{km/h}$, $a = 8\,\mathrm{m/s^2}$, ezért $s = v_0^2/(2a) = 50^2/(2 \cdot 8) = 156\,\mathrm{m}$. Mi a hiba?
A hiba: a sebességet nem váltotta át m/s-ra. Helyesen $13{,}9\,\mathrm{m/s}$, így $s \approx 12{,}1$ m. Ez a nagyságrendi hiba tipikus.

26.1.7. Előírások a fékezéssel kapcsolatban

Előírás.
A közúti járművek fékrendszereire az ENSZ-EGB előírásai vonatkoznak, különösen az ECE R13 (nagyobb járművek és légfékek) és az ECE R13-H (személygépkocsik hidraulikus fékrendszerei). Az EU típusjóváhagyási keretében ezeket az előírásokat alkalmazzák. A pontos számértékeket nem adjuk meg általánosan, mert járműkategóriánként eltérőek, és a hatályos szövegekben ellenőrizendők: az üzemi fékre előírt minimális fékhatás jellemzően 60–75 % körüli, a rögzítőféknek pedig adott emelkedésű lejtőn kell megtartani a járművet (ellenőrizendő: ECE R13-H és a hazai rendelet aktuális követelményei).

Előírás.
A hidraulikus fékrendszernek **kétkörösnek** kell lennie: a rendszert úgy kell kialakítani, hogy az egyik kör meghibásodása (például csőtörés) esetén a másik kör még fékhatást biztosítson. Ez általában átlós (X) elrendezéssel vagy elöl–hátul osztással valósul meg. A kétkörösség követelménye az ECE előírásokból és a hazai műszaki vizsgálati szabályokból következik (ellenőrizendő: 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai). A műszaki vizsgán a fékhatást fékerő-mérő padon vagy lassulásmérővel ellenőrzik, és a két kör egyenként is vizsgálható.

Előírás.
A fékrendszer elemeire gyártói javítási adatokat kell használni: a betétek, tárcsák, dobok kopási határait, a fékfolyadék cseréjének intervallumát, a légtelenítési sorrendet és a meghúzási nyomatékokat mindig a gyártó dokumentációja adja meg. A fejezetben szereplő értékek tanulási példák, nem helyettesítik a gyártói adatokat.

26.1.8. Minőségellenőrzés

A fékrendszer ellenőrzése során a következőket mérjük:

- **Fékhatás:** fékpadon megmérik a kerékenkénti fékerőt, vagy menet közben lassulásmérővel a teljes lassulást. A fékhatás $z = a/g$ képlettel számítható.
- **Fékerő-eloszlás:** az első és hátsó tengely fékerő-arányát a dinamikus tengelyterheléshez hasonlítjuk. A modern járműveken az ABS/EBV szabályozza, de a fékpadon látható, ha valamelyik tengely nem dolgozik.
- **Kétkörösség:** a fékpadon az egyik kör szimulált meghibásodásával (például a rendszer egy részének kiiktatásával) ellenőrzik, hogy marad-e fékerő a másik körön.
- **Rögzítőfék:** a rögzítőféknek a járművet lejtőn vagy a fékpadon mért erővel kell tartania; a határérték járműkategóriától függ.

26.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy autója „hosszú fékúttal” áll meg, és a fékpedál mélyen jár. A szerelő először kiolvassa a hibakódokat, mert az ABS/ESP rendszer hibája is okozhat csökkent fékhatást. Ezután fékpadon megméri a kerékenkénti fékerőt: a bal hátsó kerék fékerője feltűnően alacsony, a pedál mélyen jár. A vizsgálat során kiderül, hogy a bal hátsó féknyereg dugattyúja szorul, ezért az a kerék alig dolgozik; a dugattyú porvédőjének sérülésén át a nyeregnél fékfolyadék szivárog, emiatt a rendszerbe levegő került – ezért jár mélyen a pedál. A javítás a féknyereg felújítása, a fékfolyadék légtelenítése és csere. A próbaút után újra fékpadra állnak, a fékerők kiegyenlítődnek, a fékhatás eléri az előírt értéket. A tanulság: a fékhatás nemcsak a betétektől függ, hanem a hidraulika állapotától és a fékerő-elosztástól is.

26.1.10. Tipikus hibák

1. **Mértékegység-váltás elmulasztása.** A fékút számításakor a sebességet km/h-ban helyettesítik be, így irreálisan nagy értéket kapnak. Helyes: először átváltás m/s-ra.
2. **A reakcióidő elhanyagolása.** A teljes megállási út számításánál figyelmen kívül hagyják a reakcióidőt, ezért alábecsülik a veszélyhelyzetben szükséges utat. A reakcióidő alatt a jármű jelentős utat tesz meg, különösen nagy sebességnél.
3. **Merev fékerő-elosztás feltételezése.** Azt gondolják, hogy az első és hátsó kerekekre egyenlő fékerő jut. Valójában fékezéskor a tengelyterhelés-áthelyeződés miatt az első tengelyre nagyobb fékerőt kell adni, különben a hátsó kerekek blokkolnak.

4. **A kétkörösség szerepének félreértése.** Azt hiszik, hogy a kétkörös rendszer csak redundancia; pedig a két kör együttesen biztosítja a stabilitást és a rövidebb fékutat, egy kör kiesésekor a másik kör a járművet még biztonságosan lassítja.

26.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A fékhatás $z = a/g$ értéke soha nem lehet nagyobb 1-nél.
2. Igaz vagy hamis? A fékút egyenesen arányos a kezdeti sebességgel.
3. Mennyi a fékhatás, ha a mért lassulás $6{,}5\,\mathrm{m/s^2}$?
4. Egy 1200 kg tömegű jármű tengelytávja 2,5 m, súlypontmagassága 0,45 m, lassulása 6 m/s². Mekkora a tengelyterhelés-áthelyeződés?
5. Miért nő meg az első tengely terhelése fékezéskor?
6. Mi a hiba ebben a leírásban? „A fékút $v_0 = 90\,\mathrm{km/h}$, $a = 7\,\mathrm{m/s^2}$ esetén $s = 90^2/(2 \cdot 7) = 578\,\mathrm{m}$.”

26.1.12. Feladatok

1. feladat (A)
Definiálja a fékhatást és a fékutat. Milyen mértékegységben mérjük őket?

2. feladat (A)
Egy jármű 80 km/h sebességről 0,75 fékhatással fékez. Mennyi a tiszta fékút? (A reakcióidőt hanyagolja el.)

3. feladat (B)
Számítsa ki a teljes megállási utat, ha a jármű 54 km/h sebességről fékez, a fékhatás 0,7, a reakcióidő 1,1 s. Értelmezze a két részút arányát.

4. feladat (B)
Egy személyautó tömege 1400 kg, tengelytávja 2,6 m, súlypontmagassága 0,5 m. Statikus első tengelyterhelés 7700 N, hátsó 6034 N (összegük $mg = 1400 \cdot 9{,}81 \approx 13\,734\,\mathrm{N}$). Mekkora a dinamikus tengelyterhelés $8\,\mathrm{m/s^2}$ lassulásnál? Melyik tengely blokkolna hamarabb merev 50–50% fékerő-elosztás esetén?

5. feladat (C)
Hasonlítsa össze a fékutat 50 km/h és 100 km/h sebességnél, ha a fékhatás mindkét esetben 0,8, és a reakcióidő 1 s. Mennyivel nő a teljes megállási út? Mit mond ez a biztonságos követési távolságról?

6. feladat (D)
Egy ügyfél autója az ABS-szabályozás sűrű beavatkozását jelzi vészfékezéskor, és a fékút hosszú. A fékpadon az első tengely fékerője jóval nagyobb a hátsónál, de a hátsó kerekek hamar blokkolnak. Milyen hibát gyanít a fékerő-elosztásban, és hogyan ellenőrzi?

26.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Jó tapadású abronccsal, száraz úton $\mu > 1$ is lehet, sportautóknál $z > 1$.
2. Hamis. A fékút a kezdősebesség négyzetével arányos.
3. $z = 6{,}5/9{,}81 \approx 0{,}663$ (66,3%).
4. $\Delta F = \dfrac{mah_\mathrm{s}}{l} = \dfrac{1200 \cdot 6 \cdot 0{,}45}{2{,}5} = 1296\,\mathrm{N}$.

5. A súlypontban ható tehetetlenségi erő előrebillentő nyomatékot hoz létre, ezért a terhelés az első tengelyre helyeződik át.
6. A 90 km/h-t nem váltották át m/s-ra: $v_0 = 25\,\text{m/s}$, így $s = 625/14 \approx 44{,}6\,\text{m}$.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A)
A fékhatás $z = a/g$, a lassulás és a nehézségi gyorsulás hányadosa, dimenzió nélküli szám vagy százalék. A fékút a fékezés kezdetétől a megállásig megtett út, mértékegysége méter (m).

2. feladat (A)
$v_0 = 80/3{,}6 = 22{,}22\,\text{m/s}$, $z = 0{,}75$.

$$s_{\text{fék}} = \frac{22{,}22^2}{2 \cdot 0{,}75 \cdot 9{,}81} = \frac{493{,}7}{14{,}72} \approx 33{,}5\,\text{m}$$

3. feladat (B)
$v_0 = 54/3{,}6 = 15\,\text{m/s}$.
Tiszta fékút: $s_{\text{fék}} = 15^2/(2 \cdot 0{,}7 \cdot 9{,}81) = 225/13{,}73 \approx 16{,}4\,\text{m}$.
Reakcióút: $s_{\text{reakció}} = 15 \cdot 1{,}1 = 16{,}5\,\text{m}$.
Teljes megállási út: 32,9 m. A reakcióút és a fékút közel azonos arányú, ami mutatja, hogy a reakcióidő jelentős része a teljes megállási útnak.

4. feladat (B)
$\Delta F = mah_{\text{s}}/l = 1400 \cdot 8 \cdot 0{,}5/2{,}6 = 5600/2{,}6 \approx 2154\,\text{N}$.
Dinamikus első tengely: $7700 + 2154 = 9854\,\text{N}$.
Dinamikus hátsó tengely: $6034 - 2154 = 3880\,\text{N}$. Ellenőrzés: $9854 + 3880 = 13\,734\,\text{N} = mg$.
Merev 50–50% fékerő-eloszlásnál a hátsó tengelyre jutó fékerő a teljes fékerő fele lenne, de a hátsó tengely terhelése kisebb, ezért a hátsó kerekek hamarabb blokkolnának. Az ideális eloszlás körülbelül 72 % első, 28 % hátsó (a dinamikus terhelések arányában: $9854/13\,734 \approx 0{,}72$).

5. feladat (C)
50 km/h esetén (13,9 m/s, z=0,8): fékút $\approx 12{,}3$ m, reakcióút 13,9 m, teljes 26,2 m.
100 km/h esetén (27,78 m/s, z=0,8): fékút $27{,}78^2/(2 \cdot 0{,}8 \cdot 9{,}81) \approx 49{,}2$ m, reakcióút 27,78 m, teljes 77,0 m.
A teljes megállási út közel háromszoros, pedig a sebesség csak kétszeres. Ezért nagyobb sebességnél lényegesen nagyobb követési távolság kell.

6. feladat (D)
A hátsó kerekek blokkolása azt jelzi, hogy a hátsó tengelyre túl nagy fékerő jut a dinamikus terheléséhez képest, vagy az ABS/EBV rendszer nem szabályozza megfelelően a hátsó fékerőt. Ellenőrzés: fékpadon mérjük a kerékenkénti fékerőt és a blokkolási sorrendet, kiolvassuk az ABS vezérlő adatait, ellenőrizzük a kerékfordulatszám-jeladókat és a hidraulikus egységet. Ha a szenzorok jók, akkor a fékerő-elosztó szelep vagy az EBV programozása lehet hibás.

26.1.14. Rövid összefoglaló

A fékezés során a jármű mozgási energiája a fékeknél hővé alakul. A lassulás a, a fékhatás $z = a/g$. A tiszta fékút $s_{\text{fék}} = v_0^2/(2zg)$, a teljes megállási út ehhez hozzáadja a reakcióidő alatt megtett utat $v_0 t_r$. A fékút a sebesség négyzetével arányos, ezért a sebesség duplázása négyszeres fékutat ad. Fékezéskor a tehetetlenségi erő a tengelyterhelést az első tengely felé tolja el: $\Delta F = mah_{\text{s}}/l$, így az ideális fékerő-elosztás az első tengelyre nagyobb fékerőt rendel. A fékrendszerek feladat szerint üzemi, rögzítő, segéd- és tartós lassító fékek; a hidraulikus rendszernek kétkörösnek kell lennie. A hatósági követelményeket az ECE R13-H és a hazai műszaki vizsga előírása rögzíti,

amelyek a fékhatásra, a kétkörösségre és a rögzítőfékre adnak határértékeket. **Továbbvitt eredmény.** A fékút, a fékhatás és a tengelyterhelés-áthelyeződés ezen összefüggéseit használjuk a hidraulikus fékrendszer méretezésénél (A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék), a fékdiagnosztikai és hatósági vizsgálatnál (Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata), valamint a kerékpárfékek ellenőrzésénél (Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása).

26.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB előírások (különösen ECE R13 és R13-H), az Európai Unió típusjóváhagyási keretrendelete (2018/858, ellenőrizendő), a hazai közúti járművek műszaki vizsgálatára vonatkozó 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai, gyártói javítási adatok, mechanika és féktechnika tankönyvek.

Ellenőrizendő állítások: az üzemi fék minimális fékhatásának pontos értéke járműkategóriánként, a rögzítőfék lejtőn tartási követelménye, a reakcióidő és fékkésedelem jellemző értékei, a fékpadon mért határértékek, a diagram és a példákban szereplő tengelyterhelés-értékek, valamint a gyártói kopási és beállítási adatok.

26.2. A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék

26.2.1. Motiváció

Az ügyfél elmondása szerint a fékpedál „mélyre esik”, a fékhatás pedig gyengébb a megszokottnál. A műhelyben a folyadékszint ellenőrzésekor látod, hogy a tárgyi fékfolyadék szintje a minimum közelébe süllyedt, de a kereknél nem találsz nyilvánvaló csöpögést. A hidraulikus fékrendszer elméletének ismerete nélkül csak találgatnál. Ha viszont pontosan érted a pedálerő és a kerékfékerő közötti áttételt, valamint a főfékhenger működését, tudod, hogy a külső folyadéknyom nélküli pedálsüllyedés a tandempersely (a főfékhenger belső tömítésének) hibájára vagy a fékfolyadék felforrására is utalhat. Ezt a tudást használod fel a hibakereséskor és a rendszer légtelenítésekor is.

26.2.2. Szemléletes kép

Képzeld el a műhelyben álló autó hidraulikus fékrendszerét egy fecskendő-párként. Egy keskeny mesterhenger-dugattyút nyomsz be a pedállal; ez az erő egy csövön keresztül egy sokkal nagyobb átmérőjű munkahenger-dugattyúra hat. A nagy dugattyún ébredő nyomóerő sokkal nagyobb, mint amit a pedálra kifejtettél, miközben a nagy dugattyú elmozdulása sokkal kisebb. Ez az áttétel a hidraulikus fék működésének alapja. A főfékhenger (mesterhenger) a pedál mozgását hidraulikus nyomássá, a kerékfékhenger (munkahenger) pedig a nyomást szorítóerővé alakítja.

26.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A hidraulikus erőátviteli fék olyan súrlódó fék, amelyben a pedálerőt és a pedálutat zárt csőhálózatban lévő fékfolyadékkal alakítják át a kerékfékek működtetéséhez szükséges nagy erővé és rövid úttá.

Összefüggés. A hidraulikus fék működése a Pascal-törvényen alapul: **zárt, nyugvó folyadékban a nyomás minden irányban gyengítetlenül terjed**. Ha a főfékhenger dugattyúfelülete A_1, az ott kifejtett erő F_1, akkor a rendszerben uralkodó túlnyomás:

$$p = \frac{F_1}{A_1}.$$

A kerékfékhenger dugattyúján (A_2 felület) ez a p nyomás

$$F_2 = p \cdot A_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

erőt hoz létre. A hidraulikus áttétel tehát a felületek arányától függ. A térfogat-állandóság miatt a dugattyúutak a felületekkel fordítottan arányosak:

$$A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2.$$

Szabály. A hidraulikus fékrendszerben a fékfolyadék gyakorlatilag összenyomhatatlan; a rendszerben lévő levegő azonban összenyomható, ezért a légtelenítetlen rendszerben a pedál „szivacsos" lesz, és a fékerő csökken.

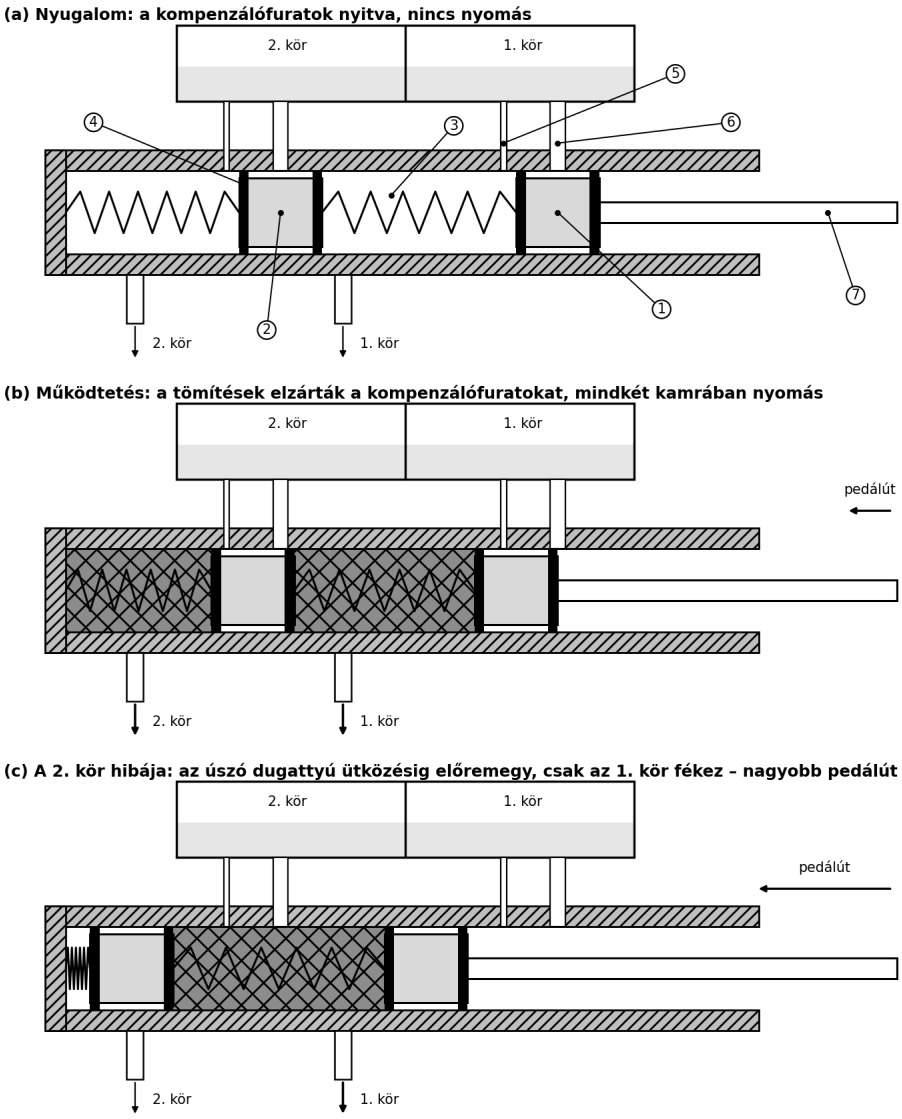
26.2.4. Felépítés és működés

A hidraulikus fék fő részei:

- **Fékpedál és áttétel:** a pedálkar a láb erejét a pedáláttétel ($i_p \approx 3 \dots 6$) szerint növeli és átadja a rásegítőnek vagy a főfékhengernek.
- **Fékrásegítő (booster):** a pedálerőt külső energiával (legtöbbször szívócső-depresszióval) kiegészíti.
- **Főfékhenger (master cylinder):** a bemenő erőt hidraulikus nyomássá alakítja.
- **Csőhálózat és tömlők:** a nyomást a kerékfékekhez vezetik; merev fémcsövek és hajlékony gumiból vagy fémből készült tömlők.
- **Kerékfékek:** hidraulikus fékhengerek (dobfékben munkahenger, tárcsafékben féknyereg) a nyomást szorítóerővé alakítják.

26.2.4.1. Tandem főfékhenger

A mai járműveken a főfékhenger biztonsági szempontból **tandem** kivitelű, azaz egymás mögött két nyomókamrát és két dugattyút építenek be. A pedál felől az első dugattyú az egyik közvetlenül, a második közvetve a nyomás és a nyomófej által mozog. Mindkét kamrához külön tartály és külön fékkör csatlakozik. A kamrák egyenként biztosítják a fékerő egy részét; ha az egyik körben folyadéknyomás-vesztés következik be, a másik körben a nyomás a kieső dugattyú ütközési helyzetéig felépíthető, így a jármű nem marad fék nélkül, csak megnő a pedálút.



1 primer (pedál felőli) dugattyú, 2 szekunder (úszó) dugattyú, 3 visszahúzó rugók, 4 tömítések, 5 kompenzálófurat, 6 utántöltő furat, 7 nyomórúd; fent a kétkamrás tartály. Sötét, kereszt-sraffozott kamra = nyomás alatt. Sematikus metszet, nem méretarányos.

26.3. ábra. Tandem főfékhenger hosszmetszete: (a) nyugalom, (b) működtetés, (c) a 2. kör hibája

Nyugalomban (a) a kompenzálófuratok nyitva vannak, a kamrák a kétkamrás tartállyal összeköttetésben állnak, így a hőtágulás és a betétkopás kiegyenlítődik. A pedál lenyomásakor (b) a dugattyúk tömítései elhaladnak a kompenzálófuratok előtt, és mindkét kamrában nyomás épül fel: a primer dugattyút a nyomórúd, az úszó (szekunder) dugattyút a primer kamra nyomása tolja. Ha az egyik kör kiesik (c), a dugattyú ütközésig vagy a másik dugattyúig előremegy, és csak utána épül nyomás a megmaradt körben – ezért nő meg a pedálút. A HTML-kiadásban a lépések (nyugalom, furatzárás, nyomásfelépülés, a 2., illetve az 1. kör hibája) egymás után lejátszhatók.

26.2.4.2. Kétkörös elrendezések

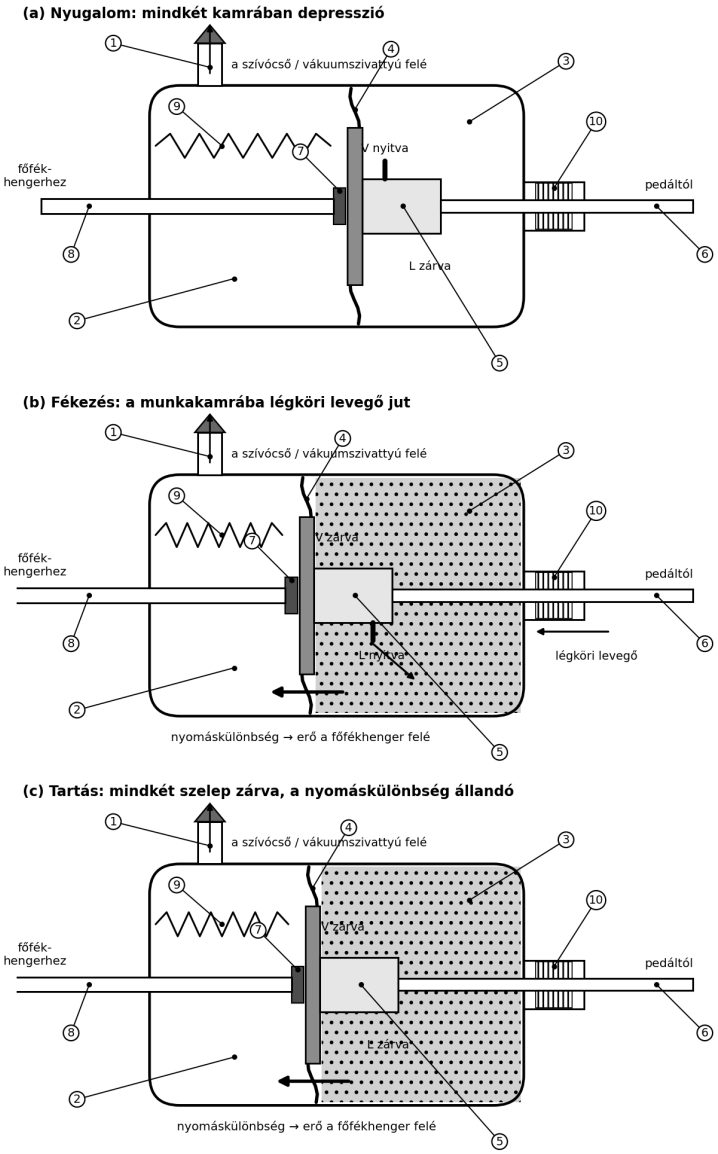
A kétkörös elrendezésnek több változata ismert, a két leggyakoribb a **II (fekete-fehér)**, amely az első és hátsó tengelyt választja szét, és az **X (diagonális)**, amely az első bal–jobb hátsó és az első jobb–bal hátsó kereket köti össze.

Az **X-elrendezés** előnye, hogy ha az egyik kör kiesik, a megmaradó kör az egyik első és az ellentétes oldali hátsó keréken hat, így a jármű fékezése sokkal stabilabb, kisebb az oldalra húzás. A **II-elrendezés** (gyakran a hátsó tengelyen nagy dinamikus tengelyterhelés-változású, orrmotoros járműveknél, de főként régi járműveken) előnye, hogy egyszerűbb a fékerő-elosztás, hátránya viszont, hogy ha az első kör hibásodik meg, a hátsó tengelyen elérhető maximális fékerő az alacsonyabb hátsó terhelés miatt igen csekély. A gyakorlatban a modern személygépkocsik túlnyomó többsége X-körös.

Szabály. A korszerű járművek fékrendszerében a pedálerő mellett mindig beépítenek rásegítést; a kétkörös rendszerben a két kör elrendezése a jármű stabilitását befolyásolja. (ellenőrizendő: a konkrét jármű gyártói kapcsolási rajza)

26.2.4.3. Depressziós (vákuumos) fékrásegítő

A legelterjedtebb rásegítő a depressziós (vákuumos) fékrásegítő. A rásegítő egy légmentesen két kamrára osztott, gumimembránnal elválasztott tokban helyezkedik el. Nyugalmi helyzetben az indító tolattyú mindkét kamrát a szívócső (vagy vákuumszivattyú) felé nyitja, így mindkét kamrában azonos, a légköri nyomásnál kisebb nyomás uralkodik. A pedál lenyomásakor az indító tolattyú először a hátsó (pedál felőli) kamrát szeparálja el a vákuumtól, és kis mértékben atmoszférikus levegőt enged be. A membrán két oldala közötti nyomáskülönbség erőt hoz létre, amely a pedálerőhöz adódik. Fékezés nélkül a kiinduló depresszió helyreáll. A maximális rásegítőerő a membránfelület és a rendelkezésre álló nyomáskülönbség szorzata.



1 vákuumcsatlakozó visszacsapó szeleppel, 2 vákuumkamra, 3 munkakamra, 4 membrán és membránlap, 5 vezérlőszelep (V: vákuumszelep, L: légbeömlő szelep), 6 bemenő rúd, 7 reakciótárcsa, 8 kimenő nyomórúd, 9 visszatérítő rugó, 10 légszűrő. Üres = depresszió, pontozott = légköri levegő.

26.4. ábra. Vákuumos fékrásegítő hosszmetszete: (a) nyugalom, (b) fékezés, (c) tartás

Az ábrán az üres kamra depresszió alatt van, a pontozott kamrában légköri levegő van. Nyugalomban (a) a vákuumszelep (V) nyitva, a légbeömlő szelep (L) zárva. Fékezéskor (b) a bemenő rúd elzárja a vákuumszelepet és nyitja a légszelepet: a szűrőn át levegő jut a munkakamrába, a nyomáskülönbség a membránt és a kimenő nyomórudat a főfékhenger felé tolja. Állandó pedálerőnél (c) mindkét szelep zárva marad. A HTML-kiadás negyedik lépése a „motor áll” esetet mutatja: depresszió nélkül nincs rásegítés, a pedál kemény.

A dízel és elektromos járműveknél, mivel nincs szívócső-depresszió, **vákuumszivattyú** (mechanikus vagy elektromos) termeli a szükséges vákuumot. A modern hibrid és elektromos járműveken emellett terjed az **elektromechanikus fékrásegítő**, amely villanymotorral és áttétellel építi fel a rásegítőerőt, és a fékasszisztensek (pl. aktív nyomásfelépítés ütközéselkerüléshez) energiaellátását is biztosítja.

26.2.4.4. Fékerő-szabályozó

A fékerő-szabályozó (gyakran terhelésfüggő) azt a célt szolgálja, hogy a hátsó kerekekre jutó fékerő ne nőjön a hátsó tengely dinamikus terhelése fölé, különben a hátsó kerekek blokkolnak, és a jármű farrésze kilendülhet. A terhelésfüggő szabályozó a hátsó tengely rugóútjából mechanikus emelővel csökkenti a hátsó körök nyomását; nagyobb hátsó terhelésnél nagyobb nyomást enged át. Ma ezt a funkciót gyakran az ABS/ESP rendszer elektronikus fékerő-elosztó (EBV) funkciója vette át, mechanikus szabályozó nélkül. (ellenőrizendő: az adott jármű felszereltsége)

26.2.4.5. Fékfolyadék

A fékfolyadék a hidraulikus közeg, amelynek **nedvszívó (higroszkópos)** tulajdonsága van: az idő múlásával vizet vesz fel a levegőből a tömlőkön és a tartály zárásán keresztül. A víz csökkenti a fékfolyadék forráspontját, ami erős igénybevételnél (hosszú lejtmenet, nagy tömegű jármű) gőzbuborékokat hozhat létre a rendszerben; a gőzbuborék összenyomható, ezért a pedál mélyre esik, és a fékhatás hirtelen drasztikusan romlik. Ezért a fékfolyadékot a gyártói előírás szerint **általában kétévente** cserélni kell, még akkor is, ha a folyadékszint rendben van. (ellenőrizendő: a jármű gyártói periódusa)

A leggyakoribb fékfolyadék-osztályok (nemzetközi minőségi osztályok, nem szabályozási hivatkozások): **DOT 3**, **DOT 4**, **DOT 5.1**. A DOT 3 száraz forráspontja legalább 205 °C, a DOT 4-é legalább 230 °C, a DOT 5.1-é több mint 260 °C (ellenőrizendő: a pontos határértékek az aktuális szabvány szerint). A **DOT 5** szilikon alapú, nem keverhető a DOT 3/4/5.1 folyadékokkal, és légteleníthetősége is eltér. A gyakorlatban a személygépkocsik zöménél DOT 4 vagy DOT 5.1 használatos.

Előírás. A fékfolyadék cseréjét a gyártói javítási utasítás szerint, a körök megadott sorrendjében kell elvégezni, tilos a használt fékfolyadékot újra felhasználni. A kiürült levegős rendszerű vezetéket a gyártói sorrend szerint légteleníteni kell. (ellenőrizendő: a légtelenítési sorrend a gyártói adat)

26.2.5. Kidolgozott számítások

Számítás 1. Egy személygépkocsi fékpedáljára $F_{\text{pedál}} = 200\,\text{N}$ lábnyomó erőt fejtünk ki. A pedáláttétel $i_p = 4$, a fékrásegítő további $F_{\text{boost}} = 1500\,\text{N}$ erőt ad a főfékhenger dugattyújára. A tandem főfékhenger átmérője $d_1 = 22{,}2\,\text{mm}$, az egyik tárcsafék-nyereg dugattyúátmérője $d_2 = 54{,}0\,\text{mm}$. Mennyi a hidraulikus nyomás és a nyeregdugattyúra jutó szorítóerő?

Adott: - $F_{\text{pedál}} = 200\,\text{N}$ - $i_p = 4$ - $F_{\text{boost}} = 1500\,\text{N}$ - $d_1 = 22{,}2\,\text{mm}$ - $d_2 = 54{,}0\,\text{mm}$

Keresett: p, F_2

Képlet: $F_1 = i_p \cdot F_{\text{pedál}} + F_{\text{boost}}$, $A_1 = \frac{d_1^2 \pi}{4}$, $p = \frac{F_1}{A_1}$, $F_2 = p \cdot A_2$

Behelyettesítés: $F_1 = 4 \cdot 200\,\text{N} + 1500\,\text{N} = 2300\,\text{N}$. $A_1 = \frac{(22{,}2\,\text{mm})^2 \cdot \pi}{4} = 387\,\text{mm}^2$. $p = \frac{2300\,\text{N}}{387\,\text{mm}^2} \approx 5{,}94\,\text{N/mm}^2 = 5{,}94\,\text{MPa} = 59{,}4\,\text{bar}$. $A_2 = \frac{(54{,}0\,\text{mm})^2 \cdot \pi}{4} = 2290\,\text{mm}^2$. $F_2 = 5{,}94\,\text{N/mm}^2 \cdot 2290\,\text{mm}^2 \approx 13\,600\,\text{N} = 13{,}6\,\text{kN}$.

Eredmény: A hidraulikus nyomás kb. 59 bar, a nyeregdugattyúra jutó szorítóerő kb. 13,6 kN. Ez az erő a betétet a tárcsához szorítja, és a fékerőt a fékbetét–tárcsa súrlódási tényezője ($\mu \approx 0{,}35 \ldots 0{,}45$) alakítja át a kerék kerületi fékerővé.

Számítás 2. Ugyanez a jármű, de most számítsd ki a pedálutat a kerékfékhenger elmozdulásából. A főfékhenger dugattyúja $s_1 = 12\,\text{mm}$ utat tesz meg. Mekkora a nyeregdugattyú elmozdulása, ha feltételezzük, hogy a rendszer merev és légmentes, és csak egyetlen nyeregdugattyú működik?

Adott: $A_1 = 387\,\text{mm}^2$, $A_2 = 2290\,\text{mm}^2$, $s_1 = 12\,\text{mm}$

Keresett: s_2

Képlet: $A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2 \Rightarrow s_2 = s_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}$

Behelyettesítés: $s_2 = 12\,\text{mm} \cdot \frac{387\,\text{mm}^2}{2290\,\text{mm}^2} \approx 2{,}03\,\text{mm}$.

Eredmény: Egy dugattyúra számolva a nyeregdugattyú kb. 2 mm-t mozdulna. **Ellenőrzés:** A számítás a Pascal-törvénynek megfelelően fordított arányú elmozdulást mutat: nagyobb felületen kisebb elmozdulás, nagyobb erő. A nyeregdugattyú tényleges üzemi elmozdulása azonban jóval kisebb: a betét–tárcsa légrés tengelyirányban néhány tized mm, a főfékhenger pedig egyszerre több dugattyút lát el, és a tömlők tágulása, a betétek összenyomódása is térfogatot vesz fel, ezért a valós dugattyúelmozdulás kisebb, mint ez az egy dugattyúra számolt érték. ∎

26.2.6. Minőségellenőrzés

A hidraulikus rendszert a gyakorlatban így ellenőrzöd:

1. **Pedálérzet:** a pedál nyugalmi helyzetben kemény, benyomva nem süllyed lassan tovább. A lassú süllyedés a tandem főfékhenger belső tömítésének kopására utal.
2. **Folyadékszint:** a tartály szintje a MIN/MAX jelek között; az alacsony szint tömítetlenségre, kopott első fékbetétre vagy belső szivárgásra figyelmeztet.
3. **Fékfolyadék forráspontja:** forráspontmérővel (vagy tesztceruzával) mért nedves forráspont; a DOT 4-nél a használt folyadék nedves forráspontja 155 °C alá csökkenhet, ekkor csere szükséges (ellenőrizendő: a műszer gyártói határértékei).
4. **Vákuum és rásegítő:** a depressziós rásegítő működését a motor leállítása után a fékpedál többszöri lenyomásával ellenőrizheted; a pedál keményedik, majd a motor indítása után a rásegítővel a pedál ismét beejt.

26.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: egy középkategóriás autónál az ESP-szabályozás működése közben a fékpedál pulzál, és a műszerfalon időnként világít a fékfolyadékszint-ellenőrző lámpa. A vevő szerint a pedál néha hosszabbra nyúlik, a fékfolyadékszint-lámpa időnként világít (az ESP/ABS-szabályozás közbeni pedálpulzálás normális). A műhelyben a tapintásos ellenőrzés során a pedál kemény, a motor leállítása után néhány lenyomásra keményedik (a vákuumtartalék elfogy – ez normális). A fékrásegítőnél kívülről nincs szivárgás, de a tartály szintje a minimum alatt van.

A javító eltávolítja a kerekeket, és megkeresi a folyadéknyomot. A bal első kerékjárati ívben a merev fékcső a tartóbilincsnél korrodált, szivárog, a bevonata felrepedt. A hibás szakaszt a járműhöz előírt, gyárilag peremezett fékcsővel cserélik, a főfékhenger megbontása nélkül. A szerelő a kicserélt cső körét a gyártó által megadott sorrendben légteleníti, majd a fékpedál szilárdságát nyomásmérővel ellenőrzi az első és hátsó körben. Az ESP-rendszerben lévő légbuborékok miatt a rendszert tesztelővel légteleníti, a kormányszög- és nyomásérzékelő adaptációt futtat. A próbaút során a pedál szilárd, a fékhatás kiegyensúlyozott.

Figyelem. A fékfolyadék erősen maró hatású a fényezésre és a műanyag alkatrészekre; a bőrre kenődve szárító, irritáló. Mindig viselj védőszemüveget és kesztyűt. A használt fékfolyadékot veszélyes hulladékként, zárt edényben kell gyűjteni.

Környezetvédelem. A fékfolyadék nem keverhető a fáradt olajjal, és a talajba, csatornába nem kerülhet. A higroszkópos fékfolyadék lezárt tartályban, hűvös, száraz helyen tárolandó; a kibontott palackot a címke szerinti ideig szabad csak felhasználni. (ellenőrizendő: a gyártó eltarthatósági adata)

26.2.8. Tipikus hibák

1. **DOT 5 és DOT 4 keverése.** A szilikon alapú DOT 5 tilos DOT 3/4/5.1 folyadékkal keverni; a keveredés habzást, kenőszegény zónát és a tömítések károsodását okozza. Az egész rendszert át kell öblíteni.
2. **A fékfolyadék feltöltése a fékpedál bejárása nélkül.** A tandempersely működésekor a tartály szintje a kompenzálófuraton keresztül enyhén ingadozik. Ha a rendszert csontszárazig leürítették, és teletöltik anélkül, hogy a főfékhengert előbb bejárnák, a kamrákban levegő ragadhat, amitől a légtelenítés reménytelenül időigényes lesz.
3. **A légtelenítő csavarok meghúzása nyomatékkulcs nélkül.** A kis átmérőjű, üreges csavarok túlhúzása töréshez, a túl laza viszont folyadékvesztéshez vezet. A pontos meghúzási nyomaték a gyártótól függ (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. **A fékbetét cseréje a fékfolyadék-visszatolása előtt.** Ha a féknyereg dugattyúját úgy tolják vissza, hogy közben a fékfolyadék-tartályt nem figyelik, a túlcsorduló fékfolyadék a féktartályból kimarja a fényezést, és a nedvességet a tartályba engedi. A visszanyomás előtt a fölösleges folyadékot le kell szívni.

26.2.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A hidraulikus fékrendszerben a nyomás a rendszer legszűkebb keresztmetszeténél a legnagyobb. Indokold!
2. **Igaz vagy hamis?** Ha a főfékhenger első körének csőtörése keletkezik, a pedál teljesen a fenékig nyomható, és semmilyen fékerő nem marad. Indokold!
3. **Gyors számolás:** Egy főfékhenger-dugattyú felülete $300\,\mathrm{mm}^2$, egy nyeregdugattyúé $1800\,\mathrm{mm}^2$. Mekkora áttétel? Mekkora nyomás, ha az erő $600\,\mathrm{N}$?
4. **Miért nem szabad sűrített levegővel kifújni a fékrendszer csöveit?**
5. **Mi a különbség a DOT 4 száraz és nedves forráspontja között?**

26.2.10. Feladatok

1. feladat (A) Írd fel a hidraulikus erőáttétel képletét, és számítsd ki, mekkora erő keletkezik a nyeregdugattyún, ha a főfékhenger-dugattyú felülete $79\,\mathrm{mm}^2$, a nyeregdugattyúé $1134\,\mathrm{mm}^2$, a bemenő erő pedig $250\,\mathrm{N}$.

2. feladat (A) Magyarázd el, miért válik szivacsossá a fékpedál, ha a rendszerbe levegő kerül. Mit kell tenni ekkor?

3. feladat (B) Egy tandem főfékhenger X-elrendezésű körben működik. Az első körben a cső eltört, a fékfolyadék kifolyt. Mennyi marad a fékhatásból (százalékban), és miért nem áll le a jármű? Milyen pedálútra számítasz?

4. feladat (B) Egy depressziós fékrásegítő membránátmérője $230\,\mathrm{mm}$, a vákuum és a légköri nyomás különbsége $0{,}8\,\mathrm{bar}$. Számold ki a rásegítő elméleti maximális erejét (a húzórugó erejétől tekintsünk el). Emlékeztető: $1\,\mathrm{bar} = 0{,}1\,\mathrm{N/mm}^2$.

5. feladat (C) Hasonlítsd össze a II- és az X-elrendezésű kétkörös féket a fékerő és a stabilitás szempontjából. Melyik a biztonságosabb az első kör kiesése esetén, és miért?

6. feladat (D) Egy ügyfél panasza szerint a fékpedál hosszú úton, lassan a padlóig süllyed, de sehol nem látszik külső folyadéknyom. Melyik két alkatrész hibájára gyanakszol először? Indokold a választ, és írd le a vizsgálat lépéseit.

26.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A Pascal-törvény szerint zárt nyugvó folyadékban a nyomás mindenütt ugyanakkora (a magasságkülönbségből adódó hidrosztatikai tagot elhanyagoljuk).
2. **Hamis.** A tandem főfékhengerben a másik kör a dugattyúk mechanikus kapcsolata révén csak hosszabb pedálúttal, de felépíti a nyomást és a fékerőt.
3. $i = A_2/A_1 = 1800/300 = 6$. $p = 600/300 = 2\,\mathrm{N/mm^2}$.
4. A sűrített levegő nem távolítja el a nedvességet, csak szétteríti; a levegőben lévő olaj és víz károsítja a tömítéseket, és a fékfolyadék emulziót képez.
5. A száraz forráspont az új fékfolyadékra, a nedves a kb. 3–4% víztartalmú, öregedett fékfolyadékra vonatkozó határérték; ez utóbbi számít a gyakorlatban.

Feladatok – válaszok

1. $F_2 = F_1 \cdot (A_2/A_1) = 250\,\mathrm{N} \cdot (1134/79) \approx 250\,\mathrm{N} \cdot 14{,}35 \approx 3590\,\mathrm{N}$.

2. A levegő összenyomható, ezért a pedál első fázisa a buborékok összenyomására fordul, a folyadéknyomás késleltetve épül fel; a pedál „szivacsos”. Ilyenkor a rendszert a gyártói sorrend szerint légteleníteni kell.

3. X-körösnél az egyik első és az átellenes hátsó kerék fékez tovább; a jármű kissé a fékező első kerék oldala felé húzhat; mert egy kör kiesésekor azonos pedálnyomásnál a fékerő kb. fele marad meg (a pedálerő növelésével ennél több is elérhető, a tapadás korlátjáig). A 25–35% inkább a hatósági minimum-tartalékfékhatás nagyságrendje (ellenőrizendő: ECE R13-H), nem a fizikailag megmaradó rész. A jármű ezzel még fékezhető, de a pedálút lényegesen megnő, mert a kiesett kör dugattyúja ütközésig mozdul.

4. A membránfelület $A = \pi d^2/4 = \pi \cdot 230^2/4 \approx 41\,547\,\mathrm{mm^2}$. A nyomáskülönbség $0{,}8\,\mathrm{bar} = 0{,}08\,\mathrm{N/mm^2}$. $F = p \cdot A = 0{,}08 \cdot 41\,547 \approx 3324\,\mathrm{N}$. Ez a pedálerőn felüli rásegítő erő.

5. II-elrendezésnél az első kör kiesésekor csak a hátsó tengely fékjei működnek, ami a dinamikus tengelyterhelés-átrendezés miatt kis lassulást és kipörgés-hajlamot ad. X-elrendezésnél egy első és egy átlós hátsó kerék működik, tehát az egyik orrkerekes fék megmarad, ami sokkal stabilabb, ha a jármű eleje nem fordul el.

6. Két gyanúsított van: a **tandem főfékhenger belső tömítése** (megkerüli a dugattyút) és az **ABS/ESP hidraulikus egység belső szivárgása** (vagy a főfékhenger hátsó tömítésén át a rásegítőbe jutó folyadék). A depressziós rásegítőben nincs fékfolyadék, ezért a lassú pedálsüllyedést nem a rásegítő belső szelepe okozza. Az első vizsgálat a folyadékszint ellenőrzése; ha a szint nem csökken, a tandemhenger gyanúja áll fenn, mert a folyadék belső kerülőáramot ad. A lassú süllyedést állandó pedálerőnél, leállított motornál vizsgáljuk: a körök elzárása (csőbilincs a tömlőkön, gyártó engedélyével) vagy körönkénti nyomásmérés, folyadékszint-követés; a főfékhenger leszerelésekor a rásegítő homlokán nedvesség jelzi a hátsó tömítés hibáját (ellenőrizendő: gyártói eljárás).

26.2.12. Rövid összefoglaló

A hidraulikus fékrendszer a pedálerőt a Pascal-törvény alapján alakítja nagy felületű kerékfékhenger-erővé. A zárt rendszer nyomása $p = F/A$, a kerékerő $F_2 = F_1 \cdot A_2/A_1$. A rendszer legfontosabb elemei: tandem főfékhenger, amely két egymástól független kört biztosít; II- vagy X-elrendezésű csőhálózat; depressziós (vákuumos) fékrásegítő, dízel- és elektromos járműveken vákuumszivattyúval vagy elektromechanikus rásegítővel; valamint a fékfolyadék, amely nyomásközvetítő és a fékrendszer tömítéseit is keni. A fékfolyadék higroszkópos, ezért nedves forráspontja csökken, és gőzbuborék-képződés okozta fékhibát idézhet elő; emiatt a cserét a gyártói periódusban, jellemzően kétévente el kell végezni. **Továbbvitt eredmény.** A hidraulikus erőátvitel alapelveit használjuk a Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás, a Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA, a Légfékek és pótkocsifékek, és a Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment alfejezetekben.

26.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hidraulika és féktechnika tankönyvek; gyártói javítási utasítások és képzési anyagok; ISO 4925 (fékfolyadék) szabványok; a DOT-minőségi osztályokra vonatkozó nemzetközi előírások. A konkrét DOT-forráspont-értékek, a nyomaték- és légtelenítési sorrend, a vezetékelrendezés és a fékfolyadék-csereperiódus a jármű és a fékrendszer gyártójától függ; a könyvben szereplő értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat, aktuális szabvány és folyadékgyártó adatlapja).

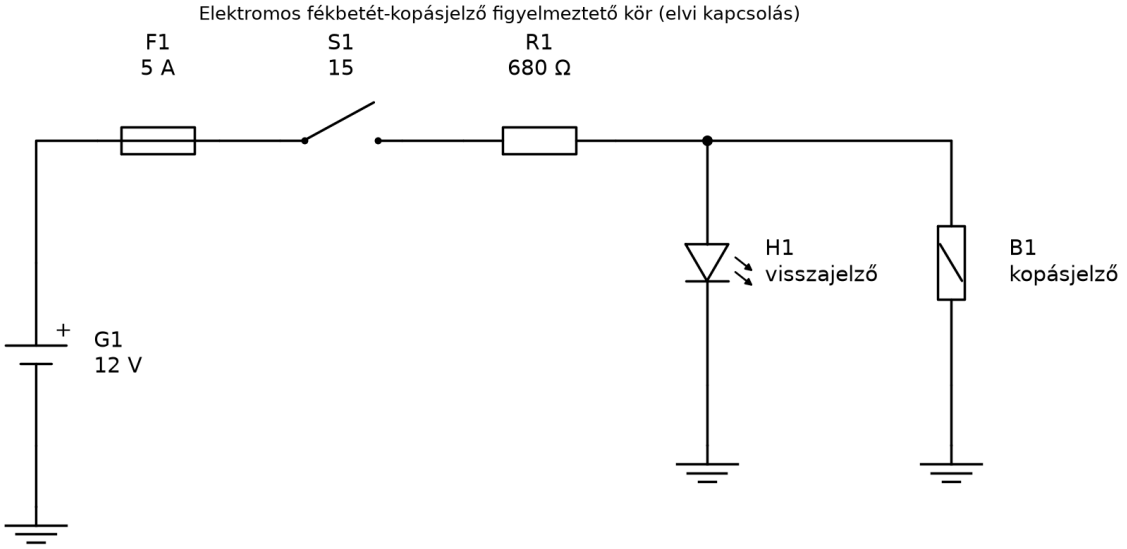
26.3. Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás

26.3.1. Motiváció

Az ügyfél arról panaszkodik, hogy a bal első kerék fékezés közben fémes hangot ad, a fékpedál kissé pulzál, és a műszerfalon kigyulladt a fékbetét-kopásjelző lámpa. A kerék leszerelése után azt látod, hogy a tárcsafék külső betétje teljesen elkopott, a belső oldalon a fékezőfelület barázdált, a tárcsa peremén pedig éles él fut körbe. Mielőtt alkatrészt rendelnél, tudnod kell, hogyan épülnek fel a kerékfékek, miért kopnak a betétek, milyen típusú a fék, és mit kell ellenőrizni ahhoz, hogy a javítás után a fékezés biztonságos legyen.

26.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy tárcsaféket: a kerékagyhoz csavarozott öntöttvas tárcsa a kerékagyval együtt forog, a forgó tárcsa két oldalán pedig a nyeregben elhelyezett, lemezhez rögzített fékbetétek súrlódnak. A hidraulikus dugattyú benyomja a betéteket a tárcsára, a keletkező súrlódás a jármű mozgási energiáját hővé alakítja. A nyereg úszónyerges kivitelnél a dugattyú egyik oldalról nyomja a belső betétet, a reakcióerő végighúzza a nyerget a vezetőcsapokon, és a külső betét is rászorul a tárcsára. Dobféknél ezzel szemben a forgó dobban két fékpofa támaszkodik fel, és a pofák kifelé mozdulva a dob belső palástján fejtenek ki súrlódást. Az elektromos kopásjelző áramköre az alábbi ábrán látható:



26.5. ábra. Elektromos fékbetét-kopásjelző figyelmeztető kör (elvi kapcsolás) - Elvi tanulási kapcsolás, gyújtás kikapcsolva (alapállapot). Az ép kopásjelző hurok (B1) a H1 visszajelző LED-et rövidre zárja, ezért az nem világít; ha a hurok a kopás miatt elszakad, az áram az R1 előtét-ellenálláson és a LED-en át folyik, és a visszajelző kigyullad. A valós járművekben többnyire a műszerfal vagy a vezérlőegység elektronikája figyeli a hurok folytonosságát; a jelzés logikája gyártóspecifikus (ellenőrizendő: gyártói áramútrajz). Az R1 értéke szemléltető.

A kapcsolási rajz elvi kapcsolás: a gyújtáskapcsoló (15) bekapcsolása után az ép kopásjelző hurok (B1) a H1 visszajelzőt rövidre zárja, ezért az nem világít. Ha a fékbetétbe ágyazott hurok a kopás miatt elszakad, az áram az R1 előtét-ellenálláson át a visszajelzőn folyik, és az figyelmeztet a betét kopására. A mai járművekben ezt a figyelést többnyire a műszerfal vagy egy vezérlőegység elektronikája végzi (ellenőrizendő: gyártói áramútrajz).

26.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Kerékfék. A kerékfék (wheel brake) az a járműalkatrész, amely a kerékkel együtt forgó fékezett elemet (dobot vagy tárcsát) a nem forgó súrlódó elemhez (fékpofához vagy fékbetéthez) szorítva a jármű mozgási energiáját hővé alakítja, és ezzel fékezőnyomatékot hoz létre.

Definíció. Dobfék. A dobfék (drum brake) olyan kerékfék, amelyben két, fékbetéttel ellátott fékpofa belülről feszül egy forgó, zárt fékdob palástjához. A dobfék jellemzője a zárt hőelvezetés és az önerősítés lehetősége.

Definíció. Tárcsafék. A tárcsafék (disc brake) olyan kerékfék, amelyben egy forgó féktárcsára a nyeregben elhelyezett fékbetétek oldalirányból szorulnak. A tárcsa jellemzően nyitott, ezért hőelvezetése jobb, mint a dobféké.

Definíció. Önerősítés. Önerősítésről akkor beszélünk, ha a dobfékben a fékezés során fellépő súrlódási erő a fékpofát még erősebben szorítja a dobbal érintkező felülethez, így azonos működtető erőhöz nagyobb fékezőnyomaték tartozik.

26.3.4. Felépítés és működés

26.3.4.1. Dobfékek

A dobfék fő részei: a **fékdob** (általában öntöttvas), a hátlemezhez rögzített **fékpofák**, a pofákon lévő **fékbetétek** (súrlódó anyag), a **fékhenger** vagy **fékék**, a visszahúzó **rugók**, és az **utánállító szerkezet**. A dobfék működtetésének változatai:

- **Szimplex dobfék:** egyetlen fékhenger két, a henger fölött közös támaszpontra felfüggesztett fékpofát mozgat. A pofák közül csak az egyik „ráfutó" pofa (amelynek a súrlódási erő a dob irányába növeli a szorítást), a másik „elfutó" pofa kisebb szorítóerőt hoz létre. Önerősítése ezért csak az egyik oldalon jelentkezik.
- **Duplex dobfék:** két fékhenger van, mindkét pofa ráfutó kialakítású az előremenet irányában, ezért önerősítése nagyobb, de hátramenetben a fékhatás jelentősen gyengül.
- **Szervo dobfék:** a pofák egymással szemben, egy közös támaszponton kapcsolódnak össze; az egyik pofa súrlódási ereje a másikat is a dobba nyomja, így mindkét irányban jelentős önerősítés lép fel. Fékhatása erős, de adagolhatósága nehezebb, ezért főleg hátsó keréken a kézifékhez és régi járműveken használják.

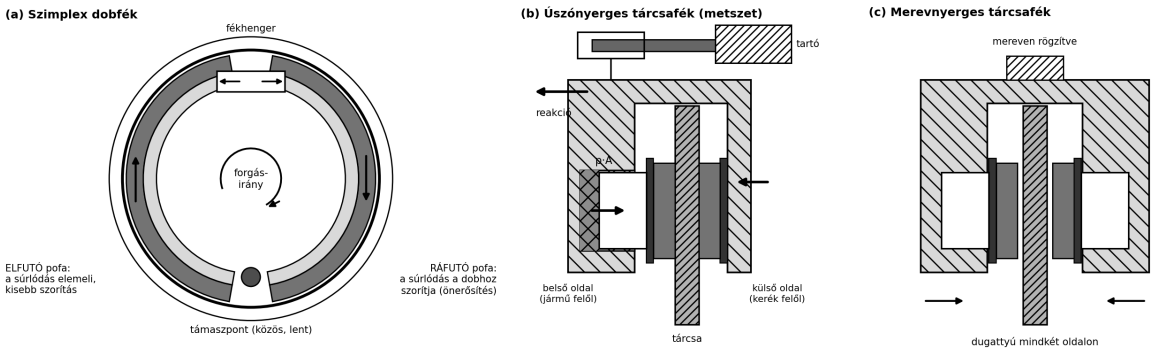
A dobfék **utánállító szerkezete** a fékbetétek kopásával növekvő pofa–dob hézagot automatikusan vagy kézi úton csökkenti. Jellemző típusok:

- **Kézi utánállító:** állítócsavar vagy fogasléc, amelyet a fékpofák cseréjekor kézzel állítanak be.
- **Automata utánállító:** a fékezéskor a fékpofa elmozdulását egy kilincses vagy csavaros mechanizmus arra használja, hogy a kopást kiegyenlítse, amikor a hézag egy megadott értéket meghalad. Az automata utánállító rendszerint a pofa külső hátoldalán látható kis szerkezet, amelynek beállítása a fékdob visszaszerelése után a fékezés többszöri működtetésével történik.

26.3.4.2. Tárcsafékek

A tárcsafék fő részei: a **féktárcsa**, a **féknyereg** (nyereg), a **fékbetétek**, a **dugattyú**, a **vezetőcsapok** és a **porvédő hüvelyek**. A tárcsafék nyereg két alapváltozata:

- **Merevnyerges tárcsafék:** a nyereg mindkét oldalán egy-egy dugattyú van, a nyereg teste mereven csatlakozik a futóműhöz. A hidraulikus nyomás mindkét oldali dugattyút a tárcsára nyomja. Előnye a pontosabb szimmetrikus fékerő, hátránya a nagyobb méret és a rosszabb hőelvezetés a belső oldalon.
- **Úszónyerges tárcsafék:** egyetlen dugattyú a belső oldalon működik, a nyereg a vezetőcsapokon oldalirányban elcsúszhat. A dugattyú a belső betétet nyomja a tárcsához, a reakcióerő pedig a nyerget elmozdítja, így a külső betét is rászorul a tárcsára. Előnye az egyszerűbb szerkezet, a jobb hőelvezetés és a kisebb tömeg; hátránya, hogy a vezetőcsapok korróziója vagy megszorulása egyenlőtlen kopást okozhat.



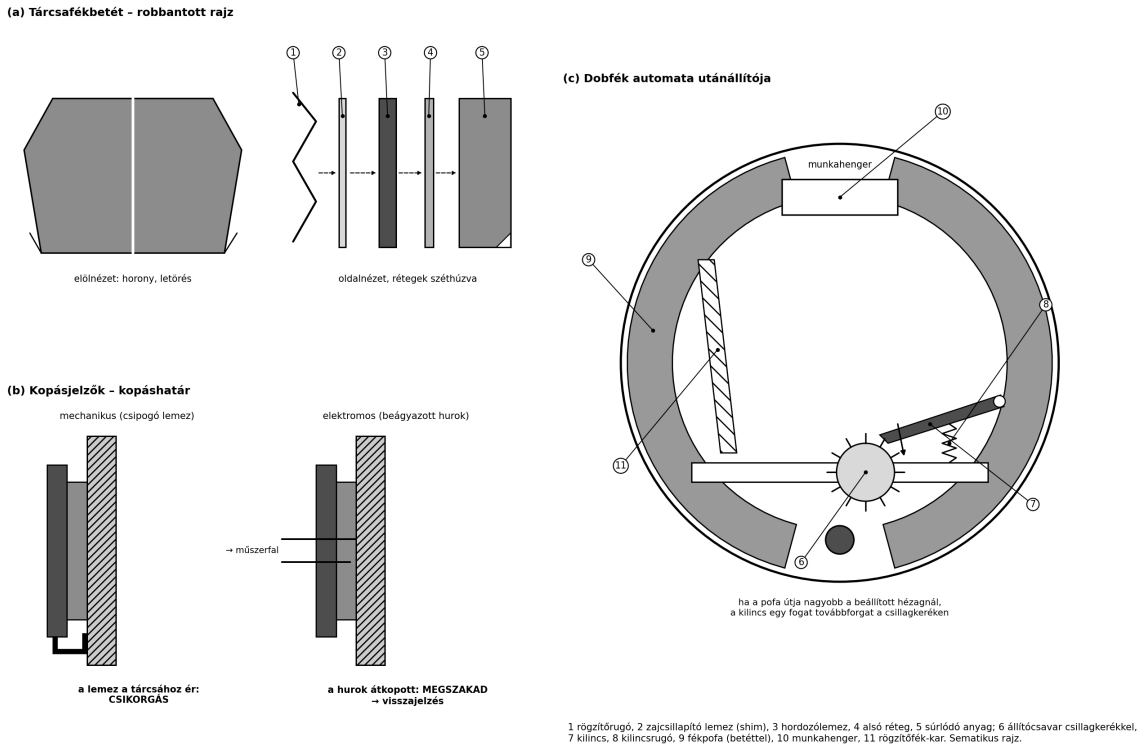
26.6. ábra. Kerékfékek: (a) szimplex dobfék ráfutó és elfutó pofával, (b) úszónyerges tárcsafék metszete erőnyilakkal, (c) merevnyerges tárcsafék

Az (a) részen a dob az óramutató járásával egyezően forog, a fékhenger fent, a pofák közös támaszpontja lent van: a jobb pofán a súrlódási erő a pofát a dobhoz szorítja (ráfutó pofa), a bal pofán elemeli (elfutó pofa). A (b) részen a nyomás ($p \cdot A$) a dugattyút és a belső betétet a tárcsához nyomja, a reakcióerő a nyerget a vezetőcsapon befelé húzza, így a külső betét is a tárcsára szorul. A (c) merevnyerges kivitelnél mindkét oldalon dugattyú van, a nyereg nem mozdul. A HTML-kiadásban a tárcsafék működése lépésenként követhető, és a „megszorult vezetőcsap” lépés megmutatja, miért kopik ilyenkor csak a belső betét.

Féktárcsa kivitelek. A leggyakoribb a **szellőztetett (belsőhűtésű) tárcsa**, amely két súrlódó felületű tárcsalemezből áll, köztük radiális hűtőbordákkal. A szellőztetés növeli a levegőáramlást és a hőelvezetést, ezért első tengelyen általában ezt használják. A **tömör tárcsa** olcsóbb, kisebb tömegű, és főleg hátsó tengelyen található. A **kerámia féktárcsa** (pontosabban szénszálas kerámia kompozit) nagyon nagy hőállóságú, kisebb tömegű, de lényegesen drágább; nagy teljesítményű sport- és prémium járműveken alkalmazzák.

Fékbetétek anyaga. A fékbetétek súrlódó anyaga a fékbetét fém hordozólemezéhez rögzített réteg. A keverék jellemzően fém, kerámia, szerves anyag, grafit és fenolgyanta kötőanyag kombinációja. A mai közúti járművekben elterjedtek az alacsony réztartalmú vagy rézmentes betétek; a korábban használt azbeszt tartalmú betétek az EU-ban tilosak (ellenőrizendő: hatályos uniós és hazai anyagkorlátozási előírás). A fékbetét kopásjelző lehet:

- **Mechanikus jelző:** egy fém pálca vagy lemez a betét oldalán, amely a kopáshoz közeledve a tárcsához súrlódik, jellegzetes csikorgó hangot ad.
- **Elektromos jelző:** a betétbe ágyazott, a kopás során megszakadó vékony vezeték; a szakadás a műszerfalon visszajelzést ad (lásd a kapcsolási rajzot).



26.7. ábra. (a) Tárcsafékbetét rétegei, (b) mechanikus és elektromos kopásjelző a kopáshatáron, (c) a dobfék automata utánállítója

A betét a rögzítőrugóból, a zajcsillapító lemezből, a hordozólemezből, az alsó rétegből és a horonnyal, letöréssel ellátott súrlódó anyagból áll. A kopáshatáron a mechanikus jelző lemeze a tárcsához ér és csikorog, az elektromos jelző hurka átkopik és megszakad. A dobfék automata utánállítójában a kilincs a csillagkereket foganként léptetéssel állítja, ha a pofa útja nagyobb a beállított hézagnál. A HTML-kiadásban a betétvastagság (új, félig kopott, kopáshatár) váltogatható.

Bejáratás. Új fékbetét és tárcsa felszerelése után a teljes fékerő nem áll rendelkezésre azonnal. A bejáratás során a betét és a tárcsa felületei egymáshoz igazodnak, és kialakul a megfelelő súrlódó réteg. A bejáratás tipikusan több, enyhe lassulású fékezésből áll közúti haladás közben, a gyártói utasítás szerint; az első néhány száz kilométeren kerülni kell a hosszan tartó, nagy energiájú fékezéseket (ellenőrizendő: gyártói előírás).

26.3.5. Kidolgozott példák

1. példa. Egy úszónyerges tárcsafékben a dugattyú felülete $A = 0{,}0025\,\mathrm{m}^2$ (kb. $56\,\mathrm{mm}$ átmérő), a hidraulikus nyomás $p = 3{,}0\,\mathrm{MPa}$. A fékbetét súrlódási tényezője $\mu = 0{,}35$, a hatékony súrlódási sugár $r_{\mathrm{eff}} = 0{,}12\,\mathrm{m}$. Mekkora fékezőnyomaték ébred egy kerékben?

Megoldás. A dugattyúerő:

$$F_p = p\,A = 3{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Pa} \cdot 0{,}0025\,\mathrm{m}^2 = 7\,500\,\mathrm{N}$$

A tárcsafékben a két oldalról ható súrlódási erő nyomatéka:

$$M_f = 2\,\mu\,F_p\,r_{\text{eff}} = 2 \cdot 0{,}35 \cdot 7\,500\,\text{N} \cdot 0{,}12\,\text{m} = 630\,\text{Nm}$$

Ellenőrzés. Az eredmény nagyságrendileg reális: egy személygépkocsi első kerékfékjében fékezéskor néhány száz Nm–1 000 Nm fékezőnyomaték ébred.

2. példa. Egy fékbetét súrlódó anyagának vastagsága újkor $d_{\text{új}} = 14{,}0\,\text{mm}$, a gyártói minimális kopási határ $d_{\min} = 3{,}0\,\text{mm}$. A mért vastagság $d = 4{,}5\,\text{mm}$. Hány százaléka használódott el a hasznos kopási tartománynak, és mekkora a fennmaradó tartalék?

Megoldás. A hasznos kopási tartomány:

$$d_{\text{hasznos}} = d_{\text{új}} - d_{\min} = 14{,}0 - 3{,}0 = 11{,}0\,\text{mm}$$

Az eddigi kopás:

$$d_{\text{kopott}} = d_{\text{új}} - d = 14{,}0 - 4{,}5 = 9{,}5\,\text{mm}$$

A hasznos tartománynak elfogyott hányada:

$$\frac{d_{\text{kopott}}}{d_{\text{hasznos}}} = \frac{9{,}5}{11{,}0} \approx 0{,}86 \quad (86\%)$$

A fennmaradó tartalék:

$$d - d_{\min} = 4{,}5 - 3{,}0 = 1{,}5\,\text{mm}$$

A betét cserére érett, mert a hasznos vastagság 86%-a elhasználódott, és a tartalék már csak 1,5 mm (a gyártói határ közelében).

26.3.6. Előírások

Előírás. A közúti járművek fékeire vonatkozóan az ENSZ-EGB R13-H (M1 és N1 kategória) és R13 (M2, M3, N2, N3 és O kategória) előírás határozza meg a fékezési teljesítményre és a rendszer viselkedésére vonatkozó követelményeket (ellenőrizendő: hatályos ECE-előírások és a hazai rendeletek pontos megnevezése). A csere-fékbetétek és -tárcsák jóváhagyására az ENSZ-EGB R90 előírás vonatkozik (ellenőrizendő); a gyártói jóváhagyással rendelkező alkatrész forgalmazható (ellenőrizendő: hatályos uniós alkatrész-jóváhagyási szabályozás).

Előírás. A fékbetétek minimális vastagságát, a féktárcsa legkisebb megengedett vastagságát, az oldalütés- és a felületi érdesség-határokat mindig a gyártói javítási utasításból kell venni; a könyvben szereplő értékek tanulási példák, és nem helyettesítik a gyártói adatot (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

26.3.7. Minőségellenőrzés

A kerékfékek javítása előtt a következőket kell mérni és ellenőrizni:

1. Fékbetét-vastagság: tolómérővel a hordozólemez nélkül, a legvékonyabb ponton; a mért érték ne legyen kisebb a gyártói minimumnál.
2. Féktárcsa-vastagság: mikrométerrel a kopott felület 4–8 pontján; a legkisebb mért értéket kell a gyártói minimális vastagsághoz hasonlítani.
3. Féktárcsa oldalütés: mérőórával a tárcsa forgatása közben; a megengedett érték jellemzően 0,03–0,05 mm (ellenőrizendő).
4. Féktárcsa felületi érdesség és barázdák: a mély barázdák, hőrepedések, elszíneződés a tárcsa cseréjét vagy felújítását igénylik.
5. A vezetőcsapok és porvédő hüvelyek mozgathatósága, szakadás mentessége.
6. Kopásjelző működése: elektromos jelzőnél multiméterrel ellenőrizhető a vezeték folytonossága; mechanikus jelzőnél a fém érintkező távolsága a tárcsától.
7. A dobféknél a dob belső palástjának átmérője, ovalitása, a pofa-emelő és az utánállító működése.

A fékerőmérés a jármű diagnosztikai előkészítéseként a hatósági vizsgálat része, de műhelyi körülmények között például a fékpadon mért egyenlőtlenség a kerékfék oldalankénti eltéréseire utalhat. A pontos fékerőmérést a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetben tárgyaljuk részletesen.

26.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy személygépkocsi tulajdonosa fékezéskor húzást érez balra, és a jobb első kereke erősen melegszik. A vizsgálat során a járművet biztonságosan felemelik, a jobb első kereket leszerelik. A fékbetét vastagsága bal oldalon 8,5 mm, a jobb oldalon 2,5 mm; a jobb oldali nyereg vezetőcsapja megszorult, a belső (dugattyú felőli) betét 2,5 mm-ig kopott, a külső alig használódott. A jobb oldali féktárcsa belső felülete barázdált, vastagsága a gyártói minimális érték alatt van. A javítás: az első tengely mindkét oldali tárcsájának és betétjeinek cseréje (a jobb oldali tárcsa a minimum alatt van; tengelyenként párban kell cserélni, ellenőrizendő: gyártói előírás), a vezetőcsapok tisztítása/cseréje és kenése az előírt kenőanyaggal, próbaút és bejáratás. A tanulság: az egyenlőtlen kopás nem „a betét hibája”, hanem a nyeregvezetés elégtelensége, ezért a szerelés során a vezetőcsapok karbantartása ugyanolyan fontos, mint a betétek cseréje.

26.3.9. Gyakorlati útmutató: első féktárcsa és fékbetét csere (szemléltető lépéssor)

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. Győződj meg arról, hogy a jármű stabilan, a gyártói emelési pontokon áll, és a kereket alátámasztottad; a kocsiemelő alatt tilos dolgozni.
2. Kösd le a negatív akkumulátorkábelt (a gyártói előírás szerint).
3. Szereld le a kereket, távolítsd el a porvédő lemezt.
4. Nyomd vissza a dugattyút a nyeregben a megfelelő célszerszámmal; előtte olvasd el a gyártói utasítást a fékfolyadék-tartály szintjének csökkentéséről.
5. Csavarozd le a nyerget és akaszd fel dróttal vagy kampóval úgy, hogy a fékcső ne feszüljön.
6. Távolítsd el a régi fékbetéteket, a kopásjelzőt, és tisztítsd meg a nyereg vezetőfelületeit.
7. Ellenőrizd a féktárcsa vastagságát, oldalütését és felületi állapotát; ha eléri a kopási határt, cseréld.

8. Szereld be az új féktárcsát, majd az új fékbetéteket és kopásjelzőt a gyártói nyomatékra húzással (ellenőrizendő: gyártói meghúzási nyomaték).
9. Szereld vissza a nyerget, a kereket, engedd le a járművet, kösd vissza az akkumulátort.
10. Fékezd be a fékpedált többször, amíg kemény nem lesz; ellenőrizd a fékfolyadék szintjét, végezz szivárgás-ellenőrzést, majd próbaút közben végezd el a bejáratást.

Környezetvédelem. A fékbetétek kopásából származó fékpor nem fújható sűrített levegővel, mert az apró részecskék belélegezhetők; a leesett port, a kopott betéteket és a féktárcsát a műhely veszélyes hulladékokra vonatkozó gyűjtőrendszerében kell kezelni. A por eltávolításához használj fékportisztítót vagy zárt elszívást; a régi járművekből származó fékbetétek azbesztet tartalmazhatnak, ezért ilyenkor fokozott védőfelszerelés szükséges.

26.3.10. Tipikus hibák

1. **A féktárcsa minimum vastagságának figyelmen kívül hagyása.** Sokan csak a betétet cserélik, és a már kopott tárcsát meghagyják; a túl vékony tárcsa hő hatására megvetemedhet, repedhet, fékezési lengést okoz.
2. **A vezetőcsapok és a nyereg megfelelő tisztításának elmulasztása.** A por, korrózió miatt megszoruló nyereg egyenlőtlen fékhatást és egyoldali kopást okoz; a kenőanyagot a gumihüvelyeket védő fajtából kell választani.
3. **Az utánállító rossz irányba állítása dobféknél.** A pofák cseréjekor az utánállító túlfeszítése a dob felszerelése után a fék szorulását okoz, és a dob alulhűtött vagy túlhevült működést produkálhat.
4. **A bejáratás elmulasztása.** Új betét és tárcsa esetén azonnali erős fékezés üvegesedett súrlódófelületet okoz, ami csökkenti a fékhatást és visító hangot kelt.

26.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a szimplex dobfékben mindkét fékpofa egyformán önerősítő. Indokold!
2. Mi a különbség az úszónyerges és a merevnyerges tárcsafék között?
3. Miért kedvezőtlen a dobfék hőelvezetése a tárcsafékhez képest?
4. Hogyan működik az elektromos fékbetét-kopásjelző?
5. Mit jelent a bejáratás, és miért szükséges?
6. Mi a veszélye annak, ha a féktárcsa vastagsága a gyártói minimum alá csökken?

26.3.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a dobfék három változatát, és jellemezd önerősítésüket.

2. feladat (A) Egy fékbetét új vastagsága 12 mm, a minimális kopási határ 3 mm. A mért vastagság 6 mm. Számítsd ki a hasznos kopási tartomány hány százalékát használtuk el, és mennyi a tartalék.

3. feladat (B) Egy tárcsafék dugattyúátmérője 57 mm, a hidraulikus nyomás fékezéskor 3,2 MPa. A hatékony súrlódási sugár 0,115 m, a súrlódási tényező 0,33. Számítsd ki a fékezőnyomatékot.

4. feladat (B) Rajzolj fel egy úszónyerges tárcsafék metszetét, és jelöld a fő részeket: dugattyú, fékbetétek, féktárcsa, nyereg, vezetőcsap. Magyarázd el lépésről lépésre, hogyan fejti ki a fékerőt.

5. feladat (C) Milyen következményei lehetnek annak, ha a jobb első nyereg vezetőcsapja korrodált, és a fékbetét csak az egyik oldalon kopik? Vezesd le a hiba tüneteit és javítását.

6. feladat (D) Egy jármű fékezéskor jobbra húz, a jobb első kerék kopásjelzője jelez, a fékfolyadék-szint normális. Sorold fel a lehetséges okokat, és add meg a vizsgálat lépéseit a tünet alapján.

26.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Hamis. Szimplex dobfékben csak az egyik (ráfutó) pofa önerősítő, a másik elfutó pofa nem. 2. Az úszónyergesnek egy dugattyúja van, a nyereg csúszik, a merevnyergesnek két dugattyúja van és a nyereg mereven rögzített. 3. A dobfék zárt dobban dolgozik, a hő a dob belsejében reked, míg a tárcsafék nyitott, és a tárcsa levegővel érintkezik. 4. Az elektromos jelző a betétbe ágyazott vezeték; amikor a kopás eléri, a vezeték megszakad, és a műszerfalon lámpa gyullad. 5. A bejáratás az új súrlódó felületek egymáshoz igazodása, amelynél kialakul a megfelelő érintkezés; enélkül a fékhatás csökken és üvegesedés jöhet létre. 6. A túl vékony tárcsa túlmelegedésre, vetemedésre repedésre hajlamos, a fékhatás romlik, balesetveszély.

1. feladat megoldása. A dobfék változatai: szimplex (egy fékhenger, egy ráfutó és egy elfutó pofa), duplex (két fékhenger, mindkét pofa ráfutó előremenetben), szervo (a pofák összekapcsoltak, mindkettő önerősítő; a súrlódási erő átadódik a másik pofára).

2. feladat megoldása. Hasznos kopási tartomány: $12 - 3 = 9\,\text{mm}$. Elhasznált kopás: $12 - 6 = 6\,\text{mm}$. Hányad: $6/9 = 0{,}667$, azaz 66,7%-a elhasználódott. Tartalék: $6 - 3 = 3\,\text{mm}$.

3. feladat megoldása. A dugattyú felülete: $A = \pi d^2/4 = \pi \cdot (0{,}057\,\text{m})^2/4 = 2{,}55 \times 10^{-3}\,\text{m}^2$. A dugattyúerő: $F_p = pA = 3{,}2 \times 10^6 \cdot 2{,}55 \times 10^{-3} = 8\,160\,\text{N}$. A fékezőnyomaték:

$$M_f = 2\mu F_p r_{\text{eff}} = 2 \cdot 0{,}33 \cdot 8\,160\,\text{N} \cdot 0{,}115\,\text{m} \approx 619\,\text{Nm}$$

4. feladat megoldása. (Lásd a Felépítés és működés szakasz kerékfék-ábrájának (b) részét.) A rajzon a féktárcsa függőleges lemez, két oldalán a fékbetétek; a belső oldalon a dugattyú a nyeregben ül, a nyereg a vezetőcsapokon csúszik. Működés: a hidraulikus nyomás a dugattyút kifelé nyomja, a belső betét a tárcsához szorul; a reakcióerő a nyerget hátrafelé mozdítja, és a külső betét is rászorul a tárcsára.

5. feladat megoldása. A korrodált vezetőcsap miatt a nyereg nem tud egyenletesen csúszni; a belső betét jobban kopik, a külső kevésbé, a fékhatás egyenetlen, a jármű félrehúz, a kerék túlmelegszik. Javítás: a nyereg lebontása, a vezetőcsapok tisztítása/kenése vagy cseréje, fékbetétek cseréje, majd próbaút.

6. feladat megoldása. A fék húzhat jobbra, ha a jobb oldali kerék fékez jobban, vagy a bal oldali nem fékez. Lehetséges okok: jobb oldali nyereg megszorult, bal oldali nyereg dugattyúja beragadt, bal oldali fékbetét kopott, a jobb oldali kopásjelző jelez. Vizsgálat: kerék felemelése, szabad forgás ellenőrzése, betétvastagság mérés, fékerőmérés fékpadon, hidraulikus nyomás oldalankénti ellenőrzése. A hibás oldal alapján célzott javítás.

26.3.14. Rövid összefoglaló

A kerékfékek a jármű mozgási energiáját súrlódással hővé alakítják. A dobfék zárt, önerősítő változatai (szimplex, duplex, szervo) elsősorban hátsó tengelyen és kézifékként fordulnak elő, utánállítójuk a kopást egyenlíti ki. A tárcsafék nyitott, jobb hőelvezetésű; az úszónyerges egy dugattyúval, a merevnyerges kettővel működik. A belsőhűtésű tárcsa javítja a hűtést, a kerámia tárcsa nagyobb hőállóságú. A fékbetétek kopását mechanikus (hang) vagy elektromos (szakadó

vezeték) jelző mutatja; a bejáratás elengedhetetlen a jó fékhatáshoz. A javításnál a betét- és tárcsavastagságot a gyártói minimális értékhez kell hasonlítani; a fékpor veszélyes hulladékként kezelendő. **Továbbvitt eredmény.** A kerékfék-típusok ismeretét és a kopási jelek felismerését a Rögzítőfékek és tartós lassító fékek, a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata és a Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB alfejezetben használjuk fel.

26.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB ECE R13/R13-H fékre vonatkozó előírások (ellenőrizendő: hatályos szabályozás); gyártói javítási utasítások a betét- és tárcsavastagságra, meghúzási nyomatékokra; munkavédelmi és hulladékkezelési jogszabályok (ellenőrizendő: hatályos magyar rendeletek). A fékbetétek anyagösszetételére vonatkozó uniós korlátozások (ellenőrizendő: REACH és egyéb előírások). A táblázatban és a példákban szereplő számértékek tanulási példák, nem helyettesítik a gyártói vagy hatósági adatokat.

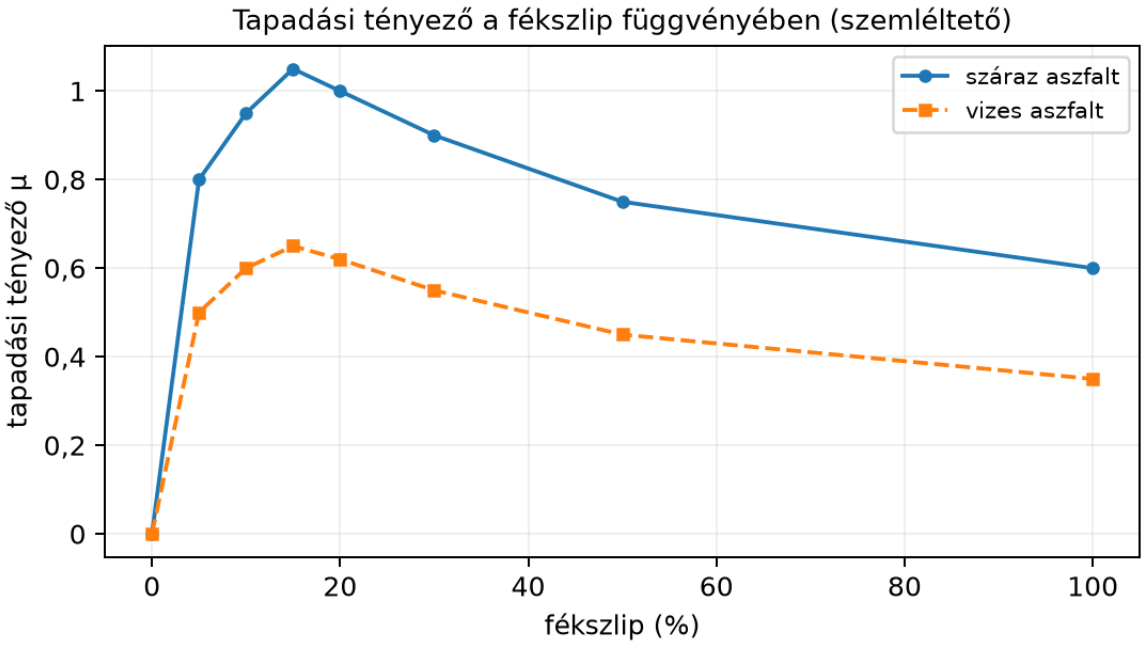
26.4. Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA

26.4.1. Motiváció

Egy hideg téli reggelen a tanműhelybe érkező autó ügyfele azt mondja: „A fékpedál beremeg, amikor hirtelen fékeztem a jeges úton, de az autó nem pördült meg, és ki tudtam kerülni az elém lépő gyalogost.” A műszerfalon azonban sárgán világít az ABS/ESP visszajelző lámpa. Az autószerelőnek pontosan kell értenie, miért remeg a pedál, mi különbözteti meg az ABS-t az ESP-től, és miért nem szabad ezeket a rendszereket egyszerűen „kihúzni” vagy figyelmen kívül hagyni. Ebben az alfejezetben a blokkolásgátló (ABS), a kipörgésgátló (ASR), az elektronikus fékerő-elosztó (EBV), a menetstabilizáló (ESP) és a vészfékasszisztens (EBA) működését, valamint diagnosztikai alapjait tanuljuk meg. A rendszer megértése nélkül a hibakódok olvasása és a mérési értékek értelmezése nem lehetséges.

26.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy fékező kereket. A gumi futófelülete az útfelülettel érintkező pontokon deformálódik, mintha a gumi „elkúszna” az aszfalton. Ez az elcsúszás a fékszlip. Ha a kerék teljesen blokkol, a gumi megolvadhat az útfelületen, kialakul egy kenőréteg, és a tapadási tényező lecsökken; a jármű irányíthatatlanná válik, mert a gördülő kerék oldalvezető képessége megszűnik. A blokkolásgátló célja, hogy a kereket a maximális tapadást adó, néhány százalékos fékszlip tartományban tartsa. Ezt mutatja az alábbi, szemléltető tapadás–fékszlip görbe.



26.8. ábra. Tapadási tényező a fékszlip függvényében (szemléltető) - Szemléltető, tanulási adatsor; a valós értékek gumiabroncstól, útfelülettől, hőmérséklettől és sebességtől függnek.

A görbe azt tanítja, hogy a tapadási tényező nem a blokkolt keréknél (100 % szlip), hanem jellemzően 10–20 % körüli fékszlipnél a legnagyobb. Az ABS ezt a kedvező tartományt célozza meg, ezért a fékút általában rövidül, és – ami a legfontosabb – a kormányozhatóság megmarad.

26.4.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Fékszlip. A fékezés közbeni kerékcsúszást a járműsebesség és a kerék kerületi sebességének különbségéből számítjuk. A fékszlip jele s, mértékegysége százalék:

$$s = \frac{v_{\text{jármű}} - v_{\text{kerék}}}{v_{\text{jármű}}} \cdot 100\%$$

ahol $v_{\text{kerék}} = \omega_{\text{kerék}} \cdot r_{\text{d}}$, azaz a kerék szögsebességének és gördülési sugarának szorzata. Szabadon gördülő keréknél $s \approx 0\%$, teljesen blokkolt keréknél $v_{\text{kerék}} = 0$, tehát $s = 100\%$.

Definíció. Blokkolásgátló (ABS). Az ABS elektronikus szabályozórendszer, amely fékezés közben figyeli a kerekek fordulatszámát, és ha egy kerék túlzott lassulást vagy blokkolási hajlamot mutat, a fékhenger nyomását átmenetileg tartja, csökkenti, majd újból növeli, így a kereket a megfelelő fékszlip-tartományban tartja.

Definíció. Kipörgésgátló (ASR). Az ASR a hajtott kerekek gyorsítás közbeni kipörgését korlátozza a motornyomaték csökkentésével és/vagy a kipörgő kerék aktív fékezésével, felhasználva az ABS kerékfordulatszám-érzékelőit.

Definíció. Elektronikus fékerő-elosztás (EBV). Az EBV a hátsó kerekek féknyomását a tényleges terhelés és lassulás függvényében elektronikusan korlátozza, helyettesítve a hagyományos mechanikus nyomáscsökkentő szelepet, és megakadályozza a hátsó tengely túlfékezését.

Definíció. Elektronikus menetstabilizáló (ESP/ESC). Az ESP folyamatosan összeveti a vezetői szándékot (kormányszög, fékezés, gázpedál) a jármű tényleges mozgásával (perdülési

sebesség, keresztgyorsulás), és ha eltérést érzékel, egyes kerekeket célzottan megfékez, valamint a motornyomatékot módosítja, hogy a jármű a kívánt pályán maradjon.

Definíció. Vészfékasszisztens (EBA). Az EBA felismeri a vészfékezést – jellemzően a fékpedál lenyomási sebességéből és/vagy erejéből –, és ha a vezető nem éri el a maximális féknyomást, automatikusan megnöveli azt az ABS működési tartományáig.

Az erőhatás leírásához a tapadási tényezőt használjuk:

$$F_{\text{tap}} = \mu \cdot F_{\text{N}}$$

ahol F_{tap} a kerékre átvihető maximális vízszintes erő, μ a tapadási tényező, F_{N} a kerékre jutó függőleges terhelés. Az ábrán látható módon μ a szliptől függ, ezért az ABS a szlip szabályozásával közvetve a tapadási erőt szabályozza.

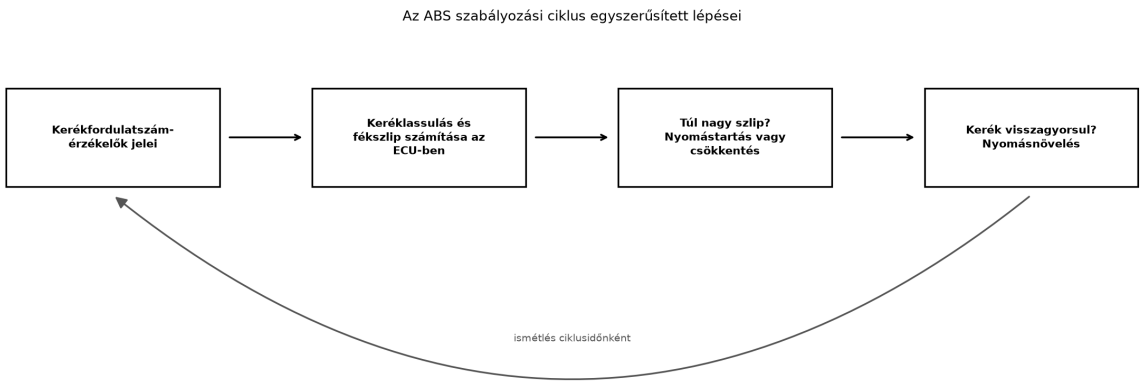
26.4.4. Felépítés és működés

26.4.4.1. Az ABS rendszer felépítése

Az ABS fő egységei:

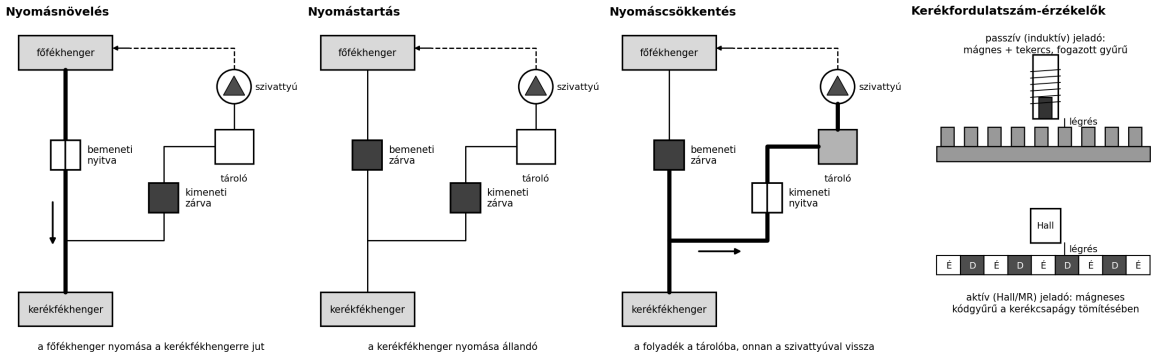
1. **Kerékfordulatszám-érzékelők** minden szabályozott keréken: jellemzően induktív (passzív) vagy aktív Hall/magnetorezisztív jeladók, amelyek a kerékagyon vagy hajtótengelyen elhelyezett fogazott jeladógyűrű fogait érzékelik.
2. **ABS-vezérlőegység (ECU)**: a bejövő jelekből kiszámítja a keréksebességet, a keréklassulást, a jármű referencia-sebességét és a fékszlipet, majd dönt a nyomásszabályozásról.
3. **Hidraulikus egység (HU)**: mágnesszelepekből, nyomásérzékelőkből, visszaszivattyúból és nyomáscsökkentő kamrákból áll, a fékfolyadék nyomását kerékenként módosítja.
4. **Jelfogó, biztosíték, visszajelző lámpa** és a diagnosztikai csatlakozó.

A hidraulikus egység minden szabályozott kerék fékhengeréhez legalább két mágnesszelepet – bemeneti (nyit/zár) és kimeneti (zár/nyit) szelepet – kapcsol. Az alábbi folyamatábrán a szabályozási ciklus látható.



26.9. ábra. Az ABS szabályozási ciklus egyszerűsített lépései - Szemléltető vázlat; a gyártói szabályozási algoritmus ennél részletesebb és több bemenetet használ. A nyomás felső határa a vezető által létrehozott főfékhenger-nyomás.

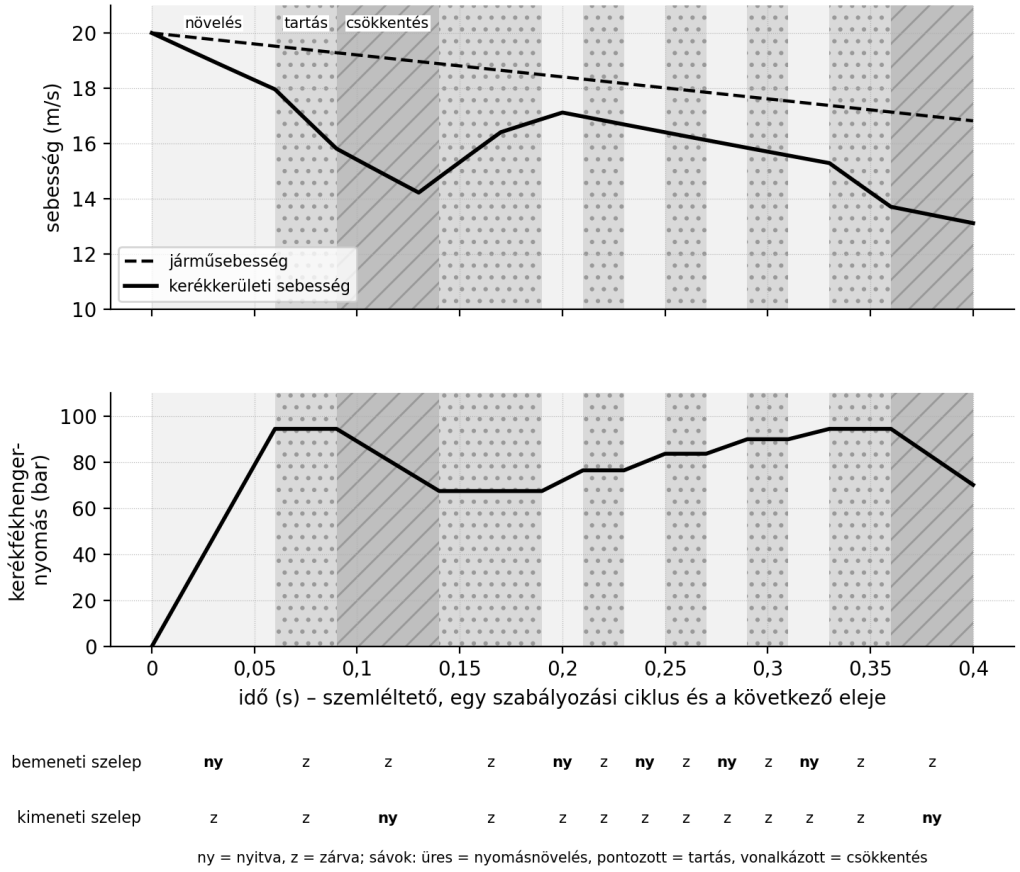
Szabályozási fázisok. Normál fékezéskor a bemeneti szelep nyitva, a kimeneti zárva van, így a főfékhenger nyomása közvetlenül hat a kerékfékhengerre. Ha az ECU túlzott keréklassulást észlel, először **nyomástartás** következik: a bemeneti szelep zár, a kimeneti is zár, így a kerékfékhenger nyomása állandó marad. Ha a kerék tovább lassul és a szlip nő, **nyomáscsökkentés** következik: a bemeneti szelep zárva marad, a kimeneti szelep nyit, és a fékfolyadékot a visszaszivattyú átmeneti tárolóba, majd vissza a főfékhenger felé szállítja. Amikor a kerék fordulatszáma visszagyorsul és a szlip ismét kedvező, **nyomásnövelés** következik: a kimeneti szelep zár, a bemeneti szelep rövid, szakaszos nyitásokkal enged vissza nyomást. A ciklus másodpercenként többször – jellemzően 5–20 Hz tartományban – ismétlődik (ellenőrizendő: gyártói paraméter). A vezető által kifejtett pedálnyomás a felső határ; az ABS soha nem hoz létre nagyobb nyomást alapféknél, mint a főfékhengerben lévő, kivéve ha az ESP aktív nyomásgenerálást is végez.



Nyitott szelep: üres négyzet átmenő vonallal; zárt szelep: kitöltött négyzet; vastag vonal: a folyadék útja; szaggatott: visszavezetés a főfékhenger felé. Sematikus vázlat, nem gyártói hidraulikus rajz.

26.10. ábra. Egy ABS-kerékkör szelepállásai nyomásnövelés, -tartás és -csökkentés közben; mellette passzív és aktív kerékfordulatszám-érzékelő

A vázlaton a nyitott szelep üres, a zárt kitöltött négyzet, a folyadék útja vastag vonal. Nyomásnövelésnél a bemeneti szelep nyitva, a kimeneti zárva; tartásnál mindkettő zárva; csökkentésnél a bemeneti zárva, a kimeneti nyitva, és a folyadék a tárolón és a visszaszivattyún át a főfékhenger felé távozik. A passzív (induktív) jeladó a fogazott gyűrű fogait, az aktív (Hall/MR) jeladó a kerékcsapágy tömítésébe épített mágneses kódgyűrű pólusait érzékeli, mindkettő meghatározott légréssel.



26.11. ábra. Egy ABS-szabályozási ciklus (szemléltető): jármű- és kerékkerületi sebesség, kerékfékhenger-nyomás, a fázisok és a szelepállások

Az idődiagramon a nyomás először nő, majd a túl nagy keréklassulásnál tartás és csökkentés következik; a visszagyorsuló kerék után a bemeneti szelep szakaszos nyitásaival lépcsősen nő a nyomás. A HTML-kiadásban az útfelület (száraz, nedves, jég) választható, és egy időkurzorral leolvasható az aktuális fázis és a szelepállás.

Rendszertípusok. Személygépkocsiknál a 4-csatornás ABS minden kereket egyedileg szabályoz. A 3-csatornás rendszer a hátsó kerekeket közös szabályozásban, ún. select-low elv szerint kezeli: a jobban blokkoló kerék határozza meg a mindkét hátsó kerékre jutó nyomást, így a stabilitás nagyobb, de a fékút kissé hosszabb lehet. A vezérlőegység és a hidraulikus egység gyakran egybeépített egység.

26.4.4.2. ASR és EBV

Az ASR az ABS érzékelőit használja, de gyorsításkor figyeli a hajtott kerekek szlipjét. Ha a hajtott kerék gyorsabban forog, mint a járműsebességnek megfelelő kerületi sebesség, az ECU először csökkenti a motornyomatékot – például a gyújtásszög, az injektorjel vagy az elektronikus fojtószelep vezérlésével –, majd szükség esetén a kipörgő kereket aktívan megfékezi. Ez a differenciálzárhoz hasonló nyomatékátvitelt eredményez: a nem kipörgő kerékre több hajtóerő jut.

Az EBV fékezéskor ugyanazokat az érzékelőjeleket használja, hogy megbecsülje a tengelyterhelést és a lassulást. Ha a hátsó kerekek lassulása arra utal, hogy a hátsó tengely minimális terhelése mellett a kerekek blokkolni fognak, az ECU a hátsó kerékfékhenger nyomását korlátozza.

Ezáltal a jármű nem farol ki erős fékezéskor. A hagyományos mechanikus nyomáscsökkentő szeleppel ellentétben az EBV alkalmazkodik a tényleges terheléshez: rakott autónál nagyobb hátsó féknyomást enged.

26.4.4.3. ESP és EBA

Az ESP a menetstabilizálásért felelős. Érzékelői a kerékfordulatszám-jeladókon kívül:

- **Perdülési sebesség-érzékelő (yaw rate sensor)**: a jármű függőleges tengely körüli elfordulási sebességét méri.
- **Keresztgyorsulás-érzékelő**: a kanyar középpontja felé mutató gyorsulást méri.
- **Kormányszög-érzékelő**: a kormánykerék vagy kormányoszlop elfordulási szögét és irányát adja.
- Gyakran hosszirányú gyorsulás-érzékelő, nyomásérzékelő és elfordulási szög-kompenzáció is szükséges.

Az ESP-vezérlő az elvárt perdülési sebességet a sebességből, kormányszögből és a jármű geometriai adataiból számítja. Túl egyszerű közelítéssel:

$$\omega_{\text{elvárt}} = \frac{v}{R}$$

ahol v a jármű sebessége, R a kormányszögből becsült pályasugár. A mért és az elvárt perdülési sebesség különbsége jelzi, hogy a jármű alul- vagy túlkormányzott-e.

Ha a jármű **alulkormányzott** – azaz a valós perdülési sebesség kisebb, mint a vezető szándéka szerinti –, az ESP a **belső hátsó kereket** fékezi, és csökkenti a motornyomatékot. Ezzel a jármű orrát a kanyar belseje felé fordítja, növelve a perdülést. Ha a jármű **túlkormányzott** – a hátulja kifelé csúszik, a perdülés nagyobb a kelleténél –, az ESP a **külső első kereket** fékezi, és a nyomatékot növelheti, hogy a járművég visszarendeződjön. A beavatkozás nagyon gyors; a vezető gyakran csak a visszajelző villogását érzékeli.

Az ESP-hez erősebb hidraulikus egység tartozik, amely a vezető pedálnyomása nélkül is képes aktív féknyomást előállítani. Ebben a visszaszivattyú nagyobb teljesítményű, és az egység töltőszelepekkel, nyomástárolóval, valamint több nyomásérzékelővel egészül ki.

Az EBA a vészfékezést a fékpedál lenyomási sebességéből, a pedálút rövidségéből vagy a főfékhenger nyomásgradienséből ismeri fel. Ha a vezető hirtelen, de nem elég erősen fékez, az EBA a rendszer által létrehozható legnagyobb féknyomást alkalmazza, amíg a vezető pedálnyomása nem csökken, vagy az ABS be nem avatkozik. Ez jelentősen csökkenti a vészfékezési utat, különösen gyengébb izomerejű vagy tapasztalatlan vezetőknél.

26.4.5. Kidolgozott példák

26.4.5.1. 1. példa: fékszlip számítása

Adott: egy gépkocsi sebessége $v_{\text{jármű}} = 25\,\text{m/s}$. A jobb első kerék kerületi sebessége fékezés közben $v_{\text{kerék}} = 20\,\text{m/s}$.

Keresett: a kerék fékszlipje.

Képlet: $s = \frac{v_{\text{jármű}} - v_{\text{kerék}}}{v_{\text{jármű}}} \cdot 100\%$

Behelyettesítés:
$s = \frac{25\,\text{m/s} - 20\,\text{m/s}}{25\,\text{m/s}} \cdot 100\% = \frac{5}{25} \cdot 100\% = 20\%$

Eredmény: $s = 20\%$. Ez a tapadási görbe alapján kedvező tartományba esik, tehát az ABS nem avatkozna be. **Ellenőrzés:** a blokkolt kerékhez ($v_{\text{kerék}} = 0$) tartozó szlip 100% lenne, tehát a kapott érték nagyságrendileg helyes.

26.4.5.2. 2. példa: maximális tapadási erő

Adott: az autó tömege $m = 1\,400\,\text{kg}$, a száraz aszfalton mért tapadási tényező $\mu = 1{,}05$ (a szemléltető görbe csúcsértéke). A nehézségi gyorsulás $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$.

Keresett: a négy kerék által összesen átvihető maximális vízszintes tapadási erő.

Képlet: $F_{\text{tap}} = \mu \cdot m \cdot g$

Behelyettesítés:
$F_{\text{tap}} = 1{,}05 \cdot 1\,400\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 = 14\,421\,\text{N}$

Eredmény: $F_{\text{tap}} \approx 14{,}4\,\text{kN}$. Ez jelenti a fékrendszer által elvileg hasznosítható erőhatárt; ennél nagyobb kerületi erő a kerék blokkolását idézi elő. **Ellenőrzés:** a jármű lassulása $a = F/m = 14\,421/1\,400 \approx 10{,}3\,\text{m/s}^2$ (μg), ami a súrlódásos fizikai határnak felel meg.

26.4.5.3. 3. példa: elvárt perdülési sebesség

Adott: a jármű $v = 20\,\text{m/s}$ sebességgel halad egy $R = 50\,\text{m}$ sugarú kanyarban.

Keresett: az ESP által elvárt perdülési sebesség közelítő értéke.

Képlet: $\omega_{\text{elvárt}} = \frac{v}{R}$

Behelyettesítés:
$\omega_{\text{elvárt}} = \frac{20\,\text{m/s}}{50\,\text{m}} = 0{,}40\,\text{rad/s}$

Eredmény: $0{,}40\,\text{rad/s}$, ami fokban kifejezve $0{,}40 \cdot 57{,}3 \approx 22{,}9\,^\circ/\text{s}$. Ha a perdülési sebességérzékelő ennél lényegesen kisebb értéket mérne, az ESP alulkormányzottságot feltételezne. **Ellenőrzés:** a kanyarodásból számított keresztgyorsulás $a = v^2/R = 8{,}0\,\text{m/s}^2$, ami száraz úton még a tapadási határon belül van; csúszós úton az ESP beavatkozhat.

26.4.6. Minőségellenőrzés és diagnosztika

A fékrendszer biztonsági rendszer, ezért a hibakereséshez a gyártói diagnosztikai előírás, a kapcsolási rajz és a járműspecifikus adatok betartása kötelező. Az alábbi ellenőrzőlista a leggyakoribb beavatkozásokhoz ad támpontot; a konkrét mért értékek példák.

1. **Visszajelző lámpa és hibakódok:** ellenőrizd, hogy az ABS/ESP lámpa a gyújtás ráadásakor felgyullad-e, majd a motor indítása után elalszik-e. Ha folyamatosan világít, olvasd ki a vezérlőegység hibakódjait rendszerteszterrel (OBD/EOBD és gyártói diagnosztika).
2. **Kerékfordulatszám-érzékelők:** oszcilloszkóppal vagy multiméterrel ellenőrizd a jeladó jelét. Passzív induktív jeladónál kerékforgatáskor váltakozó feszültségnek kell megjelennie; a jel amplitúdója a fordulatszámmal nő. Aktív jeladónál a gyártói tesztlépések szerint áram- vagy feszültségjelet mérj. Ellenőrizd a jeladó és a jeladógyűrű közötti léghézagot; a gyártói előírás szerint jellemzően néhány tized milliméter (ellenőrizendő: gyártói adat).

3. **Jeladógyűrű és csapágy:** ha a kerékcsapágy túlzott holtjátéka miatt a jeladógyűrű megütközik, a jel zajos vagy hiányzik. Vizsgáld a fogak sérülését, szennyeződését.
4. **Hidraulikus egység:** diagnosztikai műszerrel végezz el beavatkozó tesztet (nyomástartás, csökkentés, növelés). Figyeld a fékpedál reakcióját és a kerékfékerő-változást a fékpadon. A mágnesszelep ellenállását és áramfelvételét a gyártói értékhez hasonlítsd (ellenőrizendő).
5. **ESP-érzékelők:** kormányszög-érzékelő tanítását mindig a gyártói eljárás szerint végezd, például futóműbeállítás, kormánymű- vagy kormányoszlop-javítás, vezérlő- vagy érzékelőcsere, illetve egyes típusoknál akkumulátor-lekötés után. Ellenőrizd a perdülési sebesség- és keresztgyorsulás-érzékelő jelét rendszerteszterrel: álló, vízszintes járművön a keresztgyorsulásnak közel $0\,\mathrm{m/s^2}$-nek kell lennie, a kormány egyenes állásánál a kormányszögnek $0\,^\circ$-nak (ellenőrizendő: gyártói referencia).
6. **Fékfolyadék:** ellenőrizd a fékfolyadék állapotát és szintjét. A fékfolyadék cseréjét a gyártói időközönként végezd; az ABS/ESP rendszernél a légtelenítést gyakran rendszerteszterrel támogatva kell végrehajtani, mert a hidraulikus egységben rekedt levegő hagyományos pedálos légtelenítéssel nem mindig távozik.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

26.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy középkategóriás személygépkocsi ABS/ESP visszajelző lámpája folyamatosan világít, és a műszaki vizsgára való felkészítés során a rendszerteszter a jobb hátsó kerékfordulatszám-érzékelő jelének hiányát jelzi.

A műhelyben a szerelő a járművet emelőre helyezi a gyártói emelési pontokon, majd biztonsági bakra támasztja. A jobb hátsó kerék leszerelése után megvizsgálja a jeladó kábelét és csatlakozóját. A csatlakozó burkolata repedt, belsejében nedvesség és korrózió látható; a jeladó kivezetésén a multiméter ellenállásmérése végtelen szakadást mutat. Az induktív jeladó tekercse tehát szakadt. A kerékcsapágy holtjátéka nem tér el a gyártói tűréstől, így nem okozott mechanikai sérülést.

A javítás során a szerelő a csatlakozót megtisztítja, új jeladót szerel be a gyártói előírás szerinti léghézaggal, majd a hibakódot törli. Próbapadon és közúti próbaúton az ABS beavatkozása a fékpedálon érezhető, a lámpa elalszik, és a rendszer readiness-tesztje lezárul. Az ügyfélnek elmagyarázza, hogy a lámpa világítása nem a fékek teljes kiesését jelentette, hanem az ABS funkció kikapcsolását; a járművet a javasolt időszakos szervizre is behozza.

26.4.8. Tipikus hibák

Hiba 1: „Az ABS minden útfelületen rövidebb fékutat ad.”
Nem mindig igaz. Laza hóban, kavicson a blokkolt kerék éket képezhet az útfelületben, és a fékút rövidebb lehet, mint az ABS-szel, a kormányozhatóság viszont romlik. Az ABS elsődleges célja a stabilitás és irányíthatóság megőrzése, nem kizárólag a fékút minimalizálása.

Hiba 2: „ABS-es autón vészfékezéskor pumpálni kell a fékpedált.”
Téves. Az ABS éppen a pedál pumpálását helyettesíti, és gyorsabban, pontosabban szabályoz. A vezetőnek erős, folyamatos pedálnyomást kell kifejteni; a pedálrezgés a rendszer normális működését jelzi.

Hiba 3: „Ha az ESP-lámpa világít, a hagyományos fék is használhatatlan.”
Téves. Az alap hidraulikus fékrendszer általában működőképes marad, de az ABS/ASR/ESP

funkciók kikapcsolnak. A jármű stabilitása romlik, ezért a hibát mielőbb javítani kell, különösen csúszós úton.

Hiba 4: „Kormányszög-érzékelő tanítására csak érzékelőcsere után van szükség."
Téves. Az ESP-vel (vagy EPS/ADAS-szal) szerelt járműveken futóműbeállítás, kormánymű- vagy kormányoszlop-javítás, vezérlőcsere és egyes típusoknál akkumulátor-lekötés után is el kell végezni a gyártói előírás szerint (ellenőrizendő), különben a rendszer hibás beavatkozást hajthat végre. A csak ABS-szel szerelt járművek jellemzően nem is rendelkeznek kormányszög-érzékelővel.

26.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a fékszlip 100% blokkolt kereket jelent? Indokold röviden.
2. Miért nem szabályozza az ABS a fékszlipet 0%-ra?
3. Milyen célt szolgál az EBV, és milyen hagyományos elemet vált ki?
4. Túlkormányzottság esetén melyik kereket fékezi az ESP? Miért?
5. Mi a különbség az ABS és az ESP beavatkozása között?
6. Mi a szerepe az EBA-nak?

26.4.10. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** $s = 100\%$ esetén $v_{\text{kerék}} = 0$, tehát a kerék csúszik, nem gördül.
2. Mert a tapadási tényező 0% szlipnél kisebb, mint a kedvező, néhány százalékos tartományban. A 0% szliphez tartozó erőátvitel nem maximális.
3. Az EBV a hátsó féknyomást a terhelés és lassulás függvényében korlátozza, megelőzve a hátsó kerekek blokkolását. A mechanikus nyomáscsökkentő szelepet helyettesíti.
4. A **külső első kereket**, mert annak aktív fékezése a járművet a kanyar külső íve felé mozdítja, és a far csúszását fékezi, csökkentve a perdülést.
5. Az ABS a vezetői fékezés közben a fékszlipet szabályozza, hogy a kerék ne blokkoljon; az ESP a jármű pályastabilitását biztosítja, és a vezetői pedál nélkül is aktív féknyomást hozhat létre.
6. Az EBA felismeri a vészfékezést, és a vezetői pedálnyomástól függetlenül a maximális féknyomást alkalmazza, csökkentve a fékutat.

26.4.11. Feladatok

1. feladat (A)
Írd le a fékszlip képletét, és nevezd meg a benne szereplő mennyiségeket és mértékegységeiket.

2. feladat (A)
Egy kerék $v_{\text{jármű}} = 30\,\text{m/s}$ járműsebességnél a fékezés során $v_{\text{kerék}} = 12\,\text{m/s}$ kerületi sebességet ér el. Számítsd ki a fékszlipet, és ítéld meg, hogy az ABS valószínűleg beavatkozik-e.

3. feladat (B)
Egy 1 200 kg tömegű autó vizes aszfalton fékez. A tapadási tényező legyen a szemléltető görbe csúcsánál $\mu = 0{,}65$. Számítsd ki a maximális hasznosítható fékerőt, és becsüld meg a jármű lassulását.

4. feladat (B)
Tedd helyes sorrendbe az ABS ciklus fázisait: nyomáscsökkentés, nyomástartás, nyomásnövelés. Indokold, milyen keréklassulás és szlip esetén melyik következik.

5. feladat (C)
Egy autó $v = 15\,\text{m/s}$ sebességgel halad egy $R = 40\,\text{m}$ sugarú kanyarban. Az ESP perdülési sebesség-érzékelője 0,50 rad/s értéket mér. Számítsd ki az elvárt értéket, és döntsd el, hogy alul- vagy túlkormányzottságot jelez-e a rendszer.

6. feladat (D)
Ügyfélpanasz: ABS-lámpa világít, a fékpedál normál nyomásra is pulzál, és a jármű fékezéskor jobbra húz. A műhelyben a bal első kerékfordulatszám-érzékelő jele hiányzik, a jobb első kerék jele szabályos. Milyen következménye lehet ennek az ABS-re és a fékezésre? Milyen ellenőrzéseket végeznél?

26.4.12. A feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A fékszlip: $s = \frac{v_{\text{jármű}} - v_{\text{kerék}}}{v_{\text{jármű}}} \cdot 100\%$, ahol $v_{\text{jármű}}$ a jármű sebessége m/s-ban, $v_{\text{kerék}} = \omega_{\text{kerék}} \cdot r_{\text{d}}$ a kerék kerületi sebessége, szintén m/s-ban; $\omega_{\text{kerék}}$ a kerék szögsebessége (rad/s), r_{d} a gördülési sugár (m).

2. feladat (A)
$s = \frac{30-12}{30} \cdot 100\% = \frac{18}{30} \cdot 100\% = 60\%$.
Mivel a szlip jóval a kedvező 10–20% fölött van, az ABS beavatkozna, és a nyomást csökkentené. ∎

3. feladat (B)
$F_{\text{tap}} = \mu \cdot m \cdot g = 0{,}65 \cdot 1\,200 \cdot 9{,}81 = 7\,652\,\text{N} \approx 7{,}65\,\text{kN}$.
A lassulás $a = \frac{F_{\text{tap}}}{m} = \frac{7\,652}{1\,200} = 6{,}38\,\text{m/s}^2$. Ellenőrzés: vizes aszfalton ez reális, hiszen a száraz aszfalténál kisebb. ∎

4. feladat (B)
Sorrend: (1) nyomástartás, (2) nyomáscsökkentés, (3) nyomásnövelés.
Nyomástartás akkor következik, amikor a keréklassulás túl nagy, de a szlip még nem kritikus; ha a szlip tovább nő, nyomáscsökkentés; ha a kerék visszagyorsul, nyomásnövelés. ∎

5. feladat (C)
$\omega_{\text{elvárt}} = \frac{15}{40} = 0{,}375\,\text{rad/s}$, ami $0{,}375 \cdot 57{,}3 \approx 21{,}5\,^\circ/\text{s}$.
A mért 0,50 rad/s kb. 33%-kal nagyobb az elvártnál, tehát a jármű a kívántnál gyorsabban fordul, azaz **túlkormányzott** viselkedés valószínű. Ezt az ESP-nek a külső első kerék fékezésével ellensúlyoznia kell. ∎

6. feladat (D)
A jeladó-hiba miatt az ABS (és az ESP) letilt, a lámpa világít; az alapfék működik. A normál fékezéskori pulzálás és a jobbra húzás nem az ABS-ből ered: a féktárcsák ütését, vastagságkülönbségét, a nyergek és betétek állapotát, a fékpadon az oldalankénti fékerőt külön vizsgálni kell. A két hibát egymástól függetlenül kell javítani. Az ABS-hiba ellenőrzése: a hibakód kiolvasása, a bal első jeladó és jeladógyűrű vizsgálata, a kábel és csatlakozó ellenőrzése, oszcilloszkópos jelvizsgálat, a kerékcsapágy holtjátéka. A javítás után teszt, hibakód-törlés és próbaút szükséges.

26.4.13. Rövid összefoglaló

Az ABS a kerekek fékszlipjét szabályozza, hogy a kerék ne blokkoljon, hanem a maximális tapadást adó, jellemzően 10–20% közötti szlip-tartományban dolgozzon. A fékszlip a járműsebesség és a kerék kerületi sebességének különbségéből számítható. Az ABS szabályozási ciklusa nyomástartásból, nyomáscsökkentésből és nyomásnövelésből áll; a kerékfordulatszám-érzékelők

jeleit az ECU dolgozza fel, a hidraulikus egység pedig kerékenként módosítja a féknyomást. Az EBV a hátsó kerekek féknyomását terhelésfüggően korlátozza, az ASR a hajtott kerekek kipörgését gátolja, az ESP a jármű perdülési sebességét és keresztgyorsulását hasonlítja a vezetői szándékhoz, és alulkormányzottság esetén a belső hátsó, túlkormányzottság esetén a külső első kereket fékezi. Az EBA a vészfékezést felismerve maximális féknyomást hoz létre. **Továbbvitt eredmény.** Az ABS és ESP szabályozási kör, az érzékelők és beavatkozók működése, valamint a diagnosztikai eljárás alapelemei a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk és a Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB alfejezetekben térnek vissza. A fékrendszer biztonsági berendezés, ezért minden munkát a gyártói előírás szerint, megfelelő képzettséggel kell végezni.

26.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípus: ENSZ-EGB előírás a fékrendszerekre (személygépkocsiknál ECE R13-H, elektronikus menetstabilizálóra vonatkozó előírások – pontos számuk és alkalmazási dátumuk ellenőrizendő).
- Forrástípus: uniós típusjóváhagyási keretszabályozás és a jármű-biztonsági rendelet az ABS/ESP kötelező alkalmazásáról (szám, dátum ellenőrizendő).
- Forrástípus: gyártói javítási utasítások, kapcsolási rajzok, rendszerteszter-diagnosztikai lépések és beállítási adatok (ellenőrizendő: konkrét léghézag, jeladó-jel, tanítási feltételek, légtelenítési eljárás).
- A fejezetben szereplő számszerű értékek – a fékszlip-tapadás görbe, a szabályozási ciklus frekvenciája, a példákban használt tapadási tényezők – tanulási példák, nem mért vagy hatósági adatok.

26.5. Rögzítőfékek és tartós lassító fékek

26.5.1. Motiváció

Kétféle műhelyhelyzetben találkozunk a rögzítőfékkel és a tartós lassítófékkel. Az egyik: a dombon parkoló jármű nem mozdul el a kézifék behúzása után, és a műszaki vizsgán a fékhatásmérőn is meg kell felelnie. A másik: egy hosszú lejtőn a szervizfék folyamatos használata túlmelegedést, a fékbetét és a fékfolyadék túlhevülését és hatáscsökkenést okozhat; ezért tehergépjárműveken és egyes haszongépjárműveken tartós lassító fékre van szükség. Szerelőként tudnunk kell, hogyan működik a mechanikus bowdenes rögzítőfék, hogyan kell az elektromechanikus rögzítőféket (EPB) szervizelni a betétcsere előtt, és hogyan működnek a tartós lassító fékek. Ezek az ismeretek a Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB alfejezetben közvetlenül hasznosulnak.

26.5.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hátsó dobféket. A fékdob belső felületéhez két fékpofa szorul a fékhenger hatására. A pofák alsó vége egy csapon támaszkodik, felső végüket a fékhenger feszíti szét. A kézifékbowden egy emelőkart mozgat, amely a pofákat önállóan – hidraulika nélkül – feszíti a dobhoz. Egy másik kép: elektromechanikus rögzítőfék esetén a hátsó féknyeregre szerelt villanymotor fogaskerekes hajtóművön keresztül egy nagy áttételű csavart forgat; a csavar a fék dugattyúját előre tolja, és a betétet a tárcsához szorítja. A motor áramfelvételéből az elektronika felismeri, mikor érte el a megfelelő szorítóerőt.

26.5.3. Definíciók és rendeltetés

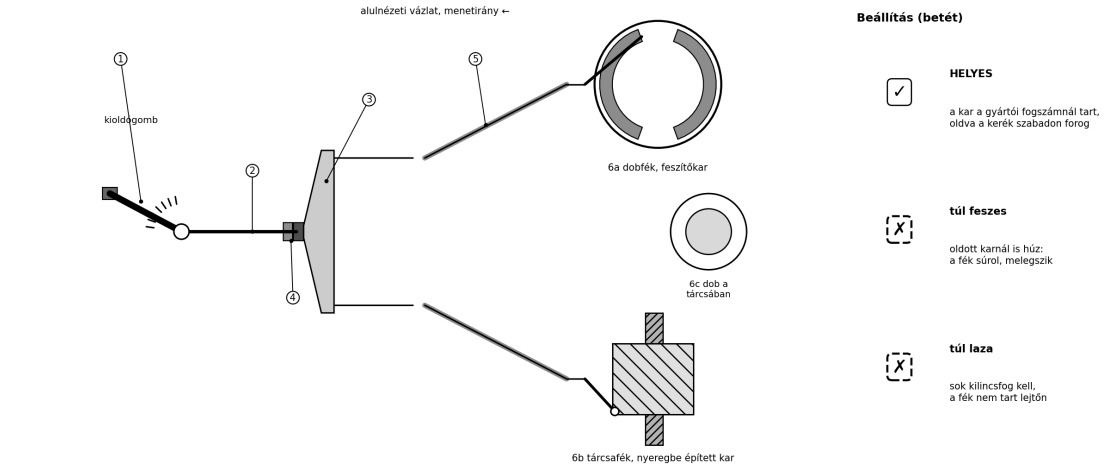
Definíció. A **rögzítőfék** (parkolófék; „kézifék”) a jármű álló helyzetben tartására szolgáló, a szervizfékrendszertől függetlenül működtethető fékberendezés. Személygépkocsikon jellemzően a hátsó kerekekre hat, mechanikus (bowden, rúd, kábel) vagy elektromechanikus (EPB) kivitelben.

Definíció. A **tartós lassító fék** (retarder, lassítóberendezés) olyan, a kerékféktől független rendszer, amely hosszabb lejtőkön folyamatos lassítónyomatékot biztosít anélkül, hogy a kerékfékek tartósan üzemelnének. Energiáját a hajtásláncban, a motorban vagy a kipufogórendszerben alakítja hővé.

Megjegyzés. A rögzítőfék feladata **tartás**, a tartós lassító féké pedig **hosszú tartamú lassítás**. A kettő nem helyettesíti egymást.

26.5.4. A mechanikus rögzítőfék felépítése és működése

Dobféknél a kézifékkarhoz bowden (vagy rúd) csatlakozik. A bowden belső huzala a fékpajzson belüli emelőkarhoz kapcsolódik. A kar elfordulása a fékpofákat szétfeszíti a dobon. A rugók a kart és a pofákat oldás után visszahúzzák. A fékpofák kopása miatt a szerkezet utánállítást igényel; egyes dobfékek automatikus utánállítóval rendelkeznek, másokon a bowden hossza kézzel állítható. Tárcsaféknél több megoldás létezik: (1) a tárcsafék dobjában egy kis dobfék-pár, (2) a féknyeregbe épített mechanikus csavaros működtető, amely a dugattyút tolja a betéthez, vagy (3) EPB. A bowdenes rögzítőféknél a kar és a kábel mozgását, a pofák/dobok kopását, a beállítást rendszeresen ellenőrizni kell.



1 kar kilincsművel és kioldógombbal, 2 húzórúd, 3 kiegyenlítő, 4 állítóanya és ellenanya, 5 bowden (köpeny + huzal), 6a–6c hátsó kerékfék-változatok. Sematikus rajz; a fogszám és a beállítás gyártói adat (ellenőrizendő).

26.12. ábra. A mechanikus rögzítőfék felépítése: kar, húzórúd, kiegyenlítő, állítóanya, bowdenek és a hátsó kerékfékek változatai; betét: a beállítás hibái

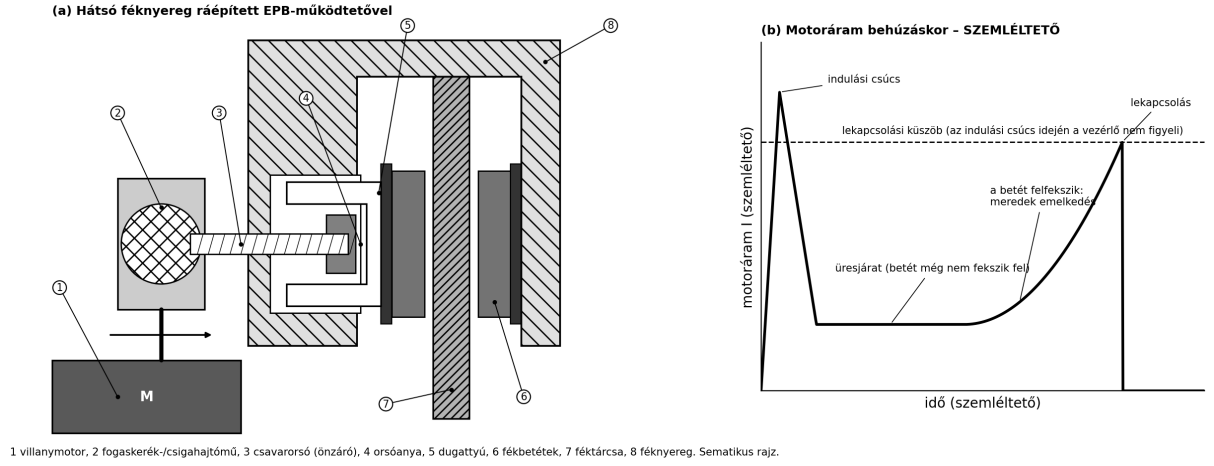
A kilincsműves kar (1) a húzórúdon (2) át a kiegyenlítőt (3) húzza, amely a két bowden (5) között kiegyenlíti az erőt; a bowdenek feszességét a kiegyenlítőnél lévő állítóanyával és ellenanyával (4) állítjuk. A bowden a dobféknél a pofák feszítőkarját (6a), tárcsaféknél a nyeregbe épített mechanikus kart (6b) húzza; egyes járműveken a tárcsa agyrészében külön kis dobfék (6c) a rögzítőfék. A túl feszes beállításnál a fék oldott karnál is súrol, a túl lazánál sok kilincsfog kell, és a fék nem tart. A HTML-kiadásban a kar fogankénti behúzása lépésenként követhető.

26.5.5. Elektromechanikus rögzítőfék (EPB)

Az EPB (electric parking brake) a hagyományos kézifékkar vagy pedál helyett kapcsolóval működik. Egy tipikus rendszer elemei: kapcsoló (pl. „P” gomb a középkonzolon), EPB-vezérlő, hátsó féknyeregre szerelt villanymotor hajtóművel, és a kapcsolódó fékfigyelmeztető lámpa. A vezérlő a gomb megnyomásakor feszültséget kapcsol a motorra; a hajtómű (pl. nagyfokozatú csavarkerék) a dugattyút előre tolja. A szorítóerő nagyságát az ECU a motor áramfelvételének emelkedéséből érzékeli, és a kívánt szinten leállítja a motort. Oldáskor a motor ellentétes irányban forgatja a csavart, a dugattyú visszahúzódik.

Az EPB **vészkioldása** akkor szükséges, ha a 12 V-os rendszer vagy a fékvezérlő nem működik, és a járművet szállítani vagy szerelni kell. A gyártók többféle megoldást használnak: egyes járművekben a csomagtérben található mechanikus vészoldó bowden vagy vészkioldó hurok, más járműveknél diagnosztikai műszerrel indítható vészkioldás. A pontos eljárást a gyártói javítási utasítás tartalmazza (ellenőrizendő: típusonként). **Tilos** a dugattyút erővel benyomni vagy a motort a gyártói eljárástól eltérően (például közvetlen tápfeszültséggel) működtetni, mert a csavarorsó és a hajtómű károsodhat.

A **szerviz üzemmód** (service mode, maintenance mode) az EPB továbbfejlesztett diagnosztikai funkciója. A betétcsere előtt a rendszert diagnosztikai műszerrel vagy egy gombsorozattal úgy állítják be, hogy a dugattyú teljesen visszahúzódjon, és a fékbetétek szabadon cserélhetők legyenek. Ezután az új betétek beszerelése után az EPB-t újra be kell tanítani, illetve a szerviz üzemmódból ki kell lépni, és a működést tesztelni kell. A részleteket a gyártói előírás adja (ellenőrizendő).



1 villanymotor, 2 fogaskerék-/csigahajtómű, 3 csavarorsó (önzáró), 4 orsóanya, 5 dugattyú, 6 fékbetétek, 7 féktárcsa, 8 féknyereg. Sematikus rajz.

26.13. ábra. Elektromechanikus rögzítőfék: (a) hátsó féknyereg metszete a ráépített EPB-működtetővel, (b) a motoráram behúzáskor (szemléltető)

A villanymotor (1) a hajtóművön (2) át az önzáró csavarorsót (3) forgatja; az orsóanya (4) a dugattyút (5) és a betéteket (6) a tárcsához (7) tolja. A motoráram az indulási csúcs után kicsi, a betétek felfekvésekor meredeken nő, és a vezérlő a lekapcsolási küszöbnél leállítja a motort. Mivel az orsó önzáró, a dugattyút tengelyirányú erővel nem lehet visszanyomni: előbb a szerviz üzemmódban az orsót kell visszaforgatni. A HTML-kiadás lépései a behúzást, a szorítást, az oldást, a szerviz üzemmódot és a tilos „erővel benyomás” esetét mutatják.

26.5.6. Tartós lassító fékek

A tartós lassító fékek célja a kerékfékek tehermentesítése hosszú lejtőkön. Négy fő típus terjedt el:

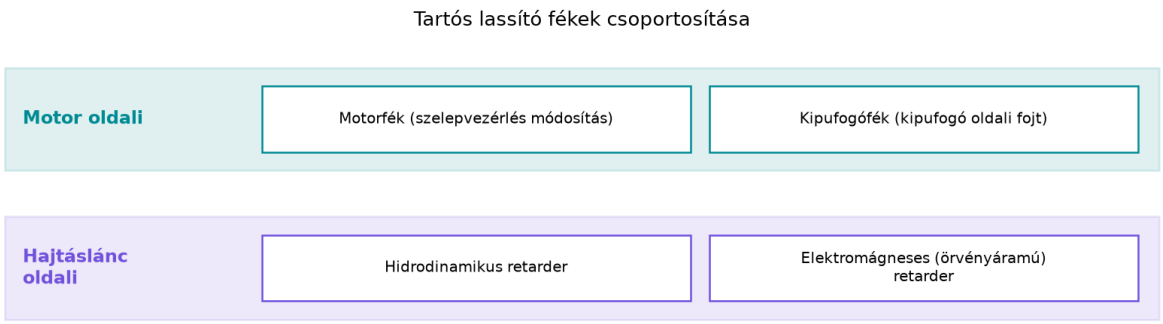
1. Motorfék. A dízelmotorban a kipufogószelep vezérlésének módosításával a sűrítési ütemben a levegőt összesűrítik, majd kipufogószelepeket nyitnak, így a motornak nincs hasznos munkavégzése, és a motor belső súrlódása, kompressziója fékezőnyomatékot ad. A benzines Otto-motoroknál is van motorfékhatás, ha a gázpedált felengedjük: ezt főként a zárt fojtószelep miatti szívási (töltéscsere-) veszteség adja. A motorfék használatakor a fordulatszámot a gyártó által megengedett tartományban kell tartani, kerülni kell a túlfordulatot (ellenőrizendő: fordulatszám-határ).

2. Kipufogófék. A kipufogócsőbe épített fojtószelep (pillangószelep) csökkenti a kipufogógáz távozását. A motor a kipufogási ütemben a megnövekedett ellennyomás ellen dolgozik, így a fékezőhatás nő. Jellemzően a motorkontrollal együtt alkalmazzák; használata közben az automatikus sebességváltót megfelelő fokozatba kell kapcsolni.

3. Hidrodinamikus retarder. A hajtásláncba (pl. sebességváltó után, kardántengelyben vagy a sebességváltóval egybeépítve) szerelt folyadékcsatoló. A forgórész és az állórész közé olajat töltenek; a forgórész a hajtásból származó energiát a folyadék cirkulációján keresztül átadja az állórésznek, ahol hővé alakul. A féknyomaték az olajtöltés mértékével szabályozható. A keletkező hőt a jármű hűtőrendszere viszi el, ezért a retardert csak megfelelő hűtőfolyadék-szinttel szabad tartósan használni.

4. Elektromágneses (örvényáramú) retarder. A forgórészt (tárcsa vagy dob) a hajtáslánc hajtja. Az állórész mágneses teret hoz létre; a forgó vezető tárcsában örvényáramok indukálódnak, amelyek fékezőnyomatékot keltenek. A nyomaték a gerjesztőárammal szabályozható, a hőt a levegő vagy folyadékhűtés adja le. Ez a rendszer kopásmentes, villamos energiát igényel, és a jármű 24 V-os hálózatához kapcsolódik.

Az alábbi rétegábra a tartós lassító fékek fő csoportjait foglalja össze:



26.14. ábra. Tartós lassító fékek csoportosítása - Szemléltető ábra a fő rendszertípusokról. A regeneratív fékezést a VIII. rész tárgyalja.

Regeneratív fékezés – a hibrid és elektromos járműveknél a húzómotor generátoros üzemmódban lassít, és a mozgási energiát az akkumulátorba tölti. Ez is tartós fékezésként szolgál, de részletesen a Hibrid és elektromos hajtások áttekintése alfejezetben tárgyaljuk.

26.5.7. Kidolgozott példák

1. Példa – rögzítőfék tartóereje lejtőn.
Egy 1500 kg össztömegű személyautó 20%-os lejtőn áll. Mennyi fékerőt kell a rögzítőféknek a jármű elmozdulásának megakadályozásához?

$$F_{\text{lejtő}} = m\,g\,\sin\alpha \approx m\,g\,q/100 = 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}20 = 2943\,\text{N} \approx 2{,}94\,\text{kN}$$

(pontosan: $\sin(\arctan 0{,}20) = 0{,}196 \rightarrow 2886$ N; a közelítés hibája kb. 2%).

Ez a teljes járműre ható lejtőirányú erő; a rögzítőféknek ezt kell tartania a hátsó kerekeken, ezért a hátsó tengelyre jutó tapadási erőt is figyelembe kell venni. A hatósági vizsgán a rögzítőfék-hatásosságot a jármű tömegéhez viszonyított lassulásban vagy fékerőben mérik (ellenőrizendő: hatályos műszaki vizsga követelmény).

2. Példa – hidrodinamikus retarder teljesítménylevezetése.
Egy 40 t össztömegű tehergépkocsi 6%-os lejtőn 60 km/h állandó sebességgel halad, a lejtőn a gördülési ellenállás elhanyagolható. Mekkora teljesítményt kell a tartós lassító fékkel felemészteni?

A sebesség: $v = 60\,\text{km/h} = 16{,}67\,\text{m/s}$.
A lejtő ellenállási ereje: $F = m\,g\,\sin\alpha \approx 40000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}06 = 23544\,\text{N}$.
A teljesítmény: $P = F \cdot v = 23544 \cdot 16{,}67 = 392{,}4\,\text{kW}$.

Ez nagy teljesítmény, jól mutatja, miért van szükség a kerékféktől független, nagy hőleadású tartós lassító féke. A konkrét érték a hajtáslánc hatásfokától és a gördülési ellenállástól is függ; ez tanulási példa.

26.5.8. Minőségellenőrzés

A rögzítőféket és a tartós lassító fékeket a következőképp ellenőrizzük:

- **Mechanikus rögzítőfék:** a kar húzási útja, a kábel feszes, a pofák/dobok kopása, az automatikus utánállító működése. A járművet lejtőn vagy próbapadon ellenőrizni.
- **EPB:** diagnosztikai hibakódok kiolvasása, szerviz üzemmód aktiválása, a dugattyú visszahúzódásának és a szorítóerő-tanításnak az ellenőrzése. A kapcsoló és a figyelmeztető lámpa működése.
- **Tartós lassító fék:** a motorfék működésének próbája, a kipufogófék fojtószelepének mozgása, a retarder olajszintje és a hűtőfolyadék szintje, az örvényáramú retarder gerjesztőáramköre. Minden ellenőrzés a gyártói adatok szerint (ellenőrizendő).

26.5.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy személyautó ügyfele panaszkodik: az EPB piros figyelmeztető lámpája világít, a rögzítőfék nem old ki. A diagnosztikai műszerrel kiolvassuk az EPB hibakódot: a jobb hátsó szervomotor nem jelez áramfelvételt. Ellenőrizzük a csatlakozókat, a vezetékeket feszültségesésmérővel; a motor ellenállása szakadt. A féknyeregbe épített szervomotor cseréje szükséges. Mielőtt bontunk, a jármű kerekeit kiékeljük, és a befeszült jobb hátsó nyerget a gyártói vészkioldási eljárással oldjuk (ellenőrizendő). A jobb oldali nyereg cseréje után az új egységet betanítjuk, a rendszert működtetjük, és a hibakódot csak a javítás után töröljük. Végül lejtőn próbáljuk a rögzítőféket. Tanulság: az EPB-vel ellátott féknyeregen a dugattyút tilos erővel benyomni, mindig szerviz üzemmódot kell használni.

26.5.10. Gyakorlati útmutató – EPB szerviz üzemmód aktiválása betétcsere előtt

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. Az EPB-vel szerelt járműveken a hátsó féknyereg dugattyúját **tilos** erővel benyomni, mert a hajtómű és a csavarorsó károsodik. Mindig a gyártó által előírt szerviz üzemmódot használja. (Az ok: az önzáró csavarorsó, lásd az EPB-nyereg metszetét az Elektromechanikus rögzítőfék szakaszban.)

Szükséges eszközök: emelő/bakra, kerékőrök, szerszámkészlet, diagnosztikai műszer, fékpiszok eltávolítására kefe és fékportisztító (ha szükséges), egyéni védőfelszerelés, gyűjtőedény.

Lépések:

1. A járművet stabil, vízszintes felületre állítsa, rögzítse az első kerekeket. A kormányt ne reteszelje.
2. Kapcsolja ki a gyújtást, a rögzítőféket oldja ki (ha lehetséges), a kerekeket ékelje ki; csatlakoztasson töltőt/tápegységet (ellenőrizendő: gyártói eljárás).
3. Emelje fel a járművet a gyártói emelési pontokon, vagy használjon bakot az alátámasztáshoz; a csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.
4. Kapcsolja be a gyújtást (motor nem jár) a gyártói eljárás szerint. Csatlakoztassa a diagnosztikai műszert, olvassa ki az EPB hibakódjait, és győződjön meg arról, hogy nincs kritikus hiba.
5. Aktiválja az EPB szerviz üzemmódot a gyártó szerint (pl. diagnosztikai funkció, vagy adott gombsorozat). A műszer visszajelzésén ellenőrizze, hogy mindkét hátsó nyereg dugattyúja teljesen visszahúzódott.
6. Szerelje ki a hátsó féknyergeket/cserélje a betéteket a gyártói utasítás szerint. A szerviz üzemmódban csak a csavarorsó húzódik vissza; a betétek kiszerelése után a dugattyút a megfelelő célszerszámmal nyomja vissza, a fékfolyadék szintjét figyelve. Erővel benyomni tilos.
7. Szerelje vissza a nyergeket, ellenőrizze a csúszóelemeket, és törölje le a féktárcsát szennyeződés-mentesen.
8. Lépjen ki a szerviz üzemmódból, és végezze el az EPB-tanítást (alaphelyzet beállítása, szorítóerő-tanítás).
9. Működtesse a rögzítőféket többször, és ellenőrizze a diagnosztikai értékeket (áramfelvétel, dugattyú út). Ha hibakód marad, keresse meg az okát (csatlakozó, betéttípus, tanítás) – törlés csak javítás után.
10. A fékpedált nyomja le többször, amíg kemény nem lesz. Szerelje fel a kerekeket, engedje le a járművet, húzza meg a kerékcsavarokat a gyártói nyomatékkal (ellenőrizendő), és végezzen lejtőn tartási tesztet.
11. Dokumentálja a munkalapon az EPB szerviz üzemmód aktiválását, a betétcserét és a végső ellenőrzést.

26.5.11. Tipikus hibák

1. **EPB dugattyú erővel való benyomása.** Ez a leggyakoribb sérülés forrása. Helyette mindig szerviz üzemmódot kell használni.
2. **A bowdenes rögzítőfék túlfeszítése.** Ha a kábelt túl feszesre állítják, a fékpofák hozzáérnek a dobhoz, és a jármű fékezve gurul. A beállításnál a kar játékát kell ellenőrizni, és a pofákat megfelelően utánállítani.

3. **A tartós lassító fék ellenőrzésének elhanyagolása.** Az olajos, szennyezett vagy leeresztett retarder csökkenti a fékerőt, túlmelegszik, és a hűtőrendszert is károsítja. Rendszeresen ellenőrizni kell az olajszintet és a hőcserélőt.
4. **Motorfék helytelen használata magas fordulatszámon.** Túl alacsony fokozatban nagy fordulaton a motor túlfordul, ez mechanikai sérülést okozhat. A tartós fékezéshez a gyártó által megengedett fordulatszám-tartományt kell használni.

26.5.12. Önellenőrzés

1. Mi a rögzítőfék elsődleges feladata?

2. Miért nem szabad az EPB dugattyút erővel benyomni?

3. Soroljon fel két tartós lassító fék típust!

4. Egy 3000 kg-os jármű 10%-os lejtőn parkol. Mekkora lejtőirányú erőt kell a rögzítőféknek tartania? (Ha a számításhoz $g = 9{,}81$ m/s².)

5. Hogyan működik a kipufogófék?

6. Melyik rendszer képes a mozgási energiát elektromos energiává visszaalakítani?

26.5.13. Feladatok

1. feladat (A). Milyen feladatai vannak a rögzítőféknek és a tartós lassító féknek? Fogalmazza meg a különbséget.

2. feladat (A). Számítsa ki az 1. kidolgozott példa mintájára: egy 2500 kg-os jármű 15%-os lejtőn parkol. Mekkora a lejtőirányú erő?

3. feladat (B). Írja le az EPB szerviz üzemmód aktiválásának fő lépéseit (legalább öt lépés), és magyarázza el, miért kötelező a diagnosztikai műszer használata.

4. feladat (B). Hasonlítsa össze a hidrodinamikus retardert és az elektromágneses (örvényáramú) retardert: működési elv, beavatkozás, hőelvezetés, előnyök és hátrányok.

5. feladat (C). Mi történik, ha a bowdenes kéziféket túl feszesre állítják? Milyen következményei lehetnek a járműre és a fékekre?

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza: a járműben az EPB gomb megnyomásakor a rögzítőfék nem old ki, a piros lámpa villog. A diagnosztikai műszer hibakódot jelez a jobb hátsó szervomotorra. Milyen lépésekkel állítja fel a diagnózist, és milyen javítást javasol? Írja le a hibakeresés és a javítás gondolatmenetét.

26.5.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A rögzítőfék a jármű álló helyzetben tartására, különösen lejtőn, a szervizféktől függetlenül.

2. Az EPB csavarorsója és hajtóműve károsodhat; a dugattyút szereléshez szerviz üzemmódban kell visszahúzni.

3. Pl. motorfék, kipufogófék, hidrodinamikus retarder, örvényáramú retarder.

4. $F = 3000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}10 = 2943\,\mathrm{N}$.

5. A kipufogócsőbe fojtószelepet építenek, amely megnöveli a kipufogási ellennyomást, így a motornak a kipufogás ellen kell dolgoznia, fékezőhatást keltve.

6. A regeneratív fékezés (hibrid/elektromos hajtásban).

1. feladat megoldása.
A rögzítőfék a jármű álló helyzetben tartására, a tartós lassító fék a folyamatos lassításra szolgál hosszú lejtőkön. A rögzítőfék tipikusan a hátsó kerekekre hat, míg a tartós lassító fék a motorban, a kipufogóban vagy a hajtásláncban fejti ki hatását.

2. feladat megoldása.
Adott: $m = 2500\,\mathrm{kg}$, $q = 15\%$, $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$.
Keresett: F.
$F = m\,g\,q/100 = 2500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}15 = 3678{,}75\,\mathrm{N} \approx 3{,}68\,\mathrm{kN}$.
Ellenőrzés: a lejtő enyhébb ($15\% < 20\%$), de a tömeg jóval nagyobb, így összességében nagyobb erőt kapunk.

3. feladat megoldása.
A lépések (lásd a gyakorlati útmutatót): biztonságos járműrögzítés, gyújtás kikapcsolása, diagnosztikai műszer csatlakoztatása, szerviz üzemmód aktiválása, a dugattyú visszahúzódásának ellenőrzése, betétcsere, kilépés a szerviz üzemmódból, EPB-tanítás, teszt. A diagnosztikai műszer azért kötelező, mert a szerviz üzemmódot ez aktiválja, és megakadályozza a dugattyú erőltetett benyomását; ezen kívül a hibakódok törléséhez is szükséges.

4. feladat megoldása.
A hidrodinamikus retarder folyadékot (olajat) használ a forgó és állórész között; a nyomaték az olaj mennyiségével szabályozható, a hőt a jármű hűtőrendszere viszi el. Az örvényáramú retarder mágneses teret használ, a forgó tárcsában indukált örvényáramok keltenek féket; a nyomaték a gerjesztőárammal szabályozható, a hőt levegő vagy folyadék hűtés adja le. Mindkettő kopásmentes, de az elektromágneses rendszer villamos energiát igényel. A hidrodinamikus egyszerűbb mechanikailag, de olajszint és hőcserélő ellenőrzése szükséges.

5. feladat megoldása.
A túlfeszített bowden a fékpofákat folyamatosan a dobhoz vagy a tárcsához szorítja. Ez állandó súrlódást, melegedést, a fékbetétek idő előtti kopását, nagyobb üzemanyag-fogyasztást, és akár a fék túlmelegedését okozhatja. A jármű akadályozott szabadgurulású, ami a vizsgán is látható. A helyes beállítás: a kar játékának gyártói értékre állítása, a pofák utánállítása.

6. feladat megoldása.
Először rögzítse a járművet (kerekek kiékelése), győződjön meg róla, hogy a fék oldott állapotban van-e mechanikusan. Csatlakoztassa a diagnosztikai műszert, olvassa ki az EPB hibakódjait. Ellenőrizze a jobb hátsó szervomotor táplálását és testelését: a feszültségmérés bekapcsolt gyújtás mellett, a működtetés közben történik (feszültség a motor csatlakozóján, a motor ellenállása). Ha a motor szakadt vagy nem vesz fel áramot, a féknyeregbe épített szervomotor cseréje szükséges. A bal oldali nyerget szerviz üzemmódban húzza vissza, a jobb nyereg cseréje után végezze el az EPB-tanítást, a működtetési tesztet, hibakód törlést, és lejtőn tesztelje a rögzítőféket. Fontos: a

szerelés (motor/nyereg cseréje) előtt kapcsolja ki a gyújtást, és – ha a gyártó előírja – kösse le az akkumulátort (ellenőrizendő).

26.5.15. Rövid összefoglaló

A rögzítőfék a jármű álló helyzetben tartására szolgál. A mechanikus bowdenes megoldás a hátsó dobféket vagy tárcsaféket működteti, beállítását a kar útja és a pofák hézaga határozza meg. Az elektromechanikus rögzítőfék (EPB) villanymotoros csavarorsóval szorítja a betétet a tárcsára; betétcsere előtt a dugattyút **csak szerviz üzemmódban** szabad visszahúzni, erővel benyomni tilos. Vészkioldás a gyártói eljárás szerint történik. A tartós lassító fékek a kerékfékek tehermentesítésére szolgálnak: a motorfék a szelepvezérlés módosításával, a kipufogófék a kipufogóellennyomás növelésével, a hidrodinamikus retarder olajfeltöltésű folyadékcsatolóval, az elektromágneses retarder örvényárammal fejti ki a hatását. A regeneratív fékezést a hibrid és elektromos járműveknél tárgyaljuk (VIII. rész). **Továbbvitt eredmény.** Az EPB szerviz üzemmódjának ismeretét a Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB alfejezetben közvetlenül alkalmazzuk a hátsó fékbetét-csere során.

26.5.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: EPB szerviz üzemmód, vészkioldás, beállítási adatok, meghúzási nyomatékok – minden tételnél ellenőrizendő.
- A rögzítőfékre és tartós lassító fékekre vonatkozó ENSZ-EGB előírások (pl. fékberendezések) – a pontos hivatkozás ellenőrizendő.
- A hatósági műszaki vizsga fékhatásmérési követelményei – ellenőrizendő a hatályos hazai jogszabály szerint.
- A retarderek gyártói adatai (olajszint, hűtőfolyadék, gerjesztőáram, teljesítmény) – ellenőrizendő.
- Az örvényáramú és hidrodinamikus retarderek működési elve, valamint a motorfék szelepvezérlési megoldásai – szakkönyvi források alapján; a konkrét típusok adatait a gyártói dokumentációból kell ellenőrizni.

26.6. Légfékek és pótkocsifékek

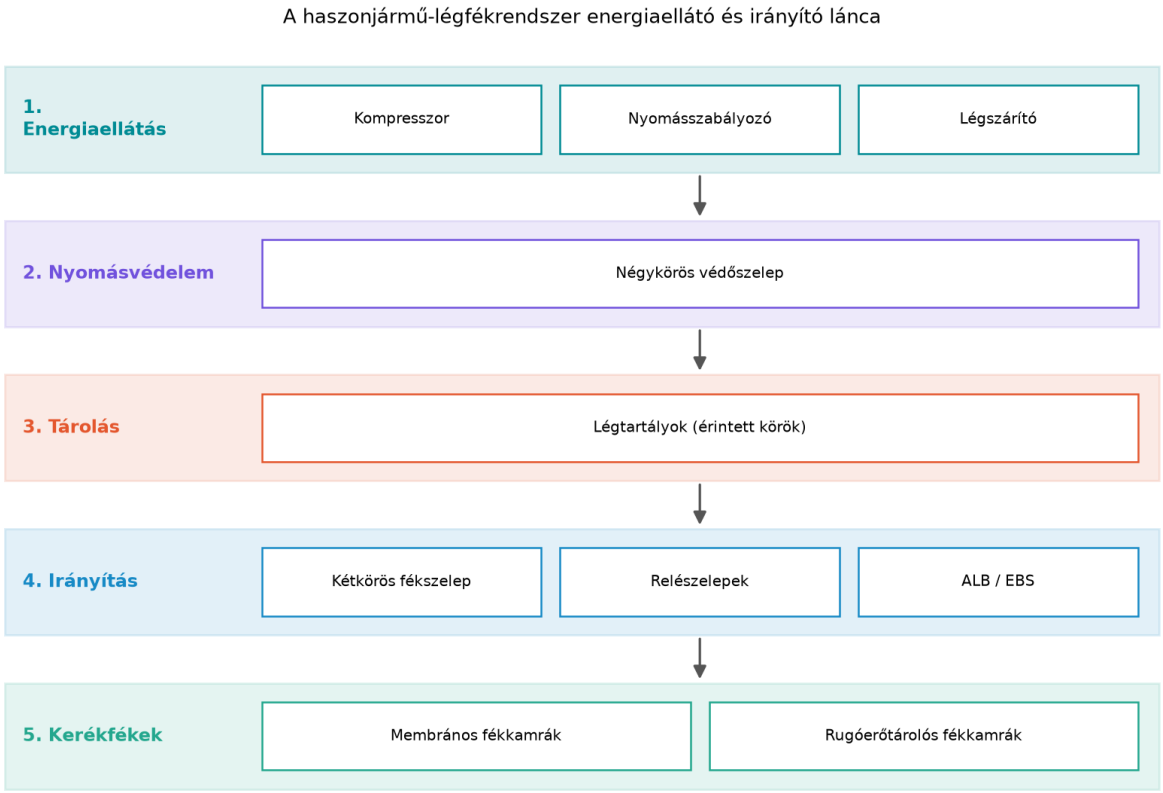
26.6.1. Motiváció

Egy nyergesvontatóból és pótkocsiból álló szerelvény műszaki vizsgája előtt a sofőr azt jelzi: a vontató levegőnyomása rendben felépül, de a pótkocsi fékje késve old, és a pótkocsi kereke időnként melegszik. A műhelyben nem elég csak a vontató manométerére nézni: a hibához végig kell követni a sűrített levegő útját a kompresszortól a fékkamráig, és meg kell érteni, miért úgy van kialakítva a rendszer, hogy levegő hiányában is biztonságosan rögzítsen. A légfék a nehéz haszonjárművek és a szerelvények alapvető biztonsági rendszere; hibás pótkocsifék nem csupán műszaki vizsgabukás, hanem közvetlen balesetveszély.

26.6.2. Szemléletes kép

A légfékrendszer energiaellátási és irányítási lánca rétegenként ábrázolható: a kompresszor sűríti a levegőt, a nyomásszabályozó és a légszárító előkészíti, a négykörös védőszelep szétválasztja a

köröket, a légtartályok tárolják a nyomástartalékot, a fékszelep és a relészelepek irányítanak, a fékkamrák pedig a kerékféket működtetik.



26.15. ábra. A haszonjármű-légfékrendszer energiaellátó és irányító lánca - Szemléltető vázlat; a tényleges körökhöz mindig a gyártói kapcsolási rajzot és javítási utasítást használd.

A levegő útja tehát: **kompresszor → nyomásszabályozó/légszárító → négykörös védőszelep → légtartályok → fékszelep → relészelep/ALB → fékkamra**. A pótkocsi felé ebből az energiaellátásból egy tápvezeték és egy vezérlővezeték ágazik le.

26.6.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **légfékrendszer** olyan súrlódó fékrendszer, amely a pedálerőt sűrített levegő segítségével erősíti és osztja el, és amely nyomástartalékkal (légtartályokkal) rendelkezik; jellemzően M2, M3, N2, N3 járműveken, mezőgazdasági vontatókon és pótkocsikon használjuk.

Definíció. A **négykörös védőszelep** a kompresszor–tartály közötti elosztó védőberendezés, amely az egyes légkörök betáplálását nyomásfüggően nyitja, és egyik kör meghibásodása esetén a többi kör nyomását visszatartja. A gyakorlatban több kör is lehet; a „négykörös” elnevezés a jellemző felosztást takarja (első/hátsó üzemi fék, rögzítőfék/segédkörök).

Definíció. A **rugóerőtárolós fékkamra** kombinált fékkamra: az üzemi féket sűrített levegővel, a rögzítőféket pedig erős rugóval működteti. Ha a kamrában nincs elég nyomás, a rugó kinyomja a tolórudat, tehát a rögzítőfék **energia nélkül is biztonságosan zár**.

Definíció. A **terheléssel arányos fékerő-szabályozó** (ALB, automatikus terheléstől függő fékerőszabályozó) a hátsó tengely aktuális terhelése alapján csökkenti vagy növeli a hátsó

kerékfékekhez jutó légnyomást, megakadályozva, hogy üres járműnél a hátsó kerekek a fékezéskor idő előtt blokkoljanak.

Definíció. A **kétvezetékes pótkocsifék** olyan kapcsolat, amelyben a vontató és a pótkocsi között két fő légvezeték van: a **tápvezeték** (a pótkocsi légtartályát tölti, a gyakorlati színezés gyakran piros) és a **vezérlővezeték** (a pótkocsi fékszelepének vezérlőnyomását szállítja, gyakran sárga). A rendszer biztonsági tulajdonsága, hogy a tápvezeték szakadása vagy nyomásesése a pótkocsit **automatikusan lefékezi** – vészfékezést hoz létre.

Összefüggés. A fékkamra által kifejtett elvi tolórúderő:

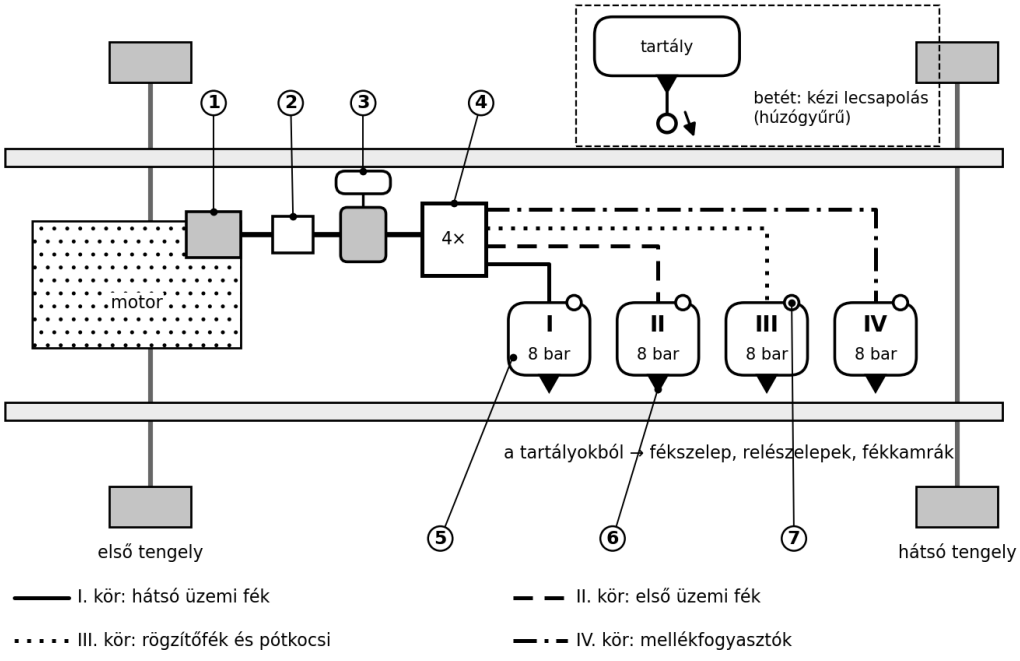
$$F = p \cdot A,$$

ahol p a kamrában uralkodó túlnyomás, A a membrán/dugattyú hatásos felülete. A tényleges tolórúderő ettől kisebb, mert a visszatérítő rugó, a tömítések súrlódása és a kinematikai veszteségek csökkentik. A nyomás átváltása: $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa} = 10^5\,\text{Pa}$.

26.6.4. Felépítés és működés

26.6.4.1. Energiaellátás

A motor által hajtott **kompresszor** a rendszer nyomását jellemzően kb. **8,0–10,0 bar** közötti értékre emeli (ellenőrizendő: a gyártói beállítás). A **nyomásszabályozó** a kompresszor üresjáratát kapcsolja: felső kapcsolási nyomásnál a kompresszor nem szállít a tartályba, alsó kapcsolási nyomásnál újra rákapcsol. A **légszárító** a levegő nedvességét és olajpáráját csökkenti; regeneráló üzemben a száraz levegő egy része visszaöblíti a szárítóbetétet, így télen a fagyás és a szelepdugulás kockázata kisebb. A **négykörös védőszelep** a nyomás alatti levegőt körönként szétosztja, és az egyes köröket egymástól védi. A légtartályok biztosítják, hogy a fékezéshez akkor is legyen energia, ha a kompresszor éppen nem szállít; emellett a tartályok alján időszakosan lecsapolják a kondenzvizet.



26.16. ábra. A légfékrendszer energiaellátó egységei a járművön (egyszerűsített felülnézet)

Az ábrán a levegő útja balról jobbra követhető: kompresszor (1) → nyomásszabályozó (2) → levegőszárító (3) → négykörös védőszelep (4) → az I–IV. kör tartályai (5), alul a víztelenítő szelepekkel (6) és a mérőcsatlakozókkal (7). Az interaktív változatban kipróbálható, hogy a IV. kör sérülésekor a többi kör nyomása megmarad.

26.6.4.2. Fékszelep, relészelepek és fékerő-szabályozás

A **fékszelep** (a pedálhoz kapcsolt lábszelep) a vezető pedálerőjét légnyomás-jellé alakítja. Többkörös kivitelben egy pedállal két kört vezérel, és az egyik kör meghibásodása esetén a másik kör tovább működtethető. A hosszú haszonjárművön a fékszelep és a hátsó kamrák közötti nagy távolság késleltetést okozna, ezért **relészelepeket** építenek be: ezek a kapott vezérlőnyomást a hozzájuk legközelebbi légtartályból gyorsan, nagyobb keresztmetszeten juttatják a fékkamrákhoz. A **terheléssel arányos fékerő-szabályozó** (ALB) a hátsó tengely terhelését mechanikus rugó feszességével vagy légrugós nyomásjellel érzékeli, és a hátsó kör nyomását ennek megfelelően korlátozza. A modern járműveken ezt a **EBS** (elektronikus fékrendszer) végzi szenzorokkal és tengelyenkénti modulátorokkal; itt az ABS-funkció is beépül.

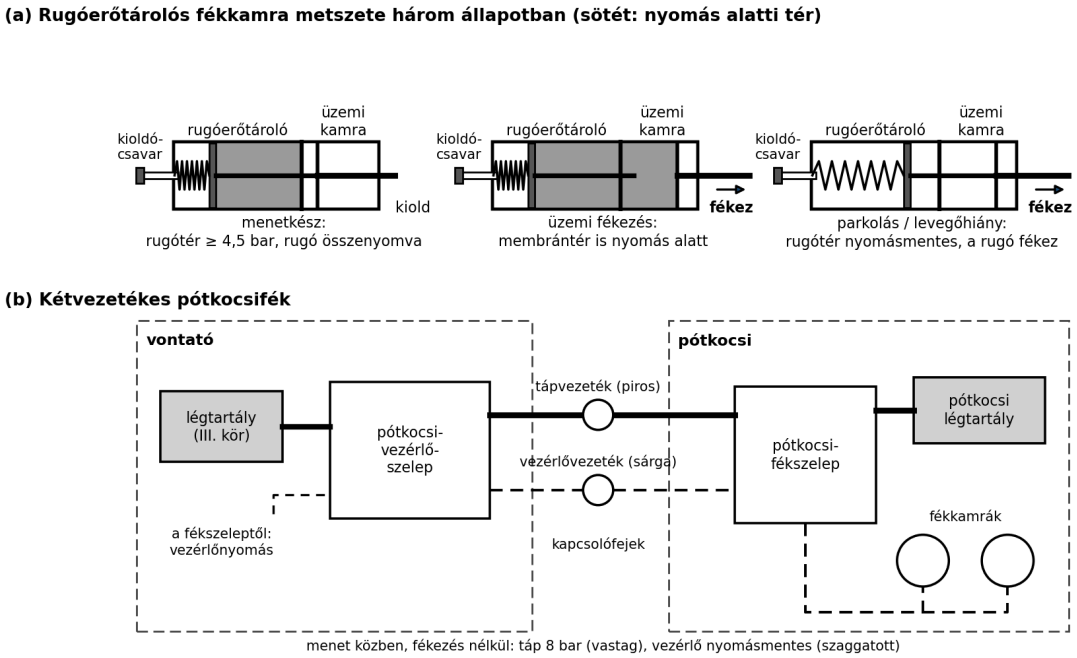
26.6.4.3. Kerékfék-működtetés

A legegyszerűbb **membrános fékkamrában** egy membrán és egy tolórúd helyezkedik el. A levegőnyomás a membránt kinyomja, a tolórúd a fékdob bütykös tengelyét vagy a tárcsafék emelőkarját forgatja. Nyomásmentes állapotban a visszatérítő rugó a féket kiengedett helyzetben tartja.

A **rugóerőtárolós fékkamra** két részből áll. A membrános oldal az üzemi fék, a rugóerőtároló oldal a rögzítőfék. Ha a rugótérben nincs nyomás, a tárolt rugóerő a tolórudat kinyomja, tehát a kereket rögzíti. A rugót csak akkor lehet oldani, ha a rugótérbe a gyártó által megadott oldási nyomásnál nagyobb nyomást vezetnek. Vontatáskor, ha a járműnek nincs levegője, a rugóerőtároló oldócsavarjával kézi úton lehet a rugót összenyomni; ez csak vontatáshoz való ideiglenes oldás, és a fék működését részben kiiktatja.

26.6.4.4. Pótkocsifékek

A kétvezetékes kapcsolatnál a vontató tápvezetéke állandóan tölti a pótkocsi tartályát, a vezérlővezeték pedig a vontató fékezési nyomását közvetíti a **pótkocsi-fékszelepnek**. A pótkocsi-fékszelep ezt a jelet a pótkocsi saját légtartályából származó nyomással erősíti, és a pótkocsi fékkamráit működteti. Ha a tápvezeték szakad, a pótkocsi-fékszelep automatikusan a tartály nyomását a fékkamrákra engedi, így a pótkocsi lefékez. Ugyanezért a kapcsolófej nyitott vagy sérült tömítése is azonnal vészfékezéshez vezethet.



26.17. ábra. Rugóerőtárolós fékkamra három állapotban és a kétvezetékes pótkocsifék

Az (a) részábra a rugóerőtárolós fékkamrát mutatja menetkész, üzemi fékező és parkoló (levegőhiányos) állapotban; a (b) részábra a vontató és a pótkocsi közötti táp- és vezérlővezetéket. Az interaktív változatban a rugótér nyomása állítható: 3,8 bar-nál (a Valós eset értéke) a rugó a 2. példa 4,5 bar-os oldási nyomása alatt részben befékezve tartja a kereket; a tápvezeték szakadása a pótkocsit vészfékezi.

26.6.4.5. Tartós lassítás: kipufogófék

A tartós lassító fékekről részletesebben a Rögzítőfékek és tartós lassító fékek alfejezet szól.

A **kipufogófék** a kipufogórendszerbe épített fojtószelep, amely a kipufogógáz útját részben lezárva növeli a motor fékező hatását. Előnye, hogy a kerékfékbetétek kopása nélkül ad tartós lassítást hosszú lejtőkön; hátránya, hogy nem a keréktapadásnál hat, hanem a hajtásláncon keresztül, ezért a fékhatás függ a besorolt fokozattól és a motor fordulatszámától.

26.6.5. Kidolgozott példák

Példa 1 – Membrános fékkamra tolóereje.
Számítás. Adott: a fékkamra hatásos felülete $A = 140\,\mathrm{cm}^2$, a hozzávezetett légnyomás $p = 7{,}0\,\mathrm{bar}$. A felületet m^2-be váltjuk:

$$A = 140\,\mathrm{cm}^2 = 0{,}0140\,\mathrm{m}^2, \qquad p = 7{,}0\,\mathrm{bar} = 700\,\mathrm{kPa} = 700\,000\,\mathrm{Pa}.$$

Az elvi tolórúderő:

$$F = p \cdot A = 700\,000\,\mathrm{Pa} \cdot 0{,}0140\,\mathrm{m}^2 = 9\,800\,\mathrm{N} = 9{,}8\,\mathrm{kN}.$$

A tényleges erő kisebb a visszatérítő rugó és a súrlódás miatt (ellenőrizendő: a gyártói adat). ∎

Példa 2 – Rugóerőtároló oldási nyomása.
Számítás. Adott: a rögzítőrugó elvi ereje $F_r = 6\,300\,\mathrm{N}$, a rugódugattyú hatásos felülete

$A = 140\,\mathrm{cm}^2$. A rugót akkor tartja oldva a levegő, ha a légnyomásból származó erő legalább a rugóerővel egyenlő:

$$p_{\mathrm{old}} = \frac{F_r}{A} = \frac{6\,300\,\mathrm{N}}{0{,}0140\,\mathrm{m}^2} = 450\,000\,\mathrm{Pa} = 450\,\mathrm{kPa} = 4{,}5\,\mathrm{bar}.$$

Tehát a rögzítőfék kb. 4,5 bar alatt fog; a rendszer üzemi nyomása jellemzően 8–10 bar, így normál töltött rendszerben a rugó oldva van. Ez az érték tanulási példa (ellenőrizendő: a gyártói adat). ∎

Példa 3 – Terheléssel arányos fékerő-szabályozó nyomáscsökkentése.
Adott: az ALB bemenő nyomása $p_{be} = 8{,}0\,\mathrm{bar}$, a terhelésarány-tényező $k = 0{,}75$. A hátsó körre jutó nyomás:

$$p_{ki} = k \cdot p_{be} = 0{,}75 \cdot 8{,}0\,\mathrm{bar} = 6{,}0\,\mathrm{bar}.$$

Ezzel üres vagy részterhelt járműnél a hátsó kerékfék kevésbé agresszív, a blokkolás elkerülhető. ∎

26.6.6. Előírások

Előírás. A haszonjárművek fékberendezéseire vonatkozó ENSZ-EGB 13. előírás – vagy az azzal egyenértékű EU-típusjóváhagyási követelmény – szerint a légfékrendszernek többek között rendelkeznie kell megfelelő nyomástartalékkal, a nyomásesésre figyelmeztető visszajelzéssel, kétkörös üzemi fékvédelemmel, valamint olyan rögzítőfékkel, amely energiaellátás nélkül is képes a járművet megtartani; a pótkocsit a tápvezeték nyomásesése automatikus vészfékezéssel kell, hogy lefékezze (ellenőrizendő: az aktuális ECE R13 és az EU-átültetés pontos megnevezése). A gyakorlati nyomásértékek, kapcsolási nyomások és a rugóerőtároló oldási nyomása mindig a gyártói adatból olvasandók.

Figyelem. A légfékrendszeren végzett minden szerelés előtt a nyomást a körökből le kell ereszteni, és a rugóerőtárolós kamrát a gyártó szerint biztosítani kell. A rugóerőtárolóban nagy előfeszítésű rugó van; a kamrát szétszedni, illetve a kioldócsavart a gyártói eljárástól eltérően működtetni **tilos**. A rugóerőtárolós rögzítőfék kézi oldásával vontatott járműnek nincs teljes értékű rögzítőfékje, ezért a vontatást csak a gyártó és a forgalombiztonsági előírások szerint szabad végezni.

26.6.7. Minőségellenőrzés

A légfékrendszer ellenőrzésekor a következőket vizsgáljuk (a pontos értékeket a gyártó szerint):

1. **Nyomásépítés:** járó motornál a rendszer érje el a kikapcsolási nyomást a gyártói időn belül; a figyelmeztető lámpa alacsony nyomásnál világítson, majd aludjon ki.
2. **Nyomásszabályozó:** a kompresszor ki- és bekapcsolási nyomása a gyártói tartományban legyen.
3. **Tömörség:** leállított motor mellett, feltöltött rendszerrel a nyomásesés mértéke a gyártói határ alatt maradjon; a nagyobb csatlakozásokat, tömlőket, kapcsolófejeket szappanos vízzel vagy szivárgáskeresővel vizsgáljuk.
4. **Légszárító:** a szárítóbetét és a regenerálószelep állapota, a tartályok lecsapolása; kondenzvíz ne legyen rendszeresen sok.
5. **Rugóerőtárolós kamrák:** a kioldócsavarok, a fékrudazat, a membránsérülés, a kamratartó és a tolórúd hézaga.
6. **Pótkocsi-kapcsolat:** a kapcsolófejek tömítése, a táp- és vezérlőnyomás a kapcsolófejnél, fékpróba leválasztott tápvezetékkel.

A légfékrendszer fékpadon mért hatásosságát a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetben tárgyaljuk. **Továbbvitt eredmény.** Az itt megismert légköri felosztást, a légtartályok, a fékkamrák és a pótkocsifékek működését ott használjuk, amikor a mért kerékfékerőket, a légnyomást és a pótkocsi viselkedését együtt kell értelmezni.

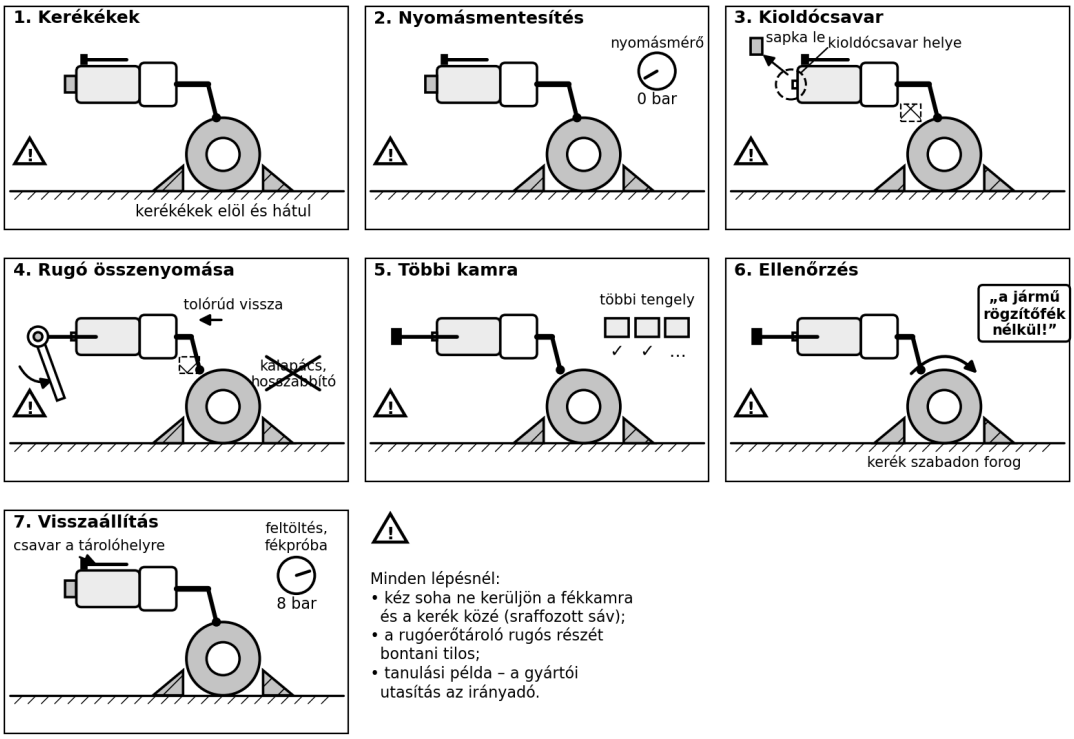
26.6.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy háromtengelyes tehergépkocsi hátul rugóerőtárolós, elöl membrános fékkamrákkal érkezik a műhelybe. Az ügyfél panasza: „a hátsó fék old, de amikor elindulok, mintha fogna, és melegszik a kerék.” A vezető nyomásmérője szerint a tartálynyomás 8 bar. A szerelő először a hátsó kör tényleges nyomását méri a fékkamránál: alapjáraton közel nulla, fékezéskor emelkedik, de a rugótér nyomása csak 3,8 bar a szükséges 4,5 bar helyett. A hátsó rugóerőtároló tehát nincs teljesen oldva, ezért a rögzítőfék részben fog. A hibát a rugótéri vezérlőszelep szivárgása okozza, amely nem engedi a rugóteret teljes rendszernyomásra feltölteni. A szelep cseréje után a rugótér nyomása eléri a 8 bar-t, a kerék szabadon forog, és a fékpadon a lassulás is egyenletes. Tanulság: **a tartálynyomás nem egyenlő az egyes kamraterekben mérhető nyomással**, ezért a hibát a kamra mérőcsatlakozójánál kell ellenőrizni.

26.6.9. Rugóerőtárolós fék kézi kioldása vontatáshoz

Gyakorlat. Ha a járműnek nincs levegője, és vontatni kell, a rugóerőtárolós fék kézi kioldása a következő lépésekkel történik (tanulási példa, a gyártói utasítás az irányadó):

1. Állítsa a járművet biztonságos, vízszintes helyre; a kerekeket mindkét oldalon ékelje ki.
2. Kapcsolja ki a gyújtást, és nyomásmentesítse a rugóerőtároló körét a gyártó szerint.
3. Keresse meg a fékkamrán a kioldócsavart; tisztítsa meg, és ellenőrizze, hogy az ellenanya vagy a biztosítóelem ép-e.
4. A gyártó által előírt kulccsal, **nem ütve, nem hosszabbítóval erőltetve** forgassa a kioldócsavart, amíg a tolórúd vissza nem húzódik; a menetet és az irányt a gyártói táblázat szerint kövesse.
5. Rögzítse a kioldott helyzetet a gyártó szerint, és ismételje meg a többi tengelyen.
6. A vontatás előtt győződjön meg arról, hogy a jármű üzemi fékje működik-e, illetve hogy a vontató fékezni tudja-e a szerelvényt; ha nem, a vontatás csak a hatósági/közlekedésbiztonsági feltételek szerint történhet.



26.18. ábra. A rugóerőtárolós fék kézi kioldása vontatáshoz: képsor

A képsor 1–6. kockája a fenti lépéseket mutatja; a 7. kocka a vontatás utáni visszaállítást: a kioldócsavart a gyártó szerint visszaállítják és a tárolóhelyére teszik, majd a levegőrendszert feltöltik, és fékpróbát végeznek. Kéz soha ne kerüljön a fékkamra és a kerék közé, a rugós részt bontani tilos.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

A kézi kioldással közlekedő jármű rögzítőfékje kiiktatott állapotú; a járművet tilos a közúti forgalomban így üzemeltetni, csak vontatás vagy műhelyi mozgatás céljából, az előírások szerint.

26.6.10. Tipikus hibák

1. hiba – A kondenzvizet nem csapolják. A tartályban felgyülemlett víz télen megfagy, dugulást és szelephibát okoz; a légszárító rossz állapota olajos-vizes levegőt enged a szelepekbe. **Helyes gyakorlat:** a tartályokat és a légszárítót a karbantartási ütemterv szerint lecsapolni, a szárítóbetétet cserélni.

2. hiba – A rugóerőtároló kioldócsavarját megfeszített rugó mellett bontják. A feszített rugó hirtelen kioldása súlyos sérülést okozhat. **Helyes gyakorlat:** nyomásmentesítés, a gyártói oldó eljárás, soha nem szétszedni a kamrát.

3. hiba – A pótkocsi vezetékek szerepét felcserélik. A piros és sárga csatlakozófej felcserélése vagy rossz tömítése miatt a pótkocsi állandóan fékez, illetve nem fékez. **Helyes gyakorlat:** a kapcsolófejek színét, jelölését és a nyomást a csatlakozófejnél mérni, a tömítéseket cserélni.

4. hiba – Csak a fülkében lévő manométerre hagyatkoznak. A műszer a tartálynyomást mutatja, de a fékkamra vagy a pótkocsi oldalnyomása ettől eltérhet. **Helyes gyakorlat:** a diagnosztikához mérőcsatlakozókon mérjük a környomásokat.

26.6.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a rugóerőtárolós fék levegő nélkül is rögzít? Indokolja.
2. Mi a négykörös védőszelep alapvető feladata?
3. Milyen nyomástartományba esik egy jellemző haszonjármű-légfék üzemi nyomása?
4. Számítsa ki a tolórúderőt, ha $A = 120\,\mathrm{cm}^2$ és $p = 6{,}0\,\mathrm{bar}$.
5. Mi történik a pótkocsival, ha a kétvezetékes rendszer tápvezetéke leszakad?
6. Miért nem bontható szét a rugóerőtárolós fékkamra?

A válaszok az alábbi Megoldások elején találhatók.

26.6.12. Feladatok

1. feladat (A)
Sorolja fel a légfék energiaellátó láncának elemeit a kompresszortól a légtartályig.

2. feladat (A)
Egy membrános fékkamra hatásos felülete $160\,\mathrm{cm}^2$. Mekkora elvi tolórúderőt ad 8,0 bar nyomásnál?

3. feladat (B)
Egy rugóerőtárolós kamra rögzítőrugója $F_r = 8{,}4\,\mathrm{kN}$ erőt fejt ki, a rugódugattyú hatásos felülete $180\,\mathrm{cm}^2$. Mekkora nyomás szükséges a rugó teljes oldásához?

4. feladat (B)
Mi történik, ha fékezéskor a vezérlővezeték szakadt, de a tápvezeték ép? Magyarázza el a pótkocsi-fékszelep és a vontató pótkocsi-vezérlőszelepének szerepével.

5. feladat (C)
Hasonlítsa össze a membrános fékkamrát és a rugóerőtárolós fékkamrát: melyik milyen fékfeladatot lát el, és mi történik nyomásvesztés esetén?

6. feladat (D)
Egy vontató–pótkocsi szerelvény fékezéskor a pótkocsit erősen „rángatja”, és a pótkocsi kerekei blokkolnak; a vontató légnyomása 8 bar, a pótkocsi tápnyomása is 8 bar. Milyen hiba valószínű, és milyen mérésekkel igazolja?

26.6.13. Megoldások

26.6.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A rugóerőtároló rögzítőfékje a rugóerővel zár, ezért levegő hiányában is rögzít; éppen ez a vészfék-jelleg.
2. A négykörös védőszelep a sűrített levegőt körönként szétválasztja, és egy kör meghibásodásakor a többi kör nyomását megtartja.
3. Jellemzően kb. 8–10 bar (0,8–1,0 MPa); a pontos érték gyártói adat.
4. $F = pA = 600\,000\,\mathrm{Pa} \cdot 0{,}0120\,\mathrm{m}^2 = 7\,200\,\mathrm{N} = 7{,}2\,\mathrm{kN}$.
5. A pótkocsi automatikusan lefékez, mert a tápnyomás esése vészfékezést vált ki.

6. Mert a kamrában nagy előfeszítésű rugó van; szétszedése a rugó hirtelen kioldásával súlyos balesetet okozhat.

26.6.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
Kompresszor → nyomásszabályozó → légszárító → négykörös védőszelep → légtartályok (körönként).

2. feladat
Adott: $A = 160\,\text{cm}^2 = 0{,}0160\,\text{m}^2$, $p = 8{,}0\,\text{bar} = 800\,\text{kPa}$.
$F = pA = 800\,000 \cdot 0{,}0160 = 12\,800\,\text{N} = 12{,}8\,\text{kN}$.

3. feladat
$A = 180\,\text{cm}^2 = 0{,}0180\,\text{m}^2$, $F_r = 8\,400\,\text{N}$.
$p = F_r/A = 8\,400/0{,}0180 = 466\,667\,\text{Pa} \approx 4{,}7\,\text{bar}$.

4. feladat
A vezérlőnyomás nem jut el a pótkocsi-fékszelephez; a vontató pótkocsi-vezérlőszelepe ezt érzékeli, és fékezéskor a tápvezetéket gyorsan légteleníti – a pótkocsi a tápnyomás esése miatt automatikusan lefékez (ellenőrizendő: ECE R13, a nyomáscsökkenés határértéke és ideje). A hibát a csatlakozófejeknél mért vezérlő- és tápnyomással igazoljuk.

5. feladat
A membrános fékkamra csak üzemi féket ad: nyomás nélkül kienged, nyomás hatására fékez. A rugóerőtárolós kamra üzemi fékre membránt, rögzítőfékre rugót használ: nyomás hiányában a rugó rögzít, üzemi fékezéskor a membránoldal nyomása fékez, a rugóteret pedig a rögzítőfék oldásához nyomás alatt tartják.

6. feladat
Valószínű hiba: a pótkocsi terheléssel arányos vagy vészfékoldó ág hibája, illetve a pótkocsi-fékszelep téves vezérlése miatt a pótkocsi túl nagy nyomást kap, és blokkol. A mérés: a sárga vezérlőnyomást a pótkocsi fékszelepénél fékezéskor, a pótkocsi tengelynyomását kamránként, valamint a relészelep működését. Ha a vezérlőnyomás kicsi, de a kamranyomás nagy, a pótkocsi-fékszelep belső hibája; ha mindkettő nagy, a vontató oldali fékszelep/vezérlő hiba.

26.6.14. Rövid összefoglaló

A légfékrendszer sűrített levegővel erősíti a pedálerőt, és nyomástartalékkal, körönkénti védelemmel, valamint energia nélkül záró rögzítőfékkel biztosítja a haszonjárművek fékezését. A levegő útja: kompresszor → nyomásszabályozó/légszárító → négykörös védőszelep → légtartályok → fékszelep → relészelep/ALB → fékkamrák. A fékkamra elvi ereje $F = pA$. A rugóerőtárolós kamra nyomás hiányában rögzít, oldásához a gyártó szerinti nyomás szükséges; kézi oldása csak vontatáshoz, szabályozott eljárással végezhető. A kétvezetékes pótkocsifék táp- és vezérlővezetéket használ; a tápvezeték szakadása automatikus vészfékezést vált ki. A kipufogófék tartós lassításra való, és nem a kerékféket helyettesíti. A fékpadon mért fékerőket és a légnyomásokat a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetben értékeljük együtt.

26.6.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB 13. előírás (vagy azzal egyenértékű EU-típusjóváhagyási követelmény), gyártói javítási utasítások és légfékkapcsolási rajzok, a Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása alfejezetben tárgyalt pneumatikus rajzjelek. Ellenőrizendő: az aktuális ECE R13 és EU-átültetés pontos hivatkozása, a nyomásszabályozó kapcsolási nyomásai, a rugóerőtároló oldási nyomása, a fékkamrák hatásos felületei és a kétvezetékes rendszer színezése/nyomásértékei; a megadott értékek tanulási példák.

VII. RÉSZ – Gépjármű-villamosság és -elektronika

27 A gépjármű villamos hálózata

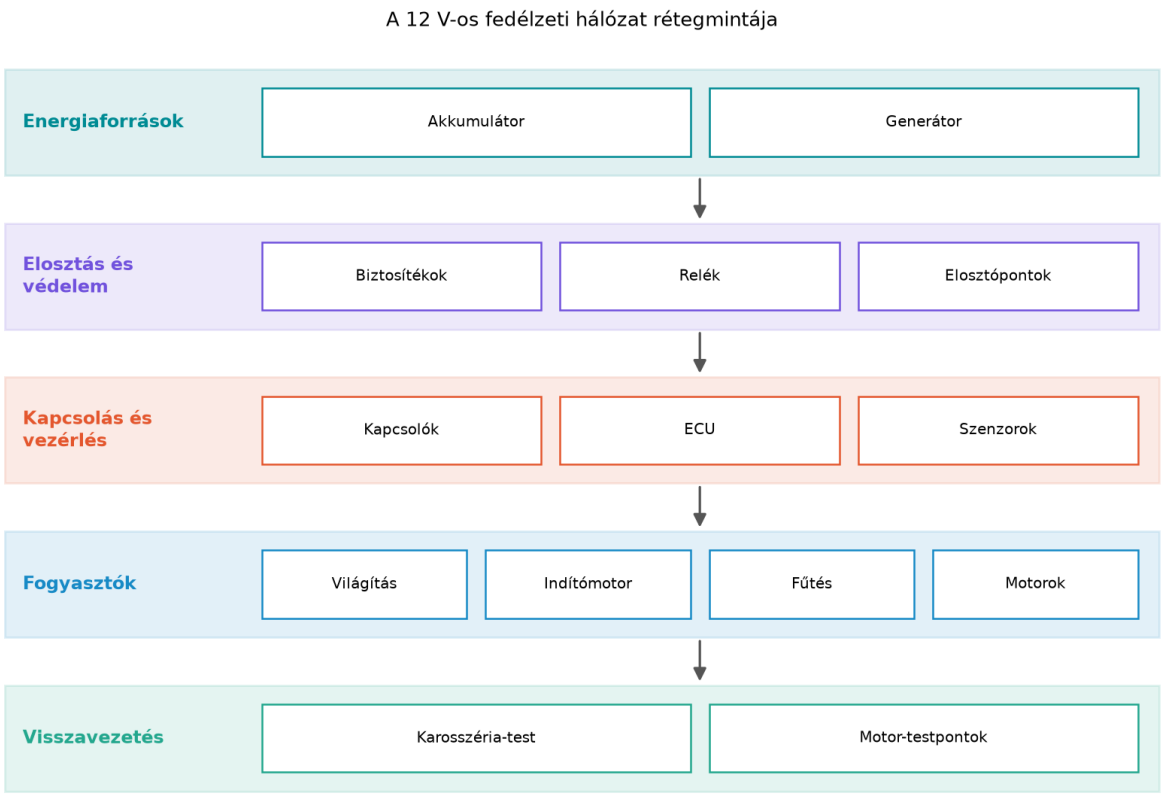
27.1. A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz

27.1.1. Motiváció

A műhelyben az egyik leggyakoribb villamos hibajelenség a „sejtelmes” ellátási probléma: például a tompított fényszóró nem világít, de a helyzetjelző igen; az ablaktörlő lassú, de az irányjelző rendben; az indítómotor kattog, de nem forgat. Ilyenkor a szerelő nem kezdheti el az alkatrészcserét csak azért, mert „biztos izzó hibás”. A gépjármű fedélzeti hálózata logikusan felépített, kapocsjelölései pedig nemzetközileg ismert számok és rövidítések. Ha megtanulod a **30, 31, 15, 50, 58, 87** jelű kapcsokat és a gyártói áramútrajz olvasását, akkor nemcsak gyorsabban találod meg a hibát, hanem elkerülöd a felesleges bontást és a rossz alkatrész cseréjét. Ezt a tudást a Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek, a(z) Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés és a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetekben fogjuk napi szinten használni.

27.1.2. Szemléletes kép

Képzeld el a 12 V-os fedélzeti hálózatot úgy, mint egy város villamos hálózatát. Az akkumulátor és a generátor a „erőmű”, a különböző keresztmetszetű vezetékek az „utcai fővezetékek és leágazások”, a biztosítók a „kapcsolósorok”, a kapcsolók és relék a „vezérelt kapcsolók”, a fogyasztók pedig az „otthonok”. A karosszéria mint közös negatív visszavezető olyan, mint a városi földhálózat: minden fogyasztó ehhez csatlakozik vissza. Az alábbi rétegábra ezt a szerkezetet mutatja.



27.1. ábra. A 12 V-os fedélzeti hálózat rétegmintája - Szemléltető rétegábra; a vezérlőegységek és buszok részleteit a VII. rész későbbi alfejezetei tárgyalják.

A rétegek fentről lefelé mutatják az energiafolyam irányát: az energiaforrások adják a feszültséget, az elosztás és védelem továbbítja, a kapcsolás és vezérlés szabályozza, a fogyasztók hasznosítják, a test pedig lezárja az áramkört.

27.1.3. A fedélzeti hálózat egységei

Definíció. A gépjármű fedélzeti hálózata a jármű villamos energiát termelő, tároló, elosztó, vezérlő és fogyasztó villamos berendezések összessége, beleértve a vezetékeket, csatlakozókat, biztosítékokat, reléket, kapcsolókat és a közös testelést.

A 12 V-os gépjármű-fedélzeti hálózat **egyvezetékes rendszer**: az akkumulátor pozitív pólusáról egy vezetéken jut az áram a fogyasztóhoz, a visszavezetés pedig a jármű fémvázán, a **testen** keresztül történik az akkumulátor negatív pólusához. A test tehát nem „üres” pont; a testelési helyek korróziója, lazulása ugyanolyan áramköri hibát okoz, mint egy elszakadt vezeték.

Szabály. A járműtestet soha ne kezeld egyszerű mechanikai tartóelemként. A testkötés az áramkör része; ha egy testpont meglazult vagy oxidált, a fogyasztó feszültségesése megnő, és a berendezés nem működik megfelelően.

Fő egységek:

- **Energiaforrások:** az akkumulátor (nyugalmi és indítási energia) és a generátor (motorjárás közbeni energiaellátás és az akkumulátor töltése).

- **Elosztás és védelem:** biztosítékdoboz, relék, elosztópontok, gyűjtősínek; ezek választják szét az áramköröket és védik a vezetékeket túláramtól.
- **Kapcsolás és vezérlés:** kapcsolók, gombok, elektromos vezérlőegységek (ECU), érzékelők, amelyek be- és kikapcsolják a fogyasztókat.
- **Fogyasztók:** világítás, indítómotor, gyújtás, fűtés, ablaktörlő, fényszóró, szivattyúk, ventilátorok, infotainment stb.
- **Visszavezetés:** a karosszéria, motor, sebességváltó testpontjai, az akkumulátor negatív kábele.

A feszültség szintje általában 12 V (személygépkocsik, kishaszongépjárművek) vagy 24 V (haszongépjárművek, autóbuszok), a 48 V-os hálózat pedig a mild hibrid rendszerekben jelenik meg. A 48 V-os rendszer lehetővé teszi a nagyobb villamos teljesítményű fogyasztókat, például elektromos kompresszort, indítógenerátort, anélkül, hogy a hagyományos 12 V-os fogyasztókat le kellene cserélni. A nagyfeszültségű rendszerek biztonságát a Nagyfeszültségű rendszerek biztonsága tárgyalja.

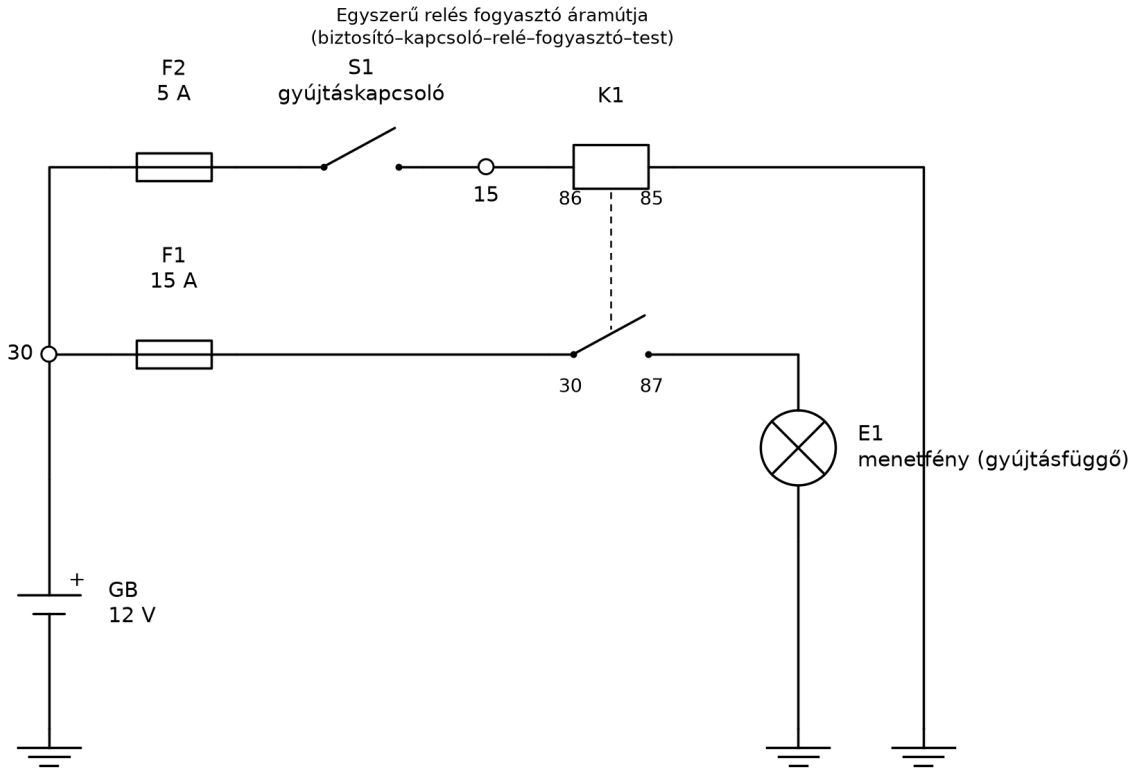
27.1.4. Áramkör és bővített áramkör

Definíció. Az egyszerű áramkör az energiaforrás pozitív pólusából kiinduló, a fogyasztón át a negatív pólusra visszatérő zárt hurok.

Definíció. A bővített áramkör az egyszerű áramkör kiegészítve védő-, kapcsoló- és vezérlőelemekkel: biztosítóval, kapcsolóval, relével, csatlakozókkal, vezérlőegységgel, hogy az áramkör biztonságosan és szabályozottan működjön.

Összefüggés. Mindig igaz, hogy az áramkör zárt; a feszültségforrás pólusaitól nem szakadhat meg a vezetőképes kapcsolat. A gyártói rajzon a testpontok gyakran ugyanoda futnak, de a járművön egymástól távol vannak. A Kirchhoff-huroktörvény (a Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás alfejezet szerint) itt is érvényes: egy zárt hurokban a forrásfeszültség és a feszültségesések összege nulla, ezért a vezeték és testellenállás növekedése a fogyasztón kisebb feszültséget eredményez.

Az áramútrajz logikája tehát: **táppont – védelem – kapcsolás/relé – fogyasztó – testpont**. A következő kapcsolási rajz ezt a láncot mutatja, gyújtáskapcsolót és relét is tartalmazó, gyújtásfüggő fogyasztóval (például menetfénnyel). A tompított fényszórót a valóságban nem a gyújtáskapcsoló, hanem a világításkapcsoló és a fényváltó (56b ág) vezérli; itt a gyújtásfüggő vezérlés elvét mutatjuk be.



27.2. ábra. Egyszerű relés fogyasztó áramútja (biztosító–kapcsoló–relé–fogyasztó–test) - Szemléltető tanulási rajz; a kapocsjelek alapja a DIN 72552, de a gyártói rajz mérvadó (ellenőrizendő). Alapállapot: gyújtáskapcsoló nyitva, relé elengedve. Felső sor: vezérlőkör (F2 – S1 – K1 tekercs), alsó sor: főáramkör (F1 – K1 érintkező – E1).

A rajz jól mutatja a két párhuzamos hurkot. A **főáramkör**: 30-as táppont → F1 biztosító → K1 relé munkaérintkezője (30–87) → E1 fogyasztó (menetfény) → test. A **vezérlő áramkör**: 30 → F2 biztosító → S1 gyújtáskapcsoló → 15-ös kapocs → K1 relétekercs (86–85) → test; a vezérlőágat is saját biztosító védi. Amíg az S1 kapcsoló nyitott, a relé tekercse feszültségmentes, a 30–87 munkaérintkezőn nincs áram, ezért a lámpa nem világít. Ha a gyújtáskapcsoló „üzem” állásba kerül, a 15-ös ág feszültséget kap, a relé behúz, a 30–87 érintkező zár, és a lámpa világít. A relé szerepe az, hogy a kis vezérlőáramú kapcsolóval nagy fogyasztói áramot kapcsoljunk.

Továbbvitt eredmény. A kapocsjelek (30, 31, 15, 50, 58, 87) és az áramútrajz-olvasási lánc módszerét a Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek alfejezetben a vezeték-, biztosító- és reléhibák felismerésére, a(z) Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés alfejezetben az akkumulátor-bekötés és -lekötés sorrendjére, a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetben pedig a gyártói javítási rajzok beszerzésére és értelmezésére használjuk.

27.1.5. Kapocsjelölések (DIN 72552)

A járművillamossági rajzokon a csatlakozók, kapcsolók és relék kivezetéseit gyakran nem egyedi gyártói jelöléssel, hanem a **DIN 72552** szerinti, ma már nemzetközileg elterjedt kapocsszámokkal jelölik. Ezt a megoldást a gyártók átvették; azonban a konkrét járművön mindig a gyártói rajz és a kimért kapocsfelirat a mérvadó, mert egyes gyártók saját kiegészítéseket alkalmaznak.

Előírás. A kapocsjelölések a DIN 72552 szerinti hazai gyakorlatot tükrözik (30, 31, 15, 50, 58, 56a, 56b, 87, 87a, 85, 86, D+, B+). A pontos kapcsolatot a gyártói kapcsolási rajz alapján kell meghatározni (ellenőrizendő: DIN 72552 hatályos kiadása és a gyártói dokumentáció).

Az alábbi táblázat a leggyakoribb kapocsjeleket foglalja össze.

Kapocs	Jelentés	Jellemző helye
30	állandó pozitív, közvetlenül az akkumulátorról (a fogyasztói ágakban biztosítón át)	főelosztó, relék 30, gyújtáskapcsoló bemenete
31	test, negatív pólus	karosszéria, motor, akkumulátor negatív kábel
15	gyújtáskapcsolás utáni pozitív	gyújtáskapcsoló kimenete, injektor, műszerfal
50	indítómotor vezérlő ág	indítórelé 50, gyújtáskapcsoló „start” állása
58	helyzetjelző világítás	világításkapcsoló, rendszámtábla, műszerfal
56a/56b	távolsági/tompított fény	fényváltó, fényszóró, fényváltó relé
85/86	relétekercs	86 általában vezérlő pozitív, 85 test (ellenőrizendő)
87/87a	relé munka- és nyugvóérintkező	fogyasztó táplálása (87), alaphelyzet (87a)
D+/B+	generátor csatlakozók	töltésjelző, főáramkör

A kapocsjelek értékei és értelmezése tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat és az adott járművön mért kapocsfelirat).

Fontos, hogy a **15** és a **30** egymástól eltérő üzemállapotot jelöl. A **30** akkor is feszültség alatt van, ha a gyújtás ki van kapcsolva, ezért a 30-as ágon lévő zárlat akkor is lemerítheti az akkumulátort, amikor a jármű áll. A **15** csak a gyújtás bekapcsolása után kap feszültséget; ezért a 15-ös szakadás vagy feszültségesés jellemzően a motor beindítása után, a menet közbeni fogyasztóknál okoz hibát.

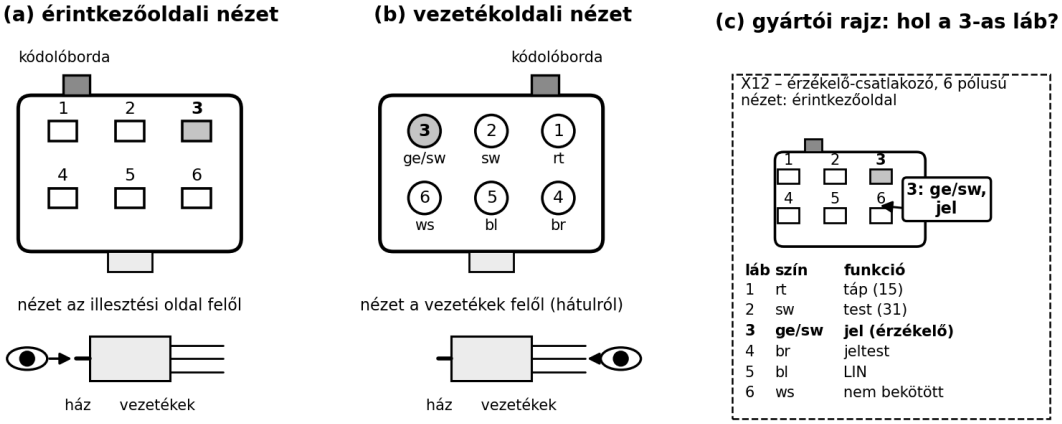
A `31` testpont nem egyszerűen „nulla”. A testpontok korrodálódnak, lazulnak, és az átmeneti ellenállásuk megnőhet. A rossz testelés tünete például az, hogy a fényszóró tompított fénye gyengül, de ha a motortérben egy másik testpontot használsz mérési referenciapontként, a hiba nem látszik.

27.1.6. Áramútrajz-típusok

A gyártói javítási dokumentációkban három ábrázolási módot találsz:

- **Áramút szerinti rajz:** a kapcsolás logikai felépítését mutatja, nem a fizikai elhelyezést. Rendszerint fogyasztókörösen van felbontva, felül a táp (30, 15), alul a test (31). Ideális hibakeresésre, mert az áramút logikáját mutatja.
- **Elhelyezési rajz:** azt mutatja, hogy a járművön hol találhatók az alkatrészek, biztosítékdoboz, relé, testpont, csatlakozó. Fontos, amikor a járművön kell megtalálni az elemeket.
- **Csatlakozó-nézet (pin-out):** a csatlakozók lábszámozott bekötését, vezetékszíneit és a csatlakozó fizikai elrendezését mutatja. Akkor kell, amikor a csatlakozó kapcsait mérni, javítani vagy cserélni kell.

A gyártói kapcsolási rajzok gyakran kombinálják ezeket: az áramútrajzon megtalálod a lábszámot vagy a csatlakozó jelét, az elhelyezési rajzon pedig a járműben való helyét. A gyártói rajzon a biztosítékok, relék, testpontok és kapocsjelek mellett a vezeték-színkódok is szerepelnek; például a `GN-BK` zöld-fekete vezetéket jelöl (a gyártói kódja eltérő lehet).



27.3. ábra. Csatlakozó-nézet olvasása: érintkezőoldali és vezetékoldali nézet

Az ábrán ugyanaz a hatpólusú csatlakozó látható érintkezőoldalról (a) és vezetékoldalról (b): a lábsorrend tükörképben jelenik meg, a tájolást a kódolóborda adja. A (c) részábra a gyártói rajzrészletet mutatja, amelyen a nézet iránya meg van adva – mérés előtt mindig ezt kell leolvasni.

27.1.7. Kidolgozott példák

Példa 1 – Rajzolvasási gyakorlat. Az előző kapcsolási rajz alapján, gyújtáskapcsoló bekapcsolt állapotában írd le a menetfény (gyújtásfüggő fogyasztó) áramútját.

Megoldás. A gyújtáskapcsoló S1 zár, a 30-as feszültség a 15-ös kapocsra jut, a relé tekercsén (86–85) áram folyik, a relé behúz. A főáramút: 30 → F1 → K1 érintkező (30–87) → E1 menetfény → test. A fogyasztó tehát a 30-as ágról kapja a feszültséget, de csak akkor, ha a relé zár.

Példa 2 – Biztosítékméretezés. Egy 12 V-os hálózaton két párhuzamosan kapcsolt 55 W-os tompított izzó (bal + jobb oldal) ugyanarról a biztosítékról táplálkozik. Mekkora áramot vesz fel a két izzó, és mekkora biztosítékot válassz?

Számítás.
Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$; $P_{\text{össz}} = 2 \cdot 55\,\mathrm{W} = 110\,\mathrm{W}$.
Keresett: áramerősség I.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{110\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 9{,}17\,\mathrm{A}$$

A biztosítékot a tartós áram fölé kell méretezni, de a vezeték keresztmetszete határozza meg. A tanulási példában 15 A-es biztosítékot választunk, mert a 10 A-es biztosíték már a határon lenne. Az ellenőrzés: $P = U \cdot I = 12\,\mathrm{V} \cdot 9{,}17\,\mathrm{A} = 110\,\mathrm{W}$, a számítás helyes. A pontos értéket a gyártói javítási adat adja meg (ellenőrizendő).

Példa 3 – Hibás értelmezés kijavítása. Egy tanuló a rajzon a relé 87a kivezetéséhez köti a fényszórót, mert „ott is van feszültség alaphelyzetben”. Mi történik?

Hiba. A 87a a nyugvó (alaphelyzetben zárt) érintkező. Ekkor a lámpa a relé behúzása előtt ég, amikor a relét vezérlik, kialszik; ez inverz logika. A lámpa vezetékét a 87 munkaérintkezőre kell kötni.

27.1.8. Minőségellenőrzés

Az áramútrajz olvasásakor a következőket ellenőrizd:

1. A járművön mért kapocsfeszültségek megegyeznek-e a rajzon jelölt üzemállapottal.
2. A biztosíték értéke és a vezeték keresztmetszete összeillik-e a fogyasztó áramfelvételével.
3. A relé kapocsai (85, 86, 30, 87, 87a) a rajz szerint vannak-e bekötve.
4. A testpontok tiszták, rögzítettek-e; a testponton mért feszültségesés terhelés alatt ne haladja meg a gyártói határértéket (jellemzően 0,3 V alatt; ellenőrizendő).
5. A csatlakozók nem melegszenek-e; a hőfejlődés átmeneti ellenállásra utal.

27.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz. A jobb oldali tompított fényszóró időnként kialszik, de a bal oldal folyamatosan világít. A műhelyben a gyártói áramútrajzot használjuk. A rajz szerint mindkét oldal ugyanarról a reléről táplálkozik, de külön biztosítékkal és külön vezetékkel. A gyártói elhelyezési rajzból megkeressük a közös relé 87 kimenetét, a jobb oldali biztosítékot és a jobb lámpa csatlakozóját.

Mérés: a relé 87 kimenetén 13,8 V mérhető, a jobb oldali lámpa csatlakozóján viszont csak 11,9 V, a bal oldali lámpa csatlakozóján 13,6 V. A jobb oldali vezetékszakaszon tehát 1,9 V feszültségesés van, ami túl nagy. Közelítésként az izzó teljesítménye a feszültség négyzetével arányos (állandó izzószál-ellenállást feltételezünk), ezért a feszültségcsökkenés miatt az izzó teljesítménye a névleges érték kb. háromnegyedére esik:

$$P_{\text{mért}} = \left(\frac{11{,}9}{13{,}6}\right)^2 \cdot 55\,\text{W} \approx 0{,}766 \cdot 55\,\text{W} \approx 42\,\text{W}.$$

A valóságban az izzószál ellenállása hidegebb állapotban kisebb, ezért a teljesítménycsökkenés valamivel kisebb, a fényáram viszont ennél jóval erősebben csökken. Az 55 W névleges érték 12–13,2 V-os vizsgálati feszültségre vonatkozik, nem 13,6 V-ra (ellenőrizendő: az izzó adatlapja).

Az ellenőrzés során a jobb oldali csatlakozó bemenete barnán égett, a műanyag csatlakozóház deformálódott. A hiba oka a csatlakozó korróziója és átmeneti ellenállása volt. A csatlakozót a gyártói előírás szerint kicseréljük, a vezetéket visszavágjuk, új érintkezőt préselünk, zsugorcsövet húzunk rá. Az új mérés: a jobb lámpa csatlakozóján 13,7 V, a feszültségesés 0,2 V; a fényszórók egyformán világítanak. **Tanulság:** úgy tűnhet, hogy az izzó hibás, de a rajz és a feszültségesés-mérés alapján a csatlakozó volt a hibás.

27.1.10. Gyakorlati útmutató

Rajzolvasási munkalap *(nem igényel a 12 V-os hálózaton alkatrészcserét, mérési tervet ad).*

Cél: a gyártói áramútrajz alapján egy fogyasztó tápjának, kapcsolásának és testpontjának beazonosítása.

Szükséges dokumentumok és eszközök: gyártói javítási kézikönyv, áramútrajz- és csatlakozó-nézet nyomtatvány, multiméter, akkumulátor-teszter, adott jármű.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. A mérés során ne zárj rövidre vezetéket a testtel; a 30-as ág akkumulátorcsúcsáramot adhat. Kapcsold ki a gyújtást (vedd ki a kulcsot), mielőtt csatlakozókat szétszednél, ha a gyártói utasítás ezt előírja.

Munkalépések:

1. Azonosítsd a járművet (alvázszám, típus, modellév, motorkód).
2. Keresd ki a gyártói áramútrajzot a megfelelő évjáratú kiadásból.
3. Állapítsd meg, milyen típusú rajzot látsz (áramút, elhelyezési, csatlakozó-nézet).
4. Keresd meg a fogyasztót a rajzon; olvasd le a tápágat (30, 15, 87), a kapcsolót, a biztosítékot és a testpontot.
5. Írd fel a vezetékszíneket és a csatlakozószámokat.
6. Keresd meg a járművön az elhelyezési rajz szerint a biztosítékot, relét és testpontot.
7. Készíts mérési tervet: hol mérsz tápfeszültséget, hol feszültségesést terhelés alatt, hol testpontellenállást.
8. A mért értékeket rögzítsd a munkalapon, hasonlítsd a gyártói adatához.
9. Dokumentáld a hibát és a javasolt javítást.

Ellenőrzési pont: gyújtás kikapcsolva a 30-as ponton 12,4 V mérhető, a 15-ös ponton nincs feszültség; gyújtás bekapcsolva a 15-ös ponton 12 V feletti érték mérhető. A pontos értékek a jármű akkumulátortöltöttségétől függnek (ellenőrizendő).

27.1.11. Tipikus hibák

Hiba 1 – 30 és 15 összetévesztése. A szerelő a jármű álló, gyújtás ki helyzetében a 15-ös ágat vizsgálja, nincs feszültség, ezért tévesen szakadást vagy üres akkumulátort állapít meg. Helyes eljárás: ellenőrizd a gyártói rajzon, hogy az adott ág melyik kapocsról táplálkozik, és a mérés előtt állítsd be a megfelelő üzemállapotot.

Hiba 2 – A relé 87 és 87a keverése. A relé munka- és nyugvóérintkezőinek felcserélése miatt a fogyasztó fordított logikával működik. Mindig a kapocsjelölés és a rajz szerint azonosítsd az érintkezőt.

Hiba 3 – Testpont figyelmen kívül hagyása. A szerelő csak a pozitív oldalt méri, a testpontot nem ellenőrzi. Pedig a rossz testelés miatti feszültségesés pontosan ugyanolyan tünetet okoz, mint a rossz tápellátás. Megoldás: terhelés alatt mérd meg a testpont és az akkumulátor negatív közötti feszültségesést.

Hiba 4 – Rossz évjáratú rajz használata. A járművillamossági rajzok gyártói módosításokkal változnak. Az aktuális modellévre érvényes rajz nélkül téves következtetésre juthatsz.

27.1.12. Önellenőrzés

1. A 30-as kapocs akkor is feszültség alatt lehet, ha a gyújtás ki van kapcsolva. (Igaz / Hamis)
2. A 31-es jelölésű testpont a járművön ugyanolyan villamos szerepet játszik, mint az akkumulátor negatív pólusa. (Igaz / Hamis)
3. Mekkora áramot vesz fel egy 21 W-os izzó a 12 V-os hálózaton?
4. A rajzon a relé tekercs kapcsai 85 és 86, az érintkezője 30 és 87. A 87a jelű kivezetés szerepe mi?
5. Mi a különbség a 30-as és a 15-ös tápegység között?

6. A gyakorlatban a jobb oldali fényszóró csatlakozóján 11,2 V-ot mérsz, a bal oldalin 13,5 V-ot. Mi a legvalószínűbb hiba, ha mindkét oldal ugyanarról a reléről táplálkozik?

27.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mit jelölnek a 30, 31, 15, 50, 58 és 87 kapocsjelek, és mondj mindegyikre egy-egy járműben található példát.

2. feladat (A). Egy 12 V-os hálózaton az izzó feszültsége 12 V, teljesítménye 21 W. Számítsd ki az izzón átfolyó áramot és az izzó ellenállását.

3. feladat (B). Az előző kapcsolási rajzban gyújtáskapcsoló zárva, a relé behúz. Rajzold le vagy írd le lépésenként a menetfény áramútját a 30-as tápponttól a testig, beleértve a vezérlő áramkört is.

4. feladat (B). Egy fényszórókörben két 55 W-os izzó párhuzamosan van kapcsolva, a gyártói rajz szerint egy relé 87 kivezetése táplálja őket. Mekkora áram folyik a relé 30–87 munkaérintkezőjén? Mekkora biztosíték illik a körbe, ha a biztosítékot a tartós áramnál legalább 25%-kal nagyobbra választjuk?

5. feladat (C). Egy járművön a bal tompított fényszóró rendben világít, a jobb oldali gyenge. A gyártói rajz szerint mindkét izzó külön vezetéken, közös reléről táplálkozik. A relé 87 kimenetén 13,8 V-ot mérsz; a bal izzó csatlakozóján 13,5 V-ot, a jobb izzó csatlakozóján 11,2 V-ot. Állíts fel diagnosztikai hipotézist, és javasolj mérési sort a hiba behatárolására.

6. feladat (D). Az indítómotor nem forgat, csak kattog. A gyártói rajz szerint az indítórelé tekercs a gyújtáskapcsoló 50-es kimenetéről kap tápot, a relé munkaérintkezője a 30-as feszültséget kapcsolja az indítómotorra. Milyen sorrendben mérnél a 30, 50 és 31 kapcsokon, hogy eldöntsd, a gyújtáskapcsoló, a relé, a vezeték vagy a test a hibás?

27.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A 30 közvetlenül az akkumulátorról jön, a gyújtáskapcsolótól függetlenül.
2. Igaz. A 31 a test/negatív pólus; a testpont a karosszériához csatlakozik, ami az akkumulátor negatívjához vezet.
3. $I = \frac{P}{U} = \frac{21\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 1{,}75\,\mathrm{A}$.
4. A 87a a relé nyugvóérintkezője; alaphelyzetben a 30-assal zár, behúzás után nyit.
5. A 30 állandó pozitív, a 15 csak gyújtás bekapcsolása után kap feszültséget.
6. Legvalószínűbb a jobb oldali vezeték vagy csatlakozó nagy átmeneti ellenállása, mert a közös relé és a bal oldali ág jó.

1. feladat (A).
30: állandó pozitív (pl. akkumulátorról a biztosítékdobozba).
31: test/negatív (pl. karosszéria, motor).
15: gyújtás utáni pozitív (pl. injektor, műszerfal).
50: indítóvezérlő (pl. indítórelé tekercs).
58: helyzetjelző világítás (pl. rendszámtábla-világítás).
87: relé munkaérintkezőjének kimenete a fogyasztóhoz.

2. feladat (A).
$I = P/U = 21\,\mathrm{W}/12\,\mathrm{V} = 1{,}75\,\mathrm{A}$.
$R = U/I = 12\,\mathrm{V}/1{,}75\,\mathrm{A} = 6{,}86\,\Omega$.

3. feladat (B).
Vezérlő hurok: 30 → S1 (30–15) → K1 tekercs (86–85) → test.
Fő hurok: 30 → F1 → K1 30–87 (zárt) → E1 → test.
A relé a vezérlő áramkör zárása után kapcsolja a fő áramkört.

4. feladat (B).
Összes teljesítmény: $2 \cdot 55\,\mathrm{W} = 110\,\mathrm{W}$.
Reléáram: $I = \frac{110\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} = 9{,}17\,\mathrm{A}$.
Biztosíték legalább $9{,}17 \cdot 1{,}25 = 11{,}46\,\mathrm{A}$; a kereskedelemben kapható értékekből 15 A-es biztosítékot választunk (tanulási példa; ellenőrizendő: gyártói adat).

5. feladat (C).
Hipotézis: a jobb oldali vezetékszakaszban vagy csatlakozóban nagy az átmeneti ellenállás. Mérési sor:
- relé 87 kimenet feszültsége a testhez képest terhelés alatt;
- jobb oldali biztosíték előtti és utáni feszültség;
- jobb oldali csatlakozó előtti és utáni feszültség;
- jobb oldali izzó testpontja és az akkumulátor negatív közötti feszültségesés.
A hiba helyén nagy feszültségesést mérünk.

6. feladat (D).
Mérési sorrend:
- gyújtás ki: a 30-as kapocs és a test között akkumulátorfeszültség;
- indítóállásban: mérj az 50-es kapocs és a test között; ha nincs feszültség, a gyújtáskapcsoló vagy az 50-es vezeték hibás;
- mérj a relé tekercs testoldalán és a relé munkaérintkezőjének kimenetén;
- mérj az indítómotor 30-as csatlakozóján és az indítómotor testpontján.
A feszültség hiánya vagy a nagy feszültségesés behatárolja a hibát.

27.1.15. Rövid összefoglaló

A gépjármű fedélzeti hálózata egyvezetékes rendszer: a pozitív vezeték viszi az energiát a fogyasztóhoz, a visszavezetés a testen történik. Fő egységei: energiaforrások, elosztás és védelem, kapcsolás és vezérlés, fogyasztók, testpontok. Az áramút mindig zárt hurok: táppont – biztosító – kapcsoló/relé – fogyasztó – test. A DIN 72552 szerinti kapocsjelek közül a 30 állandó pozitív, a 31 test, a 15 gyújtás utáni pozitív, az 50 indítás, az 58 helyzetjelző, a 87 relé munkaérintkező. A gyártói áramútrajzokon az áramút szerinti, elhelyezési és csatlakozó-nézet típusú rajzokat különböztetjük meg. A hibakeresés során előbb a rajzból azonosítjuk be a fogyasztó táppontját, kapcsolóját és testpontját, majd a járművön feszültségméréssel és feszültségesés-méréssel ellenőrizzük az egyes szakaszokat. **Továbbvitt eredmény.** A kapocsjelek és az áramútrajz-olvasás módszertanát a Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek, a(z) Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés és a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetekben alkalmazzuk tovább.

27.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: DIN 72552 kapocsjelölések; MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjelek; gyártói javítási kézikönyvek kapcsolási rajzai; járművillamossági szakkönyvi alapok.

Ellenőrizendő állítások:
- a DIN 72552 pontos jelölési rendszere és a felsorolt kapocsjelek hozzárendelése;
- a 85/86 relétekercs-kapcsok konkrét polaritása (86 pozitív, 85 test) gyártótól függhet;

- a 12/24/48 V-os hálózat és a HV-rendszer határértékei;
- a biztosítékok és feszültségesési határértékek tanulási példák, gyártói adat szerint változhatnak;
- a gyártói vezetékszín-kódok pontos értelmezése.

27.2. Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek

27.2.1. Miért éppen ez a téma következik?

A fedélzeti hálózat felépítése után most azokat az elemeket vizsgáljuk meg, amelyeken ténylegesen „elindul” az áram a fogyasztó felé. A műhelyben a leggyakoribb villamos hibák nem mindig az érzékelők vagy a vezérlőegységek miatt keletkeznek, hanem a vezetékek sérülése, a csatlakozók korróziója, a biztosítók téves cseréje és a relék elhasználódása miatt. Ha egy tompított fény nem világít, először nem ECU-t cserélünk, hanem biztosítékot, áramkört, relét ellenőrzünk. Ez az alfejezet ahhoz ad gyakorlati alapot, hogy a vezeték-keresztmetszetet, a biztosító értékét és a relék kapcsolását tudatosan válaszd meg.

27.2.2. Szemléletes kép: egy ködlámpa útja a kapcsolótól a fogyasztóig

Képzelj el egy ködlámpát a jármű elején. A műszerfali kapcsoló nem közvetlenül kapcsolja a lámpát, mert a kapcsoló vékony vezetéke nem bírná a lámpa áramát. Helyette egy relé van a motortérben: a kapcsoló a relé tekercsét vezérli, a relé érintkezője pedig a biztosítón keresztül zárja a nagyobb áramú lámpakört. A kapcsolási rajz így néz ki:

27.4. ábra. Ködlámpa bekötése relével - Szemléltető kapcsolási rajz; alaphelyzetben az S1 nyitott, a relé elengedett. Munkakör: 30 → F1 → K1 (30–87) → H1 → test; vezérlőkör: F1 után → S1 → K1 tekercs (86–85) → test. A két kört csak a relé mágneses csatolása (szaggatott vonal) köti össze. F1 = 10 A a számítási példa szerint.

Az ábrán jól látható a két áramkör: a vezérlőkör a 15-ös kapocs felől jön (itt egyszerűsítve a biztosíték utáni pluszról), az S1 kapcsolón és a K1 tekercsen át a testig; a munkakör a 30-as kapocstól a biztosítékon, a K1 munkaérintkezőjén és a H1 izzón át a testig.

27.2.3. Alapfogalmak: vezeték, kábelkorbács, biztosító, relé

Definíció. Gépjármű-vezeték. A járművillamossági vezeték olyan, rugalmasan hajlítható, többerű réz huzalból készült elektromos vezető, amelyet hő-, kopás- és üzemanyag-álló műanyag szigetelés borít. A járműiparban a merev, egyetlen huzalból álló vezeték ritka; a sok vékony elemi szálból sodrott felépítés a rezgésekkel szembeni hajlításállóság miatt szükséges.

Definíció. Kábelkorbács (wiring harness). A kábelkorbács a jármű egy meghatározott részének előre legyártott vezetékkötege, amely a vezetékeket, a csatlakozóházakat, az érintkezőket, a védőburkolatokat, a rögzítőelemeket és gyakran a biztosíték- vagy relétartókat is tartalmazza.

Definíció. Biztosító (fuse). A biztosító olyan védelmi elem, amely a rajta átfolyó áram által termelt hő hatására, a névleges áramot meghaladó túláram esetén megolvad, és így megszakítja az áramkört. A biztosító elsődleges feladata a vezeték védelme, nem pedig a fogyasztóé.

Definíció. Relé (relay). A relé olyan elektromechanikus vagy elektronikus kapcsoló, amely kis vezérlőárammal nagyobb munkaköri áramot kapcsol. A gépjárműiparban leggyakrabban

elektromágneses relét használunk: a tekercs behúzza a mozgó érintkezőt, amely zárja vagy váltja a munkaköri kapcsokat.

27.2.4. Vezetékek anyaga, keresztmetszete és a feszültségesés

A járművek vezetékei szinte mindig elektrolitikus vörösrézből készülnek. A réz fajlagos ellenállása $20\,^{\circ}\mathrm{C}$-on $\rho \approx 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$. A vezeték ellenállása egy hosszúságú, A keresztmetszetű rézvezető esetén:

$$R = \rho \frac{L}{A}.$$

A fogyasztó felé folyó I áram hatására a vezetéken

$$U_{\text{esés}} = IR = I\frac{\rho L}{A}$$

feszültség esik. A járművek 12 V-os hálózatában már néhány tized volt esés is érezhető: a lámpa fényereje csökken, az indítómotor fordulatszáma visszaesik. A gyakorlatban a világítási körökben a megengedett feszültségesést gyakran 0,3–0,5 V közé veszik fel, az indítókörben ennél nagyobb is lehet rövid időre, de ott is szigorú határt ad a gyártó. A pontos érték mindig a jármű dokumentációjából származik.

A vezeték melegedése is korlátozza a terhelhetőséget. A szigetelés anyagtól és hőmérsékleti osztálytól függ, ezért a „minél vastagabb, annál jobb” elv nem feltétlenül igaz, de a túl vékony vezeték tartós túlterhelésnél megolvadhat. A következő táblázat csak tanulási kiindulópont:

Névleges keresztmetszet (mm^2)	Tipikus tartós áram (A)	Tipikus biztosító (A)	Jellemző felhasználás
0,5	5	5	kis jelek, belső világítás
1,0	10	10	helyzetjelző, kis fogyasztó
1,5	15	15	tompított fény, ablaktörlő
2,5	20	20	nagyobb fogyasztó, hűtőventilátor
4,0	30	30	nagyáramú körök, generátor-környezet

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / szabvány).

27.2.5. Számítási példa: vezeték-keresztmetszet kiválasztása

Számítás. Egy 55 W névleges teljesítményű ködlámpa 12 V fedélzeti feszültségről üzemel. A vezeték hossza a biztosítéktól a lámpáig 4 m. Legfeljebb 0,4 V feszültségesést engedünk meg. Mekkora legyen a rézvezeték keresztmetszete?

Adott: $P = 55\,\mathrm{W}$, $U = 12\,\mathrm{V}$, $L = 4\,\mathrm{m}$, $U_{\text{esés, max}} = 0{,}4\,\mathrm{V}$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

Keresett: A.

Képlet:

$$A = \frac{I \rho L}{U_{\text{esés}}}, \quad I = \frac{P}{U}.$$

Behelyettesítés:

$$I = \frac{55\,\text{W}}{12\,\text{V}} = 4{,}58\,\text{A},$$

$$A = \frac{4{,}58\,\text{A} \cdot 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 4\,\text{m}}{0{,}4\,\text{V}} = 0{,}802\,\text{mm}^2.$$

Eredmény: legalább $0{,}80\,\text{mm}^2$ keresztmetszetű rézvezetéket kell választani, tehát a szabványos méret $1{,}0\,\text{mm}^2$.

Ellenőrzés: Ha $1{,}0\,\text{mm}^2$-t választunk, a tényleges esés

$$U_{\text{esés}} = 4{,}58 \cdot 0{,}0175 \cdot 4/1 = 0{,}32\,\text{V},$$

ami a megengedett határon belül van. ∎

Számítás. A fenti fogyasztóhoz illeszkedő biztosítót úgy választunk, hogy az áramkör tartós áramát bírja, de rövidzárlatnál gyorsan oldjon, és a vezeték áramterhelhetőségét ne lépje túl. A tartós áram $4{,}58\,\text{A}$, a választott $1{,}0\,\text{mm}^2$ vezeték tipikus terhelhetősége $10\,\text{A}$. A megfelelő biztosító például $7{,}5\,\text{A}$ vagy $10\,\text{A}$ lehet, amennyiben a fogyasztó bekapcsolási áramlökése ezt megengedi; itt $10\,\text{A}$-t választunk. Ellenőrzés: $4{,}58\,\text{A} < 10\,\text{A} \le 10\,\text{A}$, tehát a biztosító a vezetéket védi. ∎

Megjegyzés. Túlméretezett biztosítóval a vezeték maga válik olvadóbiztosítékká, ami már nem megengedett védelmi megoldás.

27.2.6. Színjelölés, árnyékolt és csavart érpár

A vezeték-színjelölés a járműgyártók kapcsolási rajzain gyártóspecifikus. A magyar műhelyi gyakorlatban gyakran használt rövidítés a német színrövidítéseken alapul: például a `rt` piros, `ws` fehér, `sw` fekete, `bl` kék, `ge` sárga lehet. A további csík jelölése például `rt/ws` (piros alapszín, fehér csík), de ennek pontos értelmezését mindig az adott gyártó kapcsolási rajza adja meg. Az autószerelő ne a szín alapján kössön be egy vezetéket, hanem a kapocsjelölést és az áramútrajzot kövesse; a szín csak segédlet.

Az analóg jeleknél, például a kopogásérzékelőnél vagy a lambdaszonda jelénél, a vezeték lehet árnyékolt: a belső jelvezetőt vezető fémháló vagy fémfólia veszi körül, amelyet testre kötnek. Az árnyékolás a külső elektromágneses zavarokat vezeti el. A CAN-buszok ezzel szemben gyakran csavart érpárt használnak: a két jelvezetőt egyenletes sodrással vezetik, így a külső zavar mindkét szálban közel azonos feszültséget indukál, amit a differenciális vevő kiszűr. Az adatbuszok részleteire a Adatbusz-hálózatok alfejezetben térünk vissza.

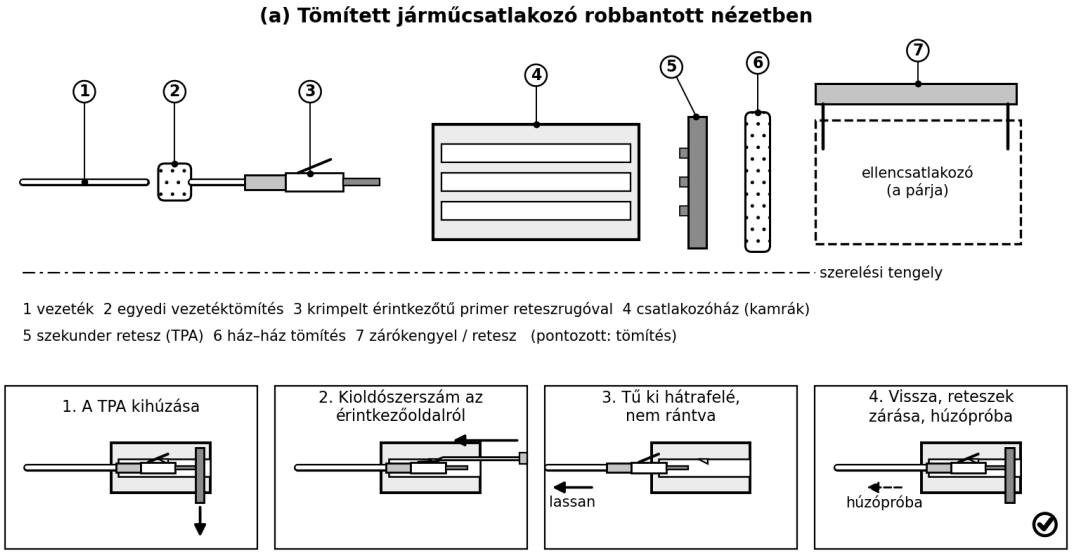
27.2.7. Kábelkorbács, csatlakozók, tömítés és korrózió

A kábelkorbács a járművön rögzített útvonalon halad. A vezetékeket műanyag védőcső, szövött vagy ragasztott szalag, illetve kemény műanyag vályú védi a koptató élektől, hőtől és víztől. A karbantartáskor a kötegelés megbontását úgy kell elvégezni, hogy a gyári nyomvonal visszaállítható legyen, mert a rosszul visszarakott korbács a motor mozgása vagy az éles lemezsarok miatt kidörzsölődhet.

A csatlakozók a járművillamosság legérzékenyebb pontjai. Egy csatlakozóház általában a következőket tartalmazza:

- műanyag ház, amely mechanikailag reteszeli az összekapcsolást;
- fém érintkezők (sokszor ónozott vagy nemesfém-bevonatú réz);
- huzaltömítés vagy egyedi vezetékszigetelő;
- gyakran másodlagos retesz: TPA (terminal position assurance – az érintkezőket a házban rögzíti) és CPA (connector position assurance – a két csatlakozófél összekapcsolását biztosítja).

A tömítés szerepe a víz és a sólé kizárása. Ha a csatlakozó tömítése sérült, a réz érintkezőkön korrózió indul meg, az átmeneti ellenállás megnő, és a fogyasztó feszültségesése már kis áramnál is jelentős lesz. Az ilyen hibát sokszor csak a csatlakozó széthúzásakor lehet látni: zöldes, kékes, fehéres por vagy nedvesség jelzi a korróziót.



27.5. ábra. Tömített járműcsatlakozó felépítése és az érintkezőtű kiszerelése

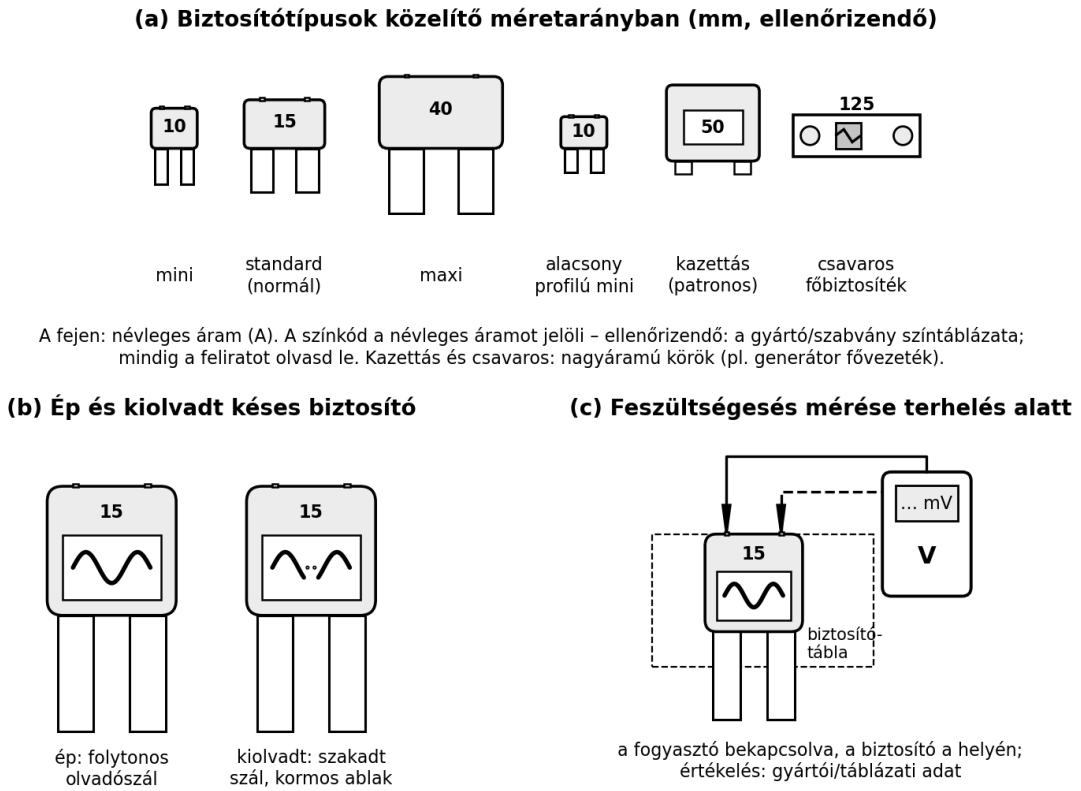
A robbantott ábrán (a) látszik az egyedi vezetéktömítés, a ház–ház tömítés, a tűt tartó primer reteszrugó és a szekunder retesz (TPA). A képsor (b) a tű kiszerelését mutatja: TPA ki, kioldószerszám az érintkezőoldalról, a tű lassú kihúzása hátrafelé, majd visszahelyezés, reteszelés és húzópróba – a gyártói javítási utasítás szerint.

A vezetékjavítás alapelve, hogy a gyártói javítási utasítás szerint javítsunk. Ha a gyártó megengedi a toldást, akkor azt préselt, ragasztóbetétes zsugorcsővel ellátott toldóhüvellyel kell végezni; a forrasztás a járműrezgések miatt sok gyártónál már nem megengedett, mert a forrasztott pont merevvé válik, és mellette a hajlékony rézszálak kifáradhatnak. A javítás előtt mindig azonosítani kell a vezetéket, a szigetelést a gyári méretnek megfelelő hosszon eltávolítani, a toldást a gyári nyomvonalon tehermentesítve rögzíteni, és a javítást a munkalapon dokumentálni.

Környezetvédelem. A vezetékjavítás során keletkezett szigeteléshulladék, forrasztási maradék, szilikon- és zsugorcső-maradék nem kerülhet a kommunális hulladékba; a csupasz rézhulladékot és a fémtartalmú maradékot szelektíven kell gyűjteni.

27.2.8. Biztosítók: típusok, biztosítótábla, elektronikus biztosítás

A személygépjárművekben ma leggyakrabban lapos, késes biztosítókat találunk. A ház mérete szerint mini, standard (lapos) és maxi kivitel létezik. A nagyobb áramú körökhöz csavaros vagy patronos nagyáramú biztosítókat használnak, például a generátor fővezetékénél. A biztosító színe a névleges áramot jelöli, de a színkód gyártónként és szabványonként változhat, ezért mindig a biztosító feliratát kell ellenőrizni.



27.6. ábra. Járműbiztosítók típusai, ép és kiolvadt biztosító, mérőpontok

Az ábra (a) része a jellemző típusokat mutatja közelítő méretarányban (a névleges áram a fejükön, a színkód gyártói/szabványi adat), a (b) rész az ép és a kiolvadt olvadószálat, a (c) rész a biztosító tetején lévő két mérőpontot: ezeken a feszültségesés terhelés alatt, a biztosító kihúzása nélkül mérhető.

A biztosítótábla általában az utastérben, a műszerfal mögött vagy a motortérben van. A biztosítékok mellett a tábla sokszor a reléket és a nagyáramú áramelosztó síneket is tartalmazza. A biztosíték cseréjekor a gyártó által előírt értéket kell használni; az üres helyekre oda nem illő értékű biztosítékot tenni tilos.

Szabály. A biztosító névleges áramának a fogyasztó tartós áramánál nagyobbnak, de a vezeték megengedett terhelhetőségénél kisebbnek vagy egyenlőnek kell lennie:

$$I_{\text{fogyasztó}} < I_{\text{biztosító}} \leq I_{\text{vezeték, max}}.$$

Például a korábbi 4,58 A tartós áramú lámpához 1,0 mm^2 vezeték 10 A-ig terhelhető, ezért a 10 A-es biztosító megfelelő.

Az elektronikus biztosítás a modern járművekben félvezető kapcsolókkal oldja meg az áram védelmét. A vezérlőegység méri az áramot, és túláram esetén lekapcsolja a kimenetet. Ez a megoldás visszaállítható, diagnosztizálható, és nem kell biztosítékot cserélni. Hiba esetén a rendszerteszterrel a konkrét kimenet állapota és az utolsó túláram-esemény is kiolvasható.

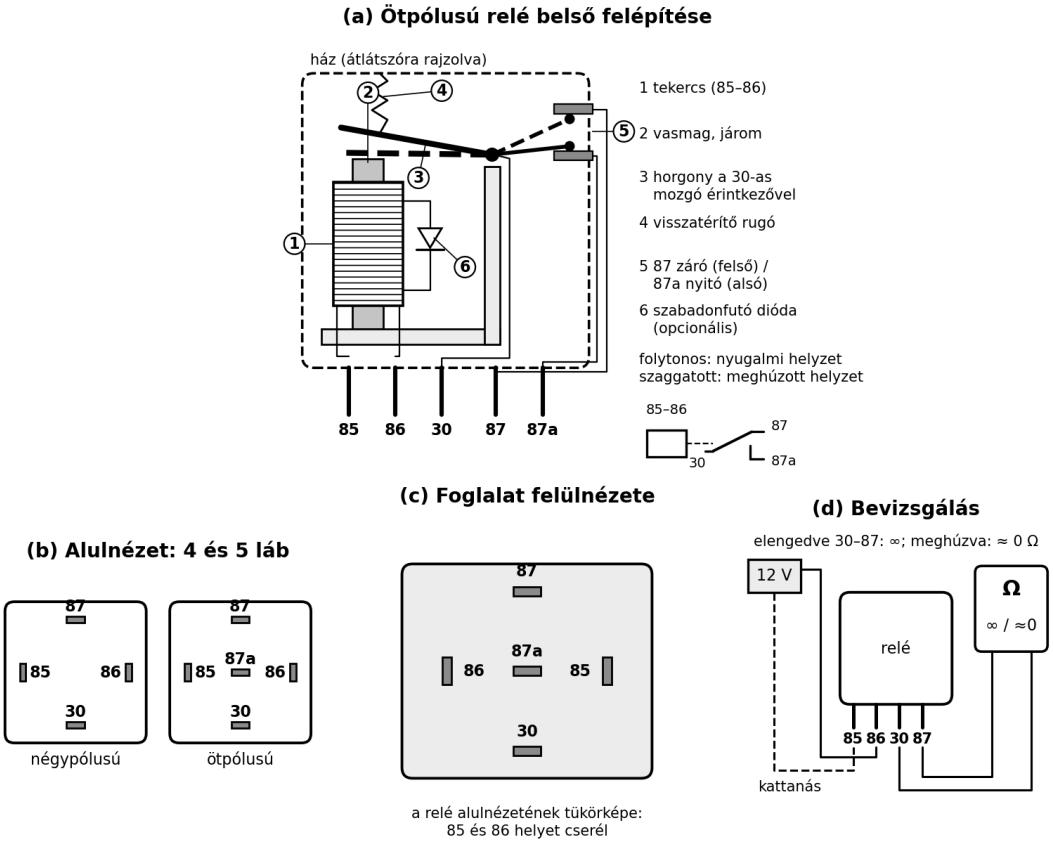
27.2.9. Relék: felépítés, kapcsok, munka- és váltóérintkezős kivitel

A járművillamossági relék szabványos kapocsjelölése a DIN 72552 szerinti hazai gyakorlatot követi, de mindig a gyártói rajz a mérvadó:

Kapocs	Jelentés
30	akkumulátor-plusz, folyamatos táplálás
85	relétekercs egyik kivezetése
86	relétekercs másik kivezetése
87	munkaérintkező (záró)
87a	nyugvóérintkező (bontó)

A legelterjedtebb a négy- és ötpólusú relé:

- **Négypólusú relé:** 30, 85, 86, 87. Nyugalmi állapotban a 30–87 érintkező nyitott; ha a 85–86 tekercsre feszültséget kapcsolunk, a relé behúz, és a 30–87 zár.
- **Ötpólusú relé:** 30, 85, 86, 87, 87a. Nyugalomban a 30–87a zárt, a 30–87 nyitott. Gerjesztés után a 30–87 zár, a 30–87a nyit. Váltóérintkezős relét akkor használunk, ha egy áramkört váltani kell, például két fogyasztó között.



27.7. ábra. A relé felépítése és lábkiosztása négy- és ötpólusú kivitelben

Az ábra (a) része az ötpólusú relé belsejét mutatja (tekercs, vasmag, horgony, rugó, 30–87/87a váltóérintkező), a (b) rész a négy- és ötpólusú relé alulnézetét, a (c) rész a foglalatot felülről – ez az alulnézet tükörképe –, a (d) rész a bevizsgálást. A lábak helye relétípusonként eltérhet; mindig a relé házán lévő rajz az irányadó.

A relétekercs ellenállása típusonként változó; személygépjárművekben gyakran néhány tíz és néhány száz ohm közötti. A tekercs áramerőssége:

$$I_{\text{tekercs}} = \frac{U}{R_{\text{tekercs}}}.$$

Számítás. Ha $R_{\text{tekercs}} = 80\,\Omega$ és a fedélzeti feszültség $12\,\text{V}$, akkor a tekercs árama:

$$I_{\text{tekercs}} = \frac{12\,\text{V}}{80\,\Omega} = 0{,}15\,\text{A} = 150\,\text{mA}.$$

A vezérlőkapcsolót tehát elegendő erre a kis áramra méretezni, miközben a relé munkakörén akár 10–30 A is folyhat. ∎

A félvezető relé mechanikus érintkező nélküli elektronikus kapcsoló. Ilyenkor egy tranzisztor vagy MOSFET végzi a kapcsolást. Előnye a kopásmentesség és a gyors működés, hátránya a maradék feszültségesés és a hűtésigény. Félvezető reléket főként nagy kapcsolási gyakoriságú vagy PWM-vezérelt körökben használnak, például fűtésvezérlésnél, izzításnál vagy világításmodulokban.

27.2.10. Relé bevizsgálása négy- és ötpólusú kivitelnél

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

A relé bevizsgálása előtt áramtalanítsd az áramkört: vedd le a gyújtást, és ha a relé állandó 30-as táplálást kap, kösd le az akkumulátort a gyártói előírás szerint. A mérést multiméterrel végezd.

1. Azonosítsd a kapcsokat a gyártói rajz alapján.
2. Mérd meg a tekercset a 85–86 kapcsok között. Nyugalomban tipikusan 60–120 Ω közötti értéket kapsz; ha 0 Ω vagy végtelen, a tekercs rövidzárlatos vagy szakadt. Az érték relétípusonként változik.
3. Ellenőrizd a munkaköri érintkezőket nyugalomban. Négypólusú relénél a 30–87 nyitott, ötpólusúnál a 30–87 nyitott, a 30–87a zárt, közel 0 Ω.
4. Adj 12 V-ot a tekercsre: hallható kattanást kapsz. Ezután a 30–87 záródik, a 30–87a nyit.
5. Terheléses mérésnél kapcsolj terhelést a munkakörbe, és mérd a feszültségesést a 30–87 kapcsokon. Például 10 A terhelésnél a jellemző esés gyakran 0,2 V alatt van; a pontos határ a gyártó adata.

27.2.11. Minőségellenőrzés: mire figyelj?

- **Biztosíték:** a kioldott biztosíték üvegén vagy késes kivitelnél a szakadás látható. Csere előtt keresd meg a kioldás okát, ne csak cserélj.
- **Vezeték:** a feszültségesést a teljes terhelt áramkörön mérd, ne csak üresjáratban. A testpontok és a csatlakozók átmeneti ellenállása gyakran nagyobb, mint a vezetéké.
- **Csatlakozó:** vizsgáld a reteszt, a tömítést, a korróziót, a kihúzódott érintkezőt. A csatlakozó széthúzásakor a fém füleket ne feszítsd a csúszás irányában, mert a későbbi rossz érintkezés tüneteit már nem lehet megbízhatóan visszamérni.
- **Relé:** a tekercsellenállás és a kapcsolási próba mellett a terheléses feszültségesés az érintkező kopását is megmutatja. Ha a 30–87 esés nagyobb a gyártói határnál, a relét cserélni kell.

27.2.12. Valós életbeli alkalmazás: ködlámpa nem működik

Egy járművön a bal oldali ködlámpa nem világít, a jobb oldali igen. A hibalánc a következő:

1. **Tünet:** a bal ködlámpa sötét, a biztosíték rendben.
2. **Hipotézis:** a közös relé jó, tehát a hiba a bal oldali ágban lehet: lámpa, testpont, csatlakozó, vezeték.
3. **Mérés:** a lámpa csatlakozóján a relé bekapcsolt állapotában, terhelés nélkül 12,2 V mérhető. Ha visszaterheljük a lámpát, a feszültség 4 V-ra esik, miközben a másik oldalon 11,8 V marad.
4. **Ok:** a bal csatlakozó érintkezője korrodált, az átmeneti ellenállás megnőtt. Terhelés nélkül a multiméter nagy bemeneti ellenállása miatt a hiba nem látszik.
5. **Javítás:** a csatlakozó tisztítása és a korrodált érintkező cseréje a gyártói javítási utasítás szerint.
6. **Ellenőrzés:** a lámpa bekapcsolva, terhelés alatt a feszültségesés a megengedett tartományban marad.

Továbbvitt eredmény. A vezeték-keresztmetszet és a biztosító együttes kiválasztását, valamint a terheléses feszültségesés-mérést a későbbi alfejezetek használják: Elektronikai elemek a gépjármű villamos hálózatában, Fénytechnika és világítóberendezések és Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram. A relé bevizsgálását az áramút-alapú hibakeresésnél ismételten alkalmazzuk.

27.2.13. Fénykábelek röviden: a MOST-busz

A nagyobb szórakoztató- és infotainment-rendszerekben a nagy sebességű adatátvitelt részben műanyag optikai szálakkal oldják meg. Korábban elterjedt a MOST (Media Oriented Systems Transport) gyűrű (az újabb járművekben az autóipari Ethernet váltja fel), amelyben a vezérlőegységek optikai szálon továbbítják a jelet. A fénykábel hajlítási sugarát és a csatlakozó tisztaságát szigorúan be kell tartani, mert a sérült vagy erősen meghajlított szál jelvesztést okoz. A fénykábelt csak a gyártó által engedélyezett javítókészlettel és eljárással szabad javítani; ahol ilyen nincs, a sérült szakaszt cserélni kell (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás). A hálózat részleteit a Adatbusz-hálózatok alfejezet tárgyalja.

27.2.14. Tipikus hibák

Hiba. A biztosítékot nagyobbra cserélik, mert „úgyis az a rossz, hogy kicsi”. A következmény a vezeték túlmelegedése lehet, mert a biztosító már nem védi a vezetéket. A helyes gyakorlat: az áram mérése, a fogyasztó és a vezeték ellenőrzése, majd a gyári értékű biztosíték behelyezése.

Hiba. A relé 87a lábát 87-nek nézik, és a váltóérintkezős relét fordítva kötik. A fogyasztó ilyenkor nyugalmi állapotban kap áramot, gerjesztésre viszont elalszik. A helyes gyakorlat: a kapocsjelölést a rajzról ellenőrizni, nem a színekből következtetni.

Hiba. A feszültségesést csak a vezeték egyik szakaszán mérik, pedig a testzárlat és a csatlakozó ellenállása is a kör része. A helyes gyakorlat: a terhelt teljes hurkon mérjük az esést, például a biztosítéktól a fogyasztóig, majd a fogyasztó testpontjától a 31-es kapocsig.

Hiba. A csatlakozó tömítését visszaszereléskor kihagyják, vagy a reteszt nem kattintják vissza. A későbbi korrózió csak hónapokkal később okoz bizonytalan hibát. A helyes gyakorlat: a csatlakozót csak száraz, tiszta állapotban és teljes tömítéssel szerelni vissza.

27.2.15. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a biztosító névleges áramának a vezeték megengedett áramánál kisebbnek vagy egyenlőnek kell lennie? Indokold!
2. Egy 12 V-os fogyasztó 6 A áramot vesz fel. A vezeték hossza 5 m. Mekkora keresztmetszet szükséges, ha legfeljebb 0,24 V esést engedünk meg?
3. Melyik kapocs a relé nyugvóérintkezője?
4. Mi a különbség a négypólusú és az ötpólusú relé között?
5. Miért mérünk terhelés alatt feszültségesést, és miért nem elég a csatlakozón mért üresjárati feszültség?
6. A kapcsolási rajzon mi történik, ha az S1 kapcsolót zárjuk?

27.2.16. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg röviden, mi a relé, és milyen kapocsjelölések tartoznak a tekercshez, a munkaérintkezőhöz és a nyugvóérintkezőhöz!

2. feladat (A). Egy relétekercs ellenállása $100\,\Omega$. Mekkora áram folyik a tekercsen 12 V feszültség hatására? Mekkora a tekercs teljesítménye?

3. feladat (B). Egy tompított fény tápvezetékét méretezed. A fogyasztó 60 W-os, a fedélzeti feszültség 12,5 V, a vezeték hossza a biztosítéktól a lámpáig 3,5 m. A megengedett feszültségesés 0,35 V. Számítsd ki a szükséges keresztmetszetet, és válassz szabványos méretet! Ellenőrizd az eredményt!

4. feladat (B). Adott egy ötpólusú relé. Nyugalomban a 30–87a mért ellenállása $0{,}2\,\Omega$, a 30–87 végtelen. A tekercset 12 V-ra kapcsolva kattan, és a 30–87 ellenállása $0{,}1\,\Omega$, a 30–87a végtelen lesz. Értékeld a mérést: jó vagy hibás a relé? Indokold!

5. feladat (C). Egy jármű indítómotorja beszerelés után lassan forog. A műhelyben az akkumulátor feszültsége nyugalomban 12,6 V, indításkor az akkumulátor kapcsán 11,2 V, az indítómotor kapcsán azonban csak 9,5 V mérhető. Mi a valószínű hiba, és milyen mérésekkel lokalizálod?

6. feladat (D). Egy ventilátor nem indul. A biztosíték rendben, a relétekercs kapcsaira 12 V érkezik, a relé kattan, de a ventilátor csatlakozóján nincs feszültség. A relé munkaköri 30-as kapcsán 12,4 V mérhető. Mi a következő lépés? Milyen hiba valószínű?

27.2.17. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A biztosító a vezetéket védi, ezért áramának nem szabad meghaladnia a vezeték terhelhetőségét; ellenkező esetben túláramnál a vezeték melegszik túl, mielőtt a biztosító kiolvadna.
2. $A = I\rho L/U_{\text{esés}} = 6 \cdot 0{,}0175 \cdot 5/0{,}24 = 2{,}19\,\text{mm}^2$, tehát $2{,}5\,\text{mm}^2$-t választunk.
3. A 87a kapocs.
4. A négypólusú relén csak záró munkaérintkező van (30–87), az ötpólusún pedig váltóérintkező is (30–87a bontó és 30–87 záró).
5. Mert terhelés nélkül a multiméter nagy belső ellenállása miatt a rossz átmeneti ellenálláson alig esik feszültség. Terheléssel a tényleges áram folyik, és a feszültségesés kimutatható.
6. Az S1 zárásakor a K1 tekercs behúz, a 30–87 érintkező zár, és a H1 lámpa áramot kap.

1. feladat megoldása. A relé kis vezérlőárammal nagyobb munkaköri áramot kapcsoló elektromechanikus vagy félvezető kapcsoló. Kapcsok: 85–86 tekercs, 30 közös táplálás, 87 záró munkaérintkező, 87a nyugvóérintkező.

2. feladat megoldása. $I = U/R = 12/100 = 0{,}12\,\text{A} = 120\,\text{mA}$. Teljesítmény: $P = UI = 12 \cdot 0{,}12 = 1{,}44\,\text{W}$.

3. feladat megoldása. $I = 60/12{,}5 = 4{,}80\,\text{A}$. $A = 4{,}80 \cdot 0{,}0175 \cdot 3{,}5/0{,}35 = 0{,}840\,\text{mm}^2$. Választott méret: $1{,}0\,\text{mm}^2$. Ellenőrzés: $U = 4{,}80 \cdot 0{,}0175 \cdot 3{,}5/1{,}0 = 0{,}294\,\text{V}$, ami kisebb, mint 0,35 V.

4. feladat megoldása. A relé jó. A nyugalmi 30–87a zárt, a 30–87 nyitott; gerjesztve a 30–87 zár, a 30–87a nyit. A 0,1–$0{,}2\,\Omega$ ellenállás a mérővezeték és az érintkezők normál ellenállása, nem szakadás.

5. feladat megoldása. A hiba valószínűleg a nagyáramú indítókörben van: a 30-as fővezeték, a testzsinór, az indítórelé vagy a csatlakozó átmeneti ellenállása. A mérést terhelés alatt kell folytatni: feszültségesést mérünk az akkumulátor-plusztól az indítómotor 30-as kapcsáig, majd az indítómotor testétől a 31-es testpontig. Ha az egyik szakaszon nagy, például 1–2 V esés van, ott a kontaktus vagy a vezeték hibás. Az alacsony akkumulátor-kapocsfeszültség önmagában nem magyarázza az akkumulátor és az indítómotor kapcsa közötti 1,7 V különbséget.

6. feladat megoldása. A 30-as kapcson van feszültség, a relé kattan, de a ventilátor csatlakozóján nincs feszültség. A következő lépés a relé foglalatán a 87-es kimenet és a ventilátor csatlakozója közötti szakasz vizsgálata, valamint a relé 30–87 munkaérintkezőjének terheléses ellenőrzése. Valószínű hiba: a relé érintkezője kiégett, a 87-es kivezetésnél a csatlakozó korrodált, vagy a relé és a ventilátor közötti vezeték szakadt.

27.2.18. Rövid összefoglaló

A gépjárművezetékek rézből készült, többerű, rezgésálló vezetők, amelyek keresztmetszetét a feszültségesés és a melegedés alapján választjuk meg. A feszültségesés képlete $U_{\text{esés}} = I\rho L/A$. A biztosító a vezetéket védi: $I_{\text{fogyasztó}} < I_{\text{biztosító}} \leq I_{\text{vezeték, max}}$. A csatlakozók tömítése és reteszelése a korrózió megelőzése miatt kritikus; a vezetékjavításnál a gyártói előírás és a préselt, zsugorcsöves toldás a jellemző. A relé tekercskapcsai 85–86, a munkakör kapcsai 30, 87, 87a; a relét ellenállásméréssel és kapcsolási próbával vizsgáljuk. A MOST-fénykábel optikai adatátvitelt végez, javítása csak a gyártó által engedélyezett készlettel és eljárással lehetséges. Ezt a tudást a fénytechnika, az elektronikai elemek és az áramút-alapú hibakeresés alfejezetekben alkalmazzuk a későbbiekben.

27.2.19. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a járművillamossági alapelveket, a DIN 72552 jellegű kapocsjelöléseket és a gyártói gyakorlatot mutatja be tanulási szinten. A feszültségesés-határok, vezeték-terhelhetőségek, biztosítóértékek, relétekercs-ellenállások és a fénykábel-kezelési előírások tényleges értékeit a gyártói javítási utasítás és a hatályos szabványok szerint kell ellenőrizni. **Forrástípusok:** DIN 72552, ISO 8820 (biztosítók), ISO 6722 (járművezetékek), gyártói javítási utasítások. **Ellenőrizendő:** a feszültségesés-határok, a vezeték-terhelhetőségek, a biztosítóértékek, a relétekercs-ellenállások és a fénykábel-javítás gyártói előírásai.

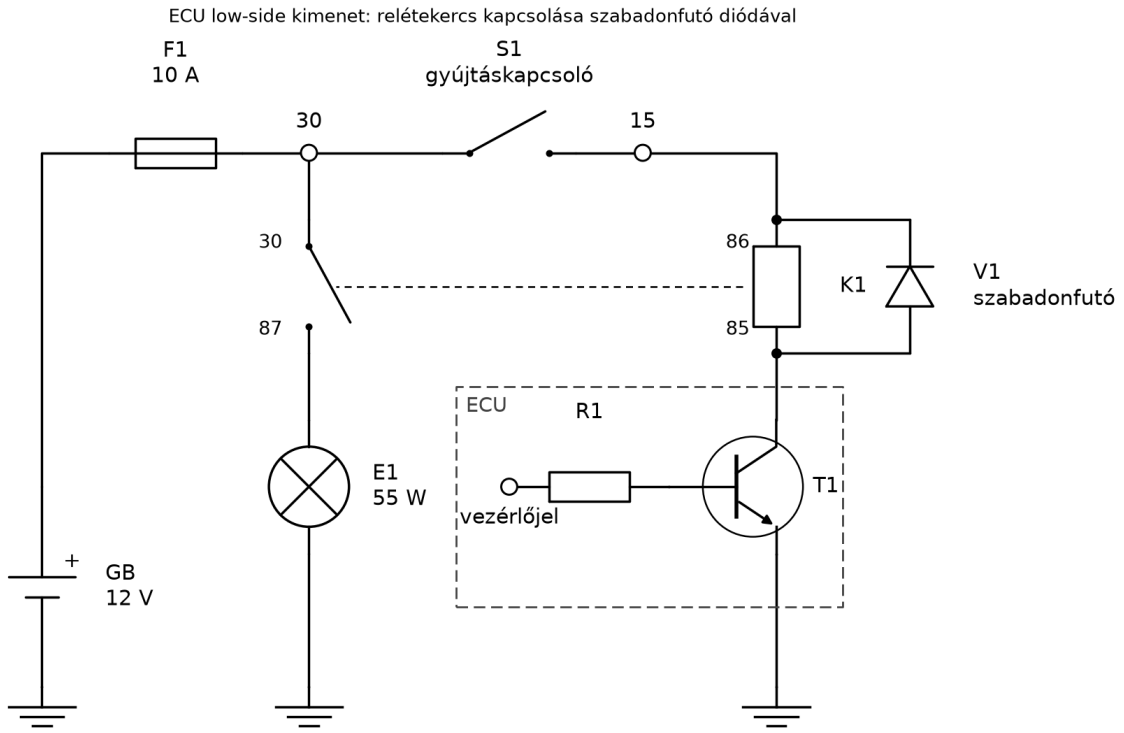
27.3. Elektronikai elemek a gépjármű villamos hálózatában

27.3.1. Motiváció

A műhelyben egyre ritkább az olyan hiba, amelyet csak „nincs táp” vagy „nincs test” alapon lehet megtalálni. Egy modern autó tompított fényét, hűtőventilátorát, klímakompresszorát vagy üzemanyag-szivattyúját gyakran nem közvetlenül egy kapcsoló, hanem egy vezérlőegység félvezetős végfokozata kapcsolja. Ha a kapcsolási rajzon diódát, tranzisztort vagy „ECU” feliratot látsz, akkor nemcsak azt kell tudnod, hogy van-e feszültség, hanem azt is, hogy a vezérlőegység éppen milyen módon kapcsol: a fogyasztó előtt (high-side) vagy a fogyasztó után (low-side), esetleg impulzusszélesség-modulációval. Ebben az alfejezetben a IV. részben megismert félvezetőket járműves kapcsolásokra alkalmazzuk, és felkészülünk a későbbi motorirányítási és komfortelektronikai rendszerek értelmezésére.

27.3.2. Szemléletes kép

Az alábbi kapcsolási vázlat egy tipikus járműves helyzetet mutat: a vezérlőegység egy NPN tranzisztoron keresztül, úgynevezett **low-side** kimenettel húz be egy relétekercset, a relé munkaérintkezője pedig egy izzót kapcsol.



27.8. ábra. ECU low-side kimenet: relétekercs kapcsolása szabadonfutó diódával - Szemléltető kapcsolási vázlat tanulási célra (alapállapot: S1 nyitva, T1 zárva, relé elengedve); a 30, 15, 85, 86, 87 kapocsjelölés a DIN 72552 szerinti gyakorlatot követi, a konkrét bekötést a gyártói rajz határozza meg (ellenőrizendő).

A 30-as kapocs a biztosítékon át közvetlenül az akkumulátor pluszra csatlakozik. A 15-ös kapocs csak gyújtáskapcsolás után kap feszültséget. Amikor az ECU a T1 tranzisztort nyitja, a K1 relétekercs árama a 15-ös kapocsról a tekercsen és a T1 kollektorán–emitterén át a test felé folyik. A K1 érintkezője behúz, és a 30-as ág felől bekapcsolja az E1 izzót. A V1 szabadonfutó dióda a tekercs kikapcsolási feszültségcsúcsát vezeti le. A szaggatott ECU-keret a T1 tranzisztort és az R1 bázisellenállást fogja körbe: a vezérlőegység kimenete a T1 kollektora, ez a tekercs 85-ös kapcsára csatlakozik.

27.3.3. Definíciók

Definíció. Low-side kapcsolás: a kapcsoló félvezető (tranzisztor) a fogyasztó és a test (31) között áll; bekapcsoláskor a fogyasztó alsó, test felőli végét zárja a testre. A fogyasztó másik kivezetése a táphoz (például 15 vagy 30) csatlakozik.

Definíció. High-side kapcsolás: a kapcsoló félvezető a tápfeszültség és a fogyasztó között áll; bekapcsoláskor a fogyasztó felső, tápfelőli végét köti a tápra, a fogyasztó másik vége pedig közvetlenül testre kötött.

Definíció. Szabadonfutó dióda: induktív terheléssel (relétekercs, mágnesszelep) párhuzamosan, záróirányban kötött dióda. Kikapcsoláskor utat ad az induktivitásban tárolt áramnak, és megakadályozza a nagy feszültségcsúcsot.

Definíció. Polaritásvédelem: a tápfeszültség bemenettel sorba kötött dióda, amely helyes polaritásnál nyit, fordított bekötésnél zár, így a védett áramkörre nem jut káros feszültség.

27.3.4. Felépítés és működés

27.3.4.1. Diódák a jármű kapcsolásaiban

A dióda egyirányú áramvezető: nyitóirányban az áram a P-rétegtől az N-réteg felé folyik, és a nyitófeszültség szilíciumdiódánál jellemzően 0,5–0,8 V közé esik. A járművillamosságban három szerep a leggyakoribb.

1. **Egyenirányítás.** A generátorban a háromfázisú váltakozó feszültséget hat diódából álló híd egyenirányítja. A diódák a pozitív félhullámot a B+ kapocsra, a negatív félhullámot a testre engedik.
2. **Szabadonfutó dióda.** Amikor egy tranzisztor kikapcsol egy relétekercset vagy mágnesszelepet, a tekercs önindukciója az áramot fenn akarja tartani. A dióda nélkül a kollektoron nagyon rövid, nagy feszültségű csúcs keletkezhetne, amely tönkreteheti a tranzisztort. Kikapcsoláskor a tekercs árama a szabadonfutó diódán át záródik, így a kollektoron a feszültség csak a tápfeszültség + kb. 0,7 V-ig emelkedik.
3. **Polaritásvédelem.** Sorba kötött diódával megvédhetjük a készüléket, ha valaki fordítva köti be az akkumulátort vagy egy csatlakozót. Hátránya a kb. 0,7 V feszültségesés és a nagy áramú körökben a veszteségi hő, ezért nagyteljesítményű körökben inkább p-csatornás MOSFET-es védelmet vagy más megoldást használnak.

27.3.4.2. Zener-dióda: feszültségkorlátozás

A Zener-dióda záróirányban egy meghatározott, gyártásilag beállított letörési feszültség (U_Z) felett vezetni kezd. A járműelektronikában elsősorban feszültségkorlátozásra és referenciafeszültség előállítására használják. Például egy vezérlőegység analóg bemenetét szenzorcsatlakozónál 5,6 V-os vagy hasonló Zener-diódával lehet védőkötni a véletlenül odakerülő töltőfeszültség ellen (ellenőrizendő: az adott kapcsolás gyártói adatai). Amíg a bemeneti feszültség a letörési feszültség alatt van, a Zener gyakorlatilag nem avatkozik be; amikor eléri a küszöböt, az áramot a test felé vezetve igyekszik a feszültséget a U_Z környékén tartani.

27.3.4.3. Tranzisztoros végfokok: low-side és high-side

A tranzisztor a motorvezérlőkben, komfort- és világításvezérlőkben elsősorban **vezérelt kapcsolóként** működik, nem pedig erősítőcélú üzemmódban. Lezárt állapotban csak a maradékáram folyik, telítésben pedig a kollektor–emitter (vagy drain–source) feszültségesés nagyon kicsi. Ezért a kapcsolóüzemi melegedés elfogadható marad.

Low-side kapcsolás. Az NPN-tranzisztor vagy n-csatornás MOSFET emittere (source) a testen van, kollektora (drain) pedig a fogyasztón keresztül a tápfeszültségre kötött. Nyugalmi állapotban a kimenet a fogyasztón keresztül a táp közelébe emelkedik, bekapcsolt állapotban a test közelébe esik. A vezérlőjel a bázisra (gate-re) 0,7 V (illetve a MOSFET küszöbfeszültsége)

felett kerül. Az áramkör egyszerű és olcsó, de a fogyasztó egyik kivezetése mindig táp alatt van, ezért testzárlat esetén a fogyasztó bekapcsolhat.

High-side kapcsolás. A PNP-tranzisztort vagy p-csatornás MOSFET-et a táp és a fogyasztó közé kötik. A fogyasztó másik vége közvetlenül testre kerül. Bekapcsoláskor a kimenet a táp közelébe emelkedik. A high-side kimenet előnye, hogy kikapcsolt állapotban a fogyasztó és a hozzá vezető kábel feszültségmentes; ha a kábel testzárlatos, a fogyasztó nem kapcsol be magától, legfeljebb bekapcsoláskor rövidzárlati áram indul, amelyet a végfok rövidzárvédelme lekapcsol. Sok modern vezérlőegység high-side intelligens végfokai áramérzékeléssel, túlmelegedés- és rövidzárvédelemmel rendelkeznek.

PWM-vezérlés. A tranzisztort nagy frekvencián ki-be kapcsolgatva a fogyasztó átlagos feszültsége a kitöltési tényezővel arányos:

$$U_{\text{átlag}} = D \cdot U_{\text{táp}},$$

ahol D a bekapcsolt idő aránya ($0 \le D \le 1$). Ellenállásterhelésnél az effektív feszültség:

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{táp}} \sqrt{D}.$$

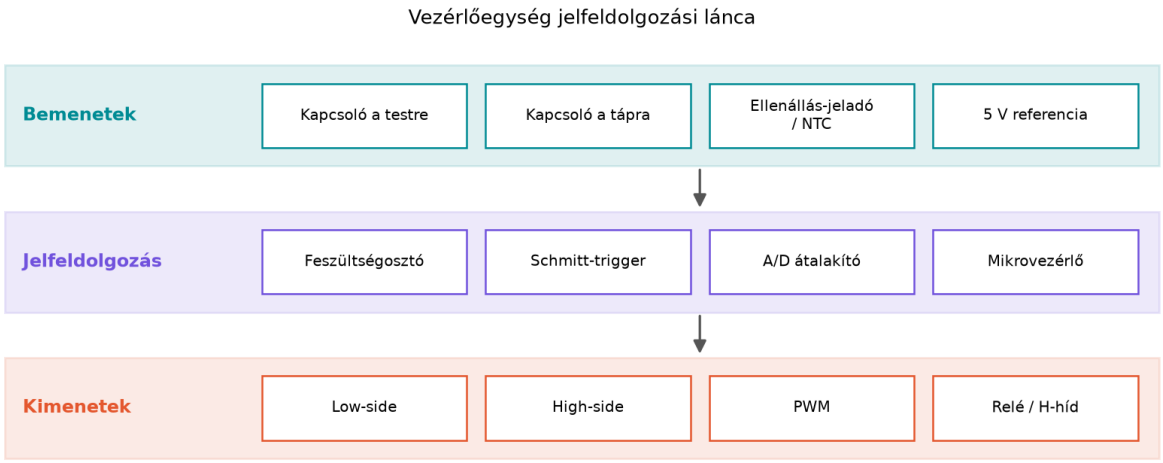
PWM-mel vezérlik például a fűtőventilátor, az üzemanyag-szivattyú modulált üzemét, a LED-es nappali fény tompítását és az elektromos kormányrásegítés teljesítményfokozatait.

27.3.4.4. Tirisztorok a járművillamosságban

A tirisztor reteszelő kapcsoló: gyújtóimpulzussal bekapcsol, és mindaddig vezet, amíg az áram a tartóáram alá nem esik. Egyenáramú körben csak árammegszakítással lehet kikapcsolni, ezért a mai járművillamosságban ritka; a régi kondenzátorkisütéses (HKZ / CDI elvű) gyújtásokban kapott szerepet, ahol a kondenzátor kisütését vezérelte a gyújtótekercscsel. A korszerű gyújtások ezt már tranzisztoros vagy MOSFET-es végfokokkal oldják meg.

27.3.4.5. Vezérlőegység bemenetei és kimenetei

Egy ECU felépítését leegyszerűsítve három rétegként érdemes nézni:



27.9. ábra. Vezérlőegység jelfeldolgozási lánca - Szemléltető rétegábra; a tényleges ECU felépítés és a beavatkozók típusa a gyártó dokumentációja szerint ellenőrizendő.

A **bemeneti fokozat** leggyakoribb formái:

- **Kapcsoló a testre:** a kapcsoló (például ajtónyitó, féklámpakapcsoló) a vezérlőegység bemenetét a testre zárja. Az ECU-ban egy felhúzó ellenállás (R_{up}) a bemenetet a belső tápfeszültségre, például 5 V-ra emeli nyugalmi állapotban. Amikor a kapcsoló zár, a bemenet a test felé húzódik. A mikrovezérlő a feszültségszintből ismeri fel az állapotot.
- **Kapcsoló a tápra:** ebben az esetben a kapcsoló a bemenetet a 12 V-os táphoz zárja. Az ECU feszültségosztóval (például 2:1 arányú) csökkenti a jelet, hogy az a mikrovezérlő biztonságos tartományába kerüljön. Az 5 V-os referenciafeszültség és a feszültségosztó a motorirányítás érzékelőinél is visszatér majd.
- **Analóg érzékelők:** például hőmérséklet-érzékelő (NTC) vagy potenciométer jelét feszültségosztóval alakítják át, majd analóg-digitális átalakító dolgozza fel.

A **kimeneti fokozat** lehet közönséges tranzisztor, intelligens MOSFET, relés kimenet vagy PWM. Az ECU gyakran nem kapcsol közvetlenül nagy fogyasztókat, hanem egy relét húz be, ahogy a fenti kapcsolási vázlaton is látható. A relés kimenet galvanikusan leválasztja a vezérlőegységet a nagy áramú áramkörtől, és a meghibásodás egyszerűbben diagnosztizálható.

27.3.5. Kidolgozott példák

Példa 1. LED előtét-ellenállás méretezése. Egy jármű LED-es belső világítást kap. A LED nyitófeszültsége $U_F = 2{,}1\,\text{V}$, üzemi árama $I_F = 20\,\text{mA}$. Számítsuk ki az előtét-ellenállást $U_{\text{táp}} = 14{,}4\,\text{V}$ töltési feszültségnél!

Megoldás. Az ellenállásra jutó feszültség $U_R = U_{\text{táp}} - U_F$. Ohm-törvényből:

$$R = \frac{U_{\text{táp}} - U_F}{I_F} = \frac{14{,}4 - 2{,}1}{0{,}020} = 615\,\Omega.$$

A szabványos ellenállássorból $620\,\Omega$ választható. Az ellenállás teljesítménye:

$$P_R = I_F^2 R = 0{,}020^2 \cdot 620 \approx 0{,}25\,\mathrm{W}.$$

Legalább 0,5 W névleges terhelhetőségű alkatrészt válasszunk, mert a járműben magasabb feszültség és hőmérséklet is előfordulhat. ∎

Példa 2. PWM-jel átlagfeszültsége és teljesítménye. Egy ECU egy fűtőventilátor ellenállását PWM jellel, $U_{\text{táp}} = 14{,}0\,\mathrm{V}$ mellett $D = 0{,}35$ kitöltési tényezővel kapcsolja. A fogyasztó ellenállása $R = 3\,\Omega$. Határozzuk meg az átlagfeszültséget, az effektív feszültséget és az átlagos teljesítményt!

Megoldás. Az átlagfeszültség:

$$U_{\text{átlag}} = D\,U_{\text{táp}} = 0{,}35 \cdot 14{,}0 = 4{,}9\,\mathrm{V}.$$

Az effektív feszültség ellenállásterhelésnél:

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{táp}}\sqrt{D} = 14{,}0\sqrt{0{,}35} \approx 8{,}28\,\mathrm{V}.$$

Az átlagos teljesítményt az effektív feszültségből számoljuk:

$$P_{\text{átlag}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{8{,}28^2}{3} \approx 22{,}9\,\mathrm{W}.$$

Ellenőrzésképp: ha a kapcsoló ideálisan zár, a csúcsteljesítmény $14^2/3 \approx 65{,}3\,\mathrm{W}$, és a PWM átlag ezt a D aránnyal csökkenti, tehát $65{,}3 \cdot 0{,}35 \approx 22{,}9\,\mathrm{W}$. Az egyezés nagyságrendileg helyes. ∎

27.3.6. Minőségellenőrzés

A félvezetős kapcsolások ellenőrzésekor mindig a kapcsolási rajz, a gyártói javítási utasítás és a biztonsági előírások az irányadók. Általános mérési fogások:

- **Diódavizsgálat multiméterrel.** A multiméter dióda-tartományában a nyitóirányú feszültségesést mérjük: szilíciumdiódánál tipikusan 0,5–0,8 V. Záróirányban a készülék „OL” vagy szakadás jelzést mutathat. A Zenerdióda nyitóirányban ugyanúgy mérhető; záróirányban a U_Z alatt szakadás, felette letörés mérhető, de ehhez megfelelő feszültségű és áramkorlátos mérőberendezés kell.
- **Tranzisztor gyorsteszt.** Bipoláris tranzisztornál a bázis–emitter és bázis–kollektor átmenetek egy-egy diódaként viselkednek. A kollektor–emitter szakasznak mindkét irányban szakadást kell mutatnia (a beépített védődiódás típusoknál az egyik irányban diódaesést).
- **Low-side kimenet feszültségmérése.** Nyugalomban a kimeneti kapocs a fogyasztón keresztül a táp közelébe kerül. Kapcsolási parancs után a telítéses feszültségesésnek kicsinek (például 0,2–0,5 V) kell lennie; ha jelentősen magasabb, a tranzisztor nem telít, a terhelés vagy a végfok hibás.
- **High-side kimenet feszültségmérése.** Nyugalomban a kapocs a testhez közel van, bekapcsolva a táphoz közeli értékre emelkedik. A tápfeszültség és a kimenet közti különbség a kapcsolóelem feszültségesése.
- **PWM-jel vizsgálata.** Oszcilloszkóppal mérjük a kapcsolási frekvenciát, a periódusidőt és a bekapcsolt időt. A kitöltési tényező: $D = t_{\text{be}}/T$. Egyszerű átlagmérő multiméter csak tájékoztató értéket ad.

Ellenőrzőlista.

1. Rajz alapján azonosítsd, hogy a fogyasztó low-side vagy high-side kapcsolást kap.
2. Mérés előtt ellenőrizd a tápfeszültséget és a biztosítékot.
3. Kapcsolási parancsra figyeld a vezérlőegység kimenetét; ne terheld fölöslegesen.
4. Induktív terhelésnél ellenőrizd a szabadonfutó dióda jelenlétét és polaritását.
5. A javítás után ellenőrizd a teljes funkciót, és töröld a hibakódot, ha releváns.

27.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: a klímakompresszor nem kapcsol be, a belső ventilátor jár, a hűtőventilátor nem indul. A diagnosztikai műszer a motorvezérlőben „klímakompresszor relé – szakadás” hibakódot tárol.

Vizsgálat. A kapcsolási rajz szerint az ECU egy low-side kimenettel húz egy relét. A gyújtást bekapcsolva a relétekercs táp oldalán a gyártói adat szerint megvan a feszültség. Az ECU kimeneti kapcsán nyugalomban 12,5 V mérhető, mert a nem vezető tranzisztoron keresztül a tekercs felé csak a mérőműszer kis árama folyik. A klímakapcsoló bekapcsolása után az ECU kimenetnek 0,2–0,5 V közelébe kellene esnie, de a műszer 11,8 V-ot mutat. A relé tehát nem húz, mert a végfok nem zárja a kört a testre. A kábelköteg és a csatlakozó átvizsgálása után a hiba az ECU kimeneti tranzisztorának szakadására utal.

Javítás. A vezérlőegységet a gyártói javítási utasítás szerint kell mérni és cserélni vagy szakszervizben javíttatni. Nem szabad a kimenetet egyszerűen testre kötve „kipróbálni”, mert az a végfok további sérüléséhez vezethet. A teljes rendszer ellenőrzése után a hibakódot törölni kell, és a klímát működés közben ellenőrizni.

Tanulság. A kimeneten mért feszültség és a végfok tényleges kapcsolása két külön kérdés; a low-side kimenet nyugalmi 12 V-ja nem jelenti azt, hogy az áramkör zárt.

27.3.8. Tipikus hibák

1. **Hiba:** A low-side kimenetet működő vezérlőegységnél közvetlenül testre kötik, hogy „kipróbálják, van-e táp”. **Helyes:** a kimenetet csak a gyártói eljárás szerint, megfelelő mérőeszközzel, terhelés nélkül vagy az előírt terheléssel szabad vizsgálni; a rövidzár megölheti a tranzisztort.
2. **Hiba:** A diódát az induktív terheléssel párhuzamosan, fordított irányban kötik be. **Helyes:** a szabadonfutó diódát úgy kell bekötni, hogy normál üzemben záróirányban legyen; ellenkező esetben már bekapcsoláskor rövidzárat okoz.
3. **Hiba:** LED-et előtét-ellenállás nélkül kötnek a járműhálózatra. **Helyes:** mindig ki kell számolni a soros ellenállást a legnagyobb töltési feszültségre, és ellenőrizni az ellenállás teljesítményét, különben a LED tönkremegy.
4. **Hiba:** A PWM-jelet hagyományos átlagmérő multiméterrel mérik, és az eredményt tényleges effektív feszültségként értelmezik. **Helyes:** oszcilloszkóppal vagy megfelelő műszerrel kell mérni, és a fogyasztó jellegének megfelelően kiszámolni az átlagos vagy effektív értéket.

27.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy low-side kapcsolásnál a fogyasztó a tápfeszültség és a tranzisztor között van?
2. Számítsd ki egy PWM-jel átlagfeszültségét, ha $U_{\text{táp}} = 12\,\text{V}$ és $D = 0{,}25$!
3. Mi a feladata a szabadonfutó diódának egy relétekercsen?
4. A Zener-dióda nyitóirányban úgy viselkedik, mint egy normál szilíciumdióda?
5. A fenti kapcsolási vázlat alapján mi történik, ha a T1 tranzisztor kollektor–emitter átmenete szakad?
6. Mi a hiba ebben a gondolatmenetben? „A vezérlőegység kimenetén nyugalomban 12 V-ot mértem, kapcsolás után is 12 V-ot, tehát a kimenet jól kapcsol.”

27.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Magyarázd el, miért véd a sorba kötött dióda a fordított polaritás ellen, és mi a fő hátránya a nagyteljesítményű körökben.

2. feladat (A). Egy LED-es jelzőlámpa LED-je $U_F = 3{,}2\,\text{V}$ nyitófeszültségű, üzemi árama $15\,\text{mA}$. A járműhálózat legnagyobb üzemi (töltési) feszültsége $14{,}4\,\text{V}$. Számítsd ki a szükséges előtét-ellenállást és annak minimális teljesítményét!

3. feladat (B). Egy low-side kapcsolású fűtőbetét ellenállása $R = 6\,\Omega$, a tápfeszültség $13{,}5\,\text{V}$, a telítéses tranzisztor feszültségesése $U_{CE(\text{sat})} = 0{,}3\,\text{V}$. Számítsd ki a betét áramát és a rajta hővé alakuló teljesítményt!

4. feladat (B). Egy PWM-kimenet $D = 0{,}4$ kitöltési tényezővel, $U_{\text{táp}} = 14\,\text{V}$ mellett egy ellenállásterhelést kapcsol. Számítsd ki az átlagfeszültséget, az effektív feszültséget és az átlagos teljesítményt, ha a terhelés ellenállása $R = 5\,\Omega$!

5. feladat (C). Hasonlítsd össze a low-side és high-side kapcsolást abból a szempontból, hogy mi történik, ha a fogyasztó test felőli oldalán (vagy a kábelen) testzárlat keletkezik.

6. feladat (D). Egy relétekercs ellenállása $87\,\Omega$, a relé tápoldalán gyújtáskapcsolás után $12{,}4\,\text{V}$ mérhető. A vezérlőegység kimeneti kapcsa nyugalomban $12{,}1\,\text{V}$, bekapcsoláskor $10{,}7\,\text{V}$. A relé nem húz. Elemezd a mérési értékeket, és határozd meg a legvalószínűbb hibát, valamint a szükséges további méréseket!

27.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A low-side fogyasztó egyik vége a tápra, másik vége a tranzisztor kollektorára (drainjére) csatlakozik; az emitter (source) a testen van.
2. $U_{\text{átlag}} = D\,U_{\text{táp}} = 0{,}25 \cdot 12 = 3{,}0\,\text{V}$.
3. A szabadonfutó dióda záróirányban párhuzamos a tekercscsel; kikapcsoláskor utat ad a tekercs áramának, és levezeti az önindukciós feszültségcsúcsot.
4. **Igaz:** a Zener nyitóirányban hagyományos diódaként viselkedik, záróirányban viszont a letörési feszültségénél vezet.
5. A K1 relétekercs árama sohasem tud záródni, ezért a relé nem húz be, az E1 izzó nem kap tápot a K1 érintkezőjén át.
6. A folyamatos 12 V azt jelenti, hogy a low-side tranzisztor **nem** zárja a kört a testre; ez a végfok vagy annak vezérlési hibájára utal. A kimenetnek kapcsoláskor a test közelébe kellene esnie.

1. feladat megoldása. Helyes polaritásnál a dióda nyitóirányú, a rajta eső feszültség kb. 0,7 V. Fordított polaritásnál a dióda záróirányban van, ezért megakadályozza a káros áram kialakulását. Hátránya a folyamatos nyitóirányú feszültségesés és az ebből adódó $P = UI$ melegedés, ami nagy áramú körökben számottevő veszteséget okoz.

2. feladat megoldása. Az ellenállásra jutó feszültség:

$$U_R = 14{,}4 - 3{,}2 = 11{,}2\,\mathrm{V}.$$

Az ellenállás:

$$R = \frac{11{,}2}{0{,}015} = 747\,\Omega,$$

ami a szabványos 750 Ω-os értékkel közelíthető; ezzel az áram 14,9 mA lesz (a névleges 15 mA alatt), ami megfelelő. A teljesítmény:

$$P = 0{,}0149^2 \cdot 750 \approx 0{,}17\,\mathrm{W}.$$

Legalább 0,25 W-os, de inkább 0,5 W-os ellenállást használjunk. ∎

3. feladat megoldása. A fűtőbetétre jutó feszültség $U_R = U_{\text{táp}} - U_{CE(\text{sat})} = 13{,}5 - 0{,}3 = 13{,}2\,\mathrm{V}$. Az áram:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{13{,}2}{6} = 2{,}2\,\mathrm{A}.$$

A betét teljesítménye:

$$P = I^2 R = 2{,}2^2 \cdot 6 = 29{,}0\,\mathrm{W}.$$

A tranzisztoron hővé alakuló teljesítmény $P_T = U_{CE} \cdot I = 0{,}3 \cdot 2{,}2 = 0{,}66\,\mathrm{W}$, ami a kapcsolóüzemi előny: a fogyasztó teljesítménye jóval nagyobb, mint a kapcsoló vesztesége. ∎

4. feladat megoldása. Az átlagfeszültség:

$$U_{\text{átlag}} = 0{,}4 \cdot 14 = 5{,}6\,\mathrm{V}.$$

Az effektív feszültség:

$$U_{\text{eff}} = 14\sqrt{0{,}4} \approx 8{,}85\,\mathrm{V}.$$

Az átlagos teljesítmény:

$$P_{\text{átlag}} = \frac{8{,}85^2}{5} \approx 15{,}7\,\mathrm{W}.$$

Ellenőrzés: a csúcsteljesítmény $14^2/5 = 39{,}2\,\mathrm{W}$, ezt $D = 0{,}4$-gyel szorozva 15,68 W, tehát a számítás helyes. ∎

5. feladat megoldása. Low-side kapcsolásnál a fogyasztó táp felőli oldala mindig a táphoz kötött, a tranzisztor csak a test felőli oldalt zárja. Ha a fogyasztó test felőli oldalán vagy annak kábelén testzárlat keletkezik, a fogyasztó a tranzisztor nélkül is bekapcsolhat. High-side kapcsolásnál a fogyasztó test felőli oldala gyárilag testelt, és a tranzisztor a táp felől kapcsol; ha a fogyasztó felőli kábel testzárlatos, az áram a védelmen keresztül záródik, és a vezérlőegység rövidzárvédelme leállíthatja a végfokot. Ezért a high-side kimenet kedvezőbb lehet a testzárlattal szembeni védelemben.

6. feladat megoldása. A relétekercs ellenállása $87\,\Omega$, a tápfeszültség $12{,}4\,\mathrm{V}$. Ha a tekercs teljes feszültséget kapna, az áram:

$$I = \frac{12{,}4}{87} \approx 0{,}143\,\mathrm{A}.$$

A mért kimeneti feszültség bekapcsolt állapotban $10{,}7\,\mathrm{V}$, tehát a tranzisztoron nem a telítéses 0,2–0,5 V, hanem kb. $10{,}7\,\mathrm{V}$ esik. Ez azt jelenti, hogy a tranzisztor csak részben nyit, vagy a vele soros ág nagy ellenállású (szakadt kötés, kontaktushiba). A tekercs árama a mért feszültségkülönbségből:

$$I_{\text{tekercs}} = \frac{12{,}4 - 10{,}7}{87} \approx 0{,}0195\,\mathrm{A},$$

ami túl kicsi a relé behúzásához. A legvalószínűbb hiba a vezérlő bázisjelének hiánya/gyengesége, a tranzisztor nem telített állapota, vagy a kimenet és a test közötti nagy ellenállású kontaktus. Tovább kell mérni a tranzisztor bázisának vezérlőjelét, a testcsatlakozást és a vezérlőegység csatlakozóját, valamint a kimeneti kapocs érintkezését. ∎

27.3.12. Rövid összefoglaló

A jármű elektronikus rendszereinek kapcsolási rajzain a dióda elsősorban egyenirányításra, szabadonfutó védelemre és polaritásvédelemre szolgál. A Zener-dióda a letörési feszültségénél feszültséget korlátoz. A tranzisztor a vezérlőegységekben általában kapcsolóüzemben dolgozik: low-side típusnál a fogyasztó után, high-side típusnál a fogyasztó előtt szakítja meg az áramkört. A PWM-vezérlés a bekapcsolási hányaddal átlagol: $U_{\text{átlag}} = D\,U_{\text{táp}}$, ellenállásterhelésnél $U_{\text{eff}} = U_{\text{táp}}\sqrt{D}$. A vezérlőegységek bemenetei felhúzó ellenállással, feszültségosztóval és referenciafeszültséggel dolgoznak, kimeneteik pedig relét, low-side vagy high-side tranzisztort, illetve PWM jelet vezérelhetnek. **Továbbvitt eredmény.** A be- és kimeneti fokozatok felismerése a(z) Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés, a(z) A motorirányítás alapjai és a(z) Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet alfejezetekben szükséges. A méréseket mindig a gyártói kapcsolási rajz és javítási utasítás szerint végezzük; a vezérlőegység kimeneteit tilos rövidre zárni.

27.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: félvezető-gyártói adatlapok (dióda nyitófeszültség, Zener-letörési feszültség, tranzisztor $U_{CE(\text{sat})}$ és kapcsolási idők), járműgyártói kapcsolási rajzok és javítási utasítások, MSZ EN 60617 / IEC 60617 szerinti rajzjelek, DIN 72552 szerinti kapocsjelölések. A fejezetben szereplő konkrét feszültségértékek (LED nyitófeszültség, Zener-küszöb, telítési feszültség) és a PWM-példák **tanulási példák**; a tényleges értékek az adott alkatrész és jármű gyártói adatai szerint ellenőrizendők. Az ECU be- és kimeneti fokozatainak felépítése típusonként eltérhet; az ellenőrzési igényt a szövegben jeleztem.

28 Villamosenergia-ellátás

28.1. Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés

28.1.1. Miért kell pontosan ismernünk az indítóakkumulátort?

Egy hideg téli reggelen az ügyfél azt panaszolja: „Elfordítom a kulcsot, csak kattog, és a műszerfal is elsötétül.” A műhelyben az első lépés az akkumulátor állapotának felmérése. Ha rosszul választjuk ki az új akkumulátort, a jármű télen megbízhatatlan, a start-stop rendszer hibát jelez, vagy a generátor és az elektronika terhelése megnő. Ha rosszul töltjük, a fejlődő durranógáz robbanhat, a sav sérülést okoz. Ezért az indítóakkumulátor felépítését, adatait, kiválasztási és töltési szabályait pontosan kell ismernünk.

28.1.2. Szemléletes kép: mit látunk az akkumulátoron és benne?

Képzelj el egy hatkamrás műanyag dobozt, amelynek tetején két pólus van: a pozitív (30 jelű kapocs) és a negatív (31/test). A dobozban hat darab, sorba kötött cella van; mindegyikben ólom (Pb) alapú negatív lemezek és ólom-dioxid (PbO_2) pozitív lemezek váltakoznak, közöttük porózus szeparátor, és az egészet híg kénsavas elektrolit járja át. Mindegyik cella nyugalmi feszültsége kb. 2,1 V, a hat cella soros kapcsolása adja a 12 V-os fedélzeti feszültséget. A cellák fölött gázelvezető csatornák vannak; a szelepes, gondozásmentes kivitelekben a gáz nyomása kis szelepen keresztül szabályozottan távozhat.

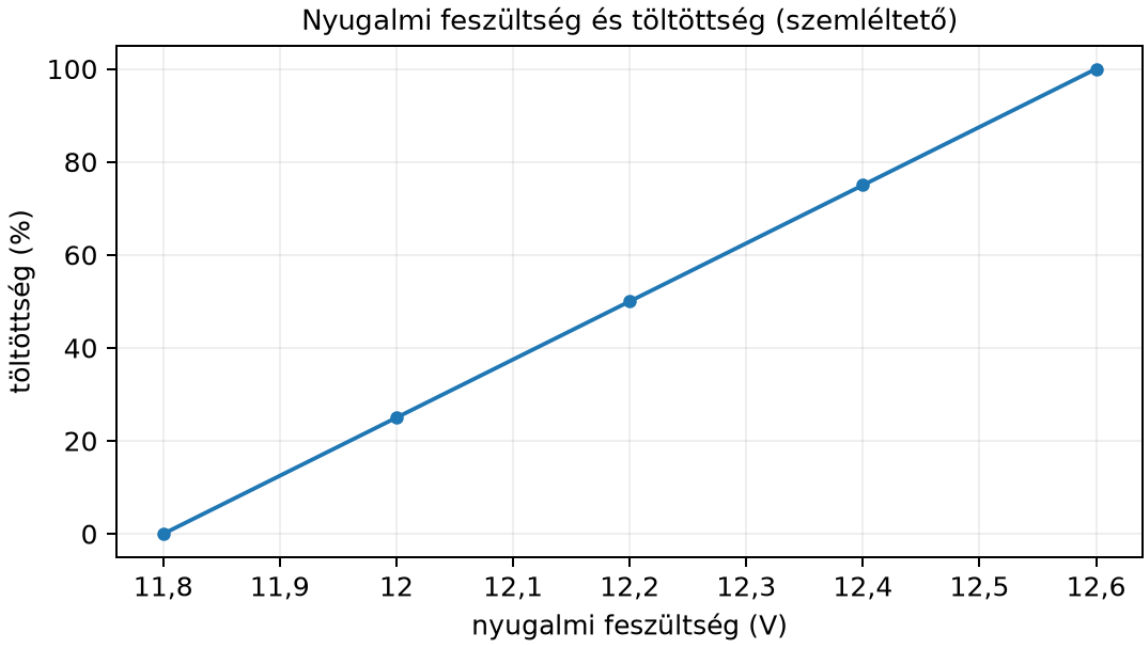
28.1.3. Alapfogalmak és jellemző adatok

Definíció. Az **indítóakkumulátor** (starter akkumulátor, „savas ólomakkumulátor”) nagy hidegindító áram leadására tervezett, hatcellás, névlegesen 12 V-os ólomakkumulátor, amely a belső égésű motor indításához, valamint a jármű villamos fogyasztóinak ellátásához tárol energiát.

Definíció. A **névleges kapacitás** (C_{20}, mértékegysége amperóra, Ah) azt a töltésmennyiséget adja meg, amelyet a teljesen töltött akkumulátor húsz óra alatt, állandó árammal kisütve lead, miközben a cellafeszültség nem csökken a megadott kisütési zárófeszültség alá. A szokásos jelölés például „70 Ah”, ami 20 órás kisütésre vonatkozik.

Definíció. A **hidegindító áram** (hidegindítási áram) azt a legnagyobb áramot jelenti, amelyet az akkumulátor hideg körülmények között rövid ideig képes leadni. Az európai EN szabvány szerint (EN 50342-1) a mérés jellemzően –18 °C-on történik: az akkumulátornak meghatározott ideig adott áramot kell leadnia, miközben a kapocsfeszültség nem eshet egy előírt zárófeszültség alá (gyakori példaérték: 10 s-ig, minimum 7,5 V – ellenőrizendő: az aktuális szabvány szerinti érték). Az adattáblán például „540 A (EN)” jelölés szerepel.

A nyugalmi feszültség és a töltöttségi szint összefüggése hozzávetőlegesen az alábbi (szemléltető, szobahőmérsékletű, legalább 4–12 óra pihentetés utáni, egészséges akkumulátorra):



28.1. ábra. Nyugalmi feszültség és töltöttség (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor; a pontos értékek a gyártói és az EN 50342-1 szerinti adatoktól függenek.

A grafikon szemléltető, szobahőmérsékletű, legalább 4–12 óra pihentetés utáni, egészséges akkumulátorra vonatkozik, és nem lineáris pontosságú; rendszerint 12,6 V fölött az akkumulátor teljesen töltött, 12,2 V körül kb. 50%-os, 12,0 V körül kb. 25%-os, 11,8 V alatt pedig gyakorlatilag lemerült. Az értékek függenek a hőmérséklettől, a savsűrűségtől és az akkumulátor korától, ezért a gyártói adat mindig elsőbbséget élvez.

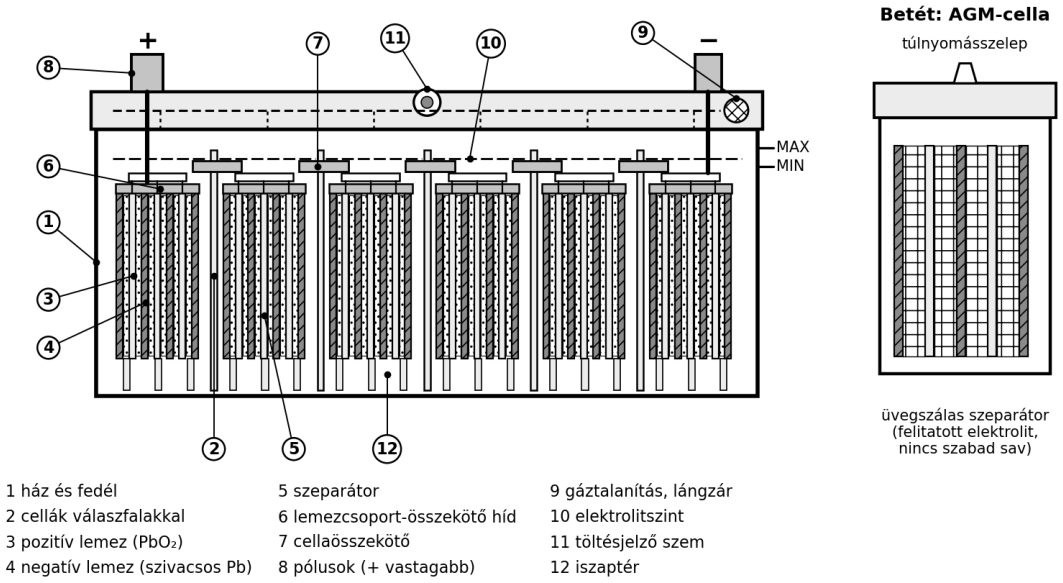
28.1.4. Az ólomakkumulátor kémiai működése

Az Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió alfejezetben láttuk: kisütéskor a negatív ólomlemez és a pozitív ólom-dioxid lemez ólom-szulfáttá alakul, miközben az elektrolit kénsavtartalma csökken és víz keletkezik. Töltéskor a folyamat visszafordul, az elektrolit sűrűsége nő. Az indítóakkumulátorban ez a reakció játszódik le minden egyes cellában.

A cellafeszültség nem állandó: teljesen töltött cella nyugalmi feszültsége kb. 2,1 V, kisütés közben csökken, töltés közben nő, a töltés végén a gázfejlődés miatt emelkedik. A hat soros cella eredő nyugalmi feszültsége tehát kb. $U_{\text{nyug}} = 6 \cdot U_{\text{cella}}$. Ha a cellák savsűrűsége eltér, például víz utánpótlás hiánya vagy zárlat miatt, a cellafeszültségek is eltérnek, és az akkumulátor kapacitása csökken.

28.1.5. A savas ólomakkumulátor felépítése

A hagyományos, **sík-lemezes indítóakkumulátor** celláiban vékony ólomrácsokra hordják fel az aktív anyagot – a negatív lemezen szivacsos ólmot, a pozitív lemezen ólom-dioxidot. A lemezeket bordázott vagy mikroporózus szeparátor választja el, amely megakadályozza a belső rövidzárat, de átengedi az ionokat. Az elektródalemez-kötegek párhuzamosan kapcsolódnak a cellán belül, így a hidegindító áram nagy lehet. A cellákat nehéz, saválló műanyagból készült ház választja el, alul iszapteret képeznek, hogy a lehulló aktív anyag ne zárja rövidre a lemezeket.



28.2. ábra. Az indítóakkumulátor kivágott rajza és egy AGM-cella

A kivágott rajzon a hat sorba kötött cella, a váltakozó pozitív (ólom-dioxid) és negatív (szivacsos ólom) lemezek, a szeparátorok, a lemezcsoport-hidak, a válaszfalon átmenő cellaösszekötők, a pólusok, a központi gáztalanítás lángzárral és alul az iszaptér látható; a betét az AGM-cella üvegszálas, felitatott szeparátorát mutatja.

A **spirálcellás** savas ólomakkumulátor hasonló kémiai elven működik, de a pozitív és negatív lemezeket vékony szalagként, szeparátorral együtt csigaszerűen, hengeres cellákba tekercselik. Ezzel nagyobb felületet pakolnak kis térfogatba, ami nagyobb hidegindító áramot, jobb rezgésállóságot és hosszabb élettartamot eredményezhet. A spirálcellás kivitel elsősorban a mélykisülést és a rázást tűrő kiviteleknél terjedt el; indítóakkumulátornál ritkább, de egyes márkacsaládokban előfordul.

A **gondozásmentes** akkumulátorok lemezeit kalcium-ón ötvözetű rácsra viszik fel, ami csökkenti a vízveszteséget, így az elektrolitot nem kell utántölteni, a fedél labirintusos gázelvezetése és lángzáró betétje pedig visszavezeti a párát és elvezeti a gázt. A szelepszabályozott (VRLA) zárt kivitel az AGM-akkumulátor jellemzője.

28.1.6. AGM és EFB akkumulátorok, start-stop

A modern start-stop rendszerű járművekben a motor gyakran leáll és újraindul, miközben a fogyasztók (klíma, rádió, világítás) továbbra is az akkumulátorból kapnak energiát. Ezért nagyobb ciklusállóságú akkumulátor kell.

Definíció. Az **EFB akkumulátor** (Enhanced Flooded Battery, javított folyékony elektrolitos akkumulátor) olyan ólomakkumulátor, amelyben a folyékony elektrolit mellett megerősített lemezfelépítést, speciális szeparátort és javított aktív anyagot alkalmaznak a nagyobb ciklusszám és a mélyebb kisütés elviselésére. Jellemzően a belépő szintű start-stop rendszerekhez és nagyobb fogyasztási igényű járművekhez használják.

Definíció. Az **AGM akkumulátor** (Absorbent Glass Mat) üvegszálas szeparátorba itatott elektrolitos, szelepes ólomakkumulátor (VRLA – Valve Regulated Lead Acid). Az elektrolit nem folyadék formában, hanem a szeparátorban kötött állapotban van, ezért az akkumulátor nyitott

kivitelnél nem folyik ki, jól bírja a rázkódást, a mélykisülést és a gyakori töltés-kisütés ciklust. Ezeket a járműgyártók a start-stop és visszanyerő (rekuperációs) fékenergiás rendszerekhez, valamint nagyobb energetikai igényű motorokhoz írják elő.

Szabály. A járműbe mindig a gyártó által az adott típushoz, motorhoz és felszereltséghez előírt akkumulátort szabad beépíteni. Start-stop rendszerű járműbe hagyományos, nem EFB/AGM akkumulátor beépítése **nem megengedhető**; a rossz típus gyors lemerülést, hibakódot, komfort- és indítási hibát okozhat.

Az akkumulátor cseréjekor a helyes méret, pólusállás, lábrögzítés is fontos. Az adatok a gyártói javítási útmutatóban, a pótalkatrész-katalógusban vagy a műszaki adatlapon találhatók. A például „12 V 70 Ah 620 A (EN) AGM” felirat jelenti: névleges feszültség, kapacitás, hidegindító áram, technológia.

28.1.7. Nyugalmi feszültség, töltöttség és a belső ellenállás

Az akkumulátor belső ellenállása (r_b) tipikusan néhány milliohm–néhány tíz milliohm. Terheléskor a kapocsfeszültség a belső ellenállás miatt csökken:

$$U_\mathrm{k} = U_0 - I \cdot r_\mathrm{b},$$

ahol U_0 az üresjárati (nyugalmi) feszültség, I a terhelő áram, r_b a belső ellenállás.

Ez a képlet magyarázza, miért esik le a feszültség indításkor. Például ha a nyugalmi feszültség 12,6 V, a belső ellenállás 0,008 Ω, és az önindító 180 A-t vesz fel, a kapocsfeszültség kb. $12{,}6 - 180 \cdot 0{,}008 = 11{,}16\,\mathrm{V}$. Ez a feszültségesés normális; ha a belső ellenállás megnő (öregedés, szulfátosodás, savrétegződés), a feszültség erősebben letörik, és az indítómotor lassan forgat.

A nyugalmi feszültség méréséhez az akkumulátort terhelés nélkül, a motor leállítása után legalább néhány órával, stabil hőmérsékleten kell vizsgálni. A méréshez a gyújtást lekapcsoljuk, a fogyasztókat kikapcsoljuk.

28.1.8. Töltési módok

Az akkumulátor töltésére leggyakrabban három módot használunk; a gyakorlati töltők gyakran kombinálják ezeket.

- **Állandó áramú töltés** (I-töltés): a töltő egy előre beállított áramot tart fenn. Az áram tipikusan a névleges kapacitás tizede ($0{,}1 \cdot C_{20}$), így 70 Ah-hoz 7 A. A feszültség a töltés előrehaladtával emelkedik; ha túl magasra hagyjuk, gázfejlődés és vízveszteség indul.
- **Állandó feszültségű töltés** (U-töltés): a töltő egy maximális feszültséget (személyautónál gyakran 14,4–14,8 V, hőmérséklettől és akkutípustól függően – ellenőrizendő: gyártói adat) tart. A töltő áram a feszültségkülönbség csökkenésével magától csökken.
- **IU-jelleggörbe**: a töltő először állandó árammal tölt, amíg a feszültség eléri a beállított felső határt, majd átvált állandó feszültségű üzemmódra, ahol az áram fokozatosan lecseng. A modern intelligens töltők ezt az IU, majd fenntartó (csepptöltő) üzemmódot valósítják meg.

Fagyott akkumulátort tilos tölteni; előbb szobahőmérsékletre kell melegíteni, és szemrevételezni kell (repedés, savszivárgás).

A gyorstöltés nagyobb árammal (pl. 20–40 A) csak rövid ideig, ellenőrzött feszültséghatárokkal és a gyártó engedélyével alkalmazható. AGM akkumulátort csak arra alkalmas, a felső feszültséget pontosan korlátozó töltővel szabad tölteni; a hagyományos, magas végfeszültségű gyorstöltő tönkreteszi az AGM cellákat.

28.1.9. Kiválasztás és regisztrálás az energiamenedzsmentben

Az akkumulátor kiválasztásakor a következő adatokat kell egyeztetni a jármű követelményeivel:

- névleges feszültség (személyautó: 12 V),
- kapacitás (C_{20} Ah-ban),
- hidegindító áram (EN, A),
- méret, póluselrendezés, rögzítés,
- technológia: hagyományos (gondozásmentes), EFB vagy AGM,
- a jármű gyártójának specifikációja.

A modern járművek fedélzeti energiamenedzsmentje (BEM – Battery Energy Management) érzékeli az akkumulátor állapotát, a hőmérsékletét, a töltöttségét és a belső ellenállását. Új akkumulátor beépítése után a jármű elektronikájába regisztrálni kell a csere tényét és az új akkumulátor adatait – diagnosztikai műszerrel, a gyártó által előírt eljárással. Enélkül a vezérlő a régi, elöregedett akkumulátor paramétereivel dolgozik tovább, hibás töltési stratégiát alkalmazhat, és az akkumulátor idő előtt tönkremehet. A regisztrálás nem jelenti az akkumulátor „kódolását”, hanem a fedélzeti hálózat vezérlőjének tájékoztatását (a pontos eljárás márkánként eltér – ellenőrizendő: gyártói előírás).

28.1.10. Biztonság: sav, durranógáz, bikázás

Figyelem. Az ólomakkumulátor elektrolitja híg kénsav. Savfröccsenés a bőrön maró sérülést, szemben súlyos szemsérülést okoz. Az akkumulátor közelében mindig viseljünk saválló védőkesztyűt, védőszemüveget és védőruhát; savas szembe jutáskor azonnal bő vízzel öblítsünk és forduljunk orvoshoz.

Figyelem. Töltés közben – különösen túltöltéskor – az akkumulátor durranógázt (hidrogén–oxigén keverék) fejleszt. Nyílt láng, szikra, forrasztólámpa, cigarettázás, elektromos szikrázás tilos az akkumulátor közelében. A töltőt csak kikapcsolt állapotban szabad rákötni és lekötni, így elkerüljük a szikraképződést.

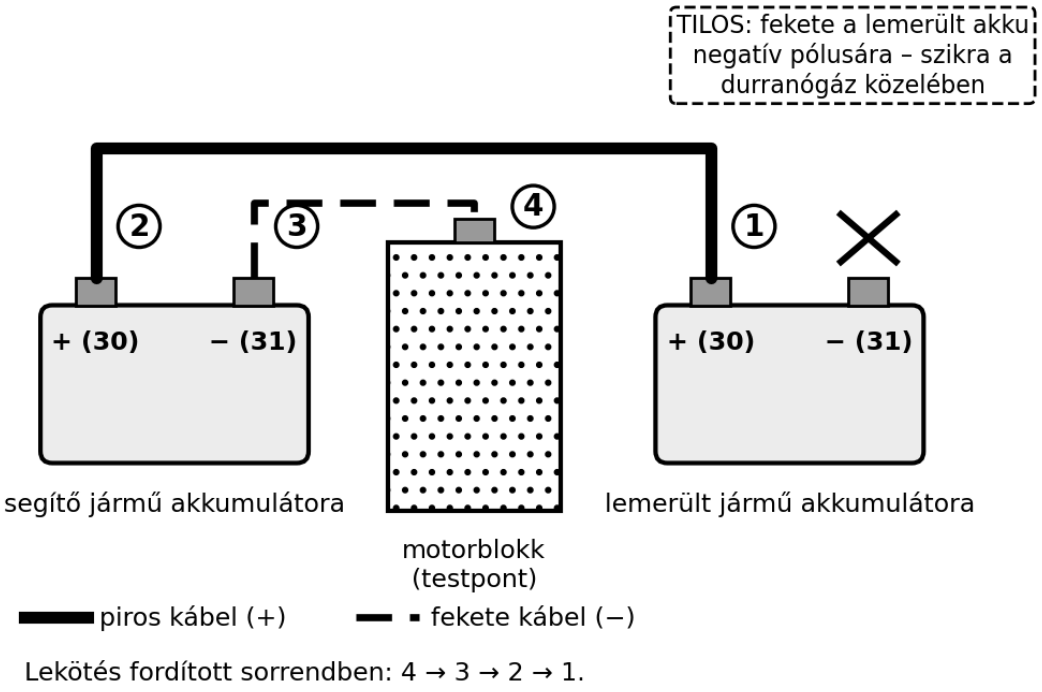
Figyelem. Fagyott, megrepedt vagy savat szivárogtató akkumulátort tilos bikázni vagy tölteni – robbanásveszély; előbb szobahőmérsékletre kell melegíteni és szemrevételezni. Csak azonos névleges feszültségű rendszereket köss össze; mindkét járműben legyen kikapcsolva a gyújtás és a fogyasztók. Ha a gyártó külső indítási pontot (pozitív segédindító csatlakozót, testpontot) jelöl ki, azt használd (ellenőrizendő: kezelési útmutató). Hibrid és elektromos jármű 12 V-os segédindítása csak a gyártói eljárás szerint végezhető; a nagyfeszültségű rendszeren nem végzünk munkát.

Bikázás (segédindítás) sorrendje. A lemerült jármű mellé a segítő járművet úgy kell állítani, hogy az akkumulátorok ne érjenek össze, és a segítő jármű motorja álljon. A csatlakoztatás sorrendje:

1. Piros kábel a lemerült akkumulátor pozitív pólusára (30).

2. Piros kábel a segítő akkumulátor pozitív pólusára.
3. Fekete kábel a segítő akkumulátor negatív pólusára (`31`).
4. Fekete kábel a lemerült járművön a motortest egy jó földelési pontjára, minél távolabb az akkumulátortól – **nem** az akkumulátor negatív pólusára. Ezzel a zárlati szikra nem a durranógáz közelében keletkezik.

A motor beindítása után a kábeleket fordított sorrendben kell lekötni, először a fekete testkábelt, végül a pozitív kábeleket. Az egész folyamat alatt tilos a két jármű karosszériájának összeérni.



28.3. ábra. Segédindítás: a csatlakoztatás sorrendje

Az ábrán a számok a csatlakoztatás sorrendjét jelölik; a piros kábel folytonos vastag, a fekete szaggatott vonal. Az áthúzott jel a tilos bekötési pontot mutatja (a lemerült akkumulátor negatív pólusa). Az interaktív változatban a négy csatlakoztatási és a négy lekötési lépés egyenként léptethető.

28.1.11. Akkumulátor hulladékként

Környezetvédelem. Az elhasznált ólomakkumulátor veszélyes hulladék: ólmot, ólomvegyületeket és kénsavat tartalmaz, ezért nem kerülhet a háztartási hulladékba, csatornába vagy a környezetbe. A műhelyben az elhasznált akkumulátort saválló, zárt edényben, a többi hulladéktól elkülönítve kell tárolni, és hulladékkezelőnek, illetve kötelezően visszaváltó kereskedőnek átadni. A gyűjtést és nyilvántartást a veszélyes hulladékokra vonatkozó hatályos hazai jogszabályok szerint kell végezni (ellenőrizendő: hatályos hulladékjogi szabályozás). Az ólom újrahasznosítható, a sav semlegesíthető; a kereskedelemben elterjedt betétdíjas visszaváltás is ezt segíti.

28.1.12. Kidolgozott példák

Példa (kapacitás értelmezése). Egy akkumulátor adattábláján `70 Ah` szerepel. Mekkora az a kisütő áram, amelynél a 20 órás kisütés pontosan ezt a kapacitást adja?

Adott: $C_{20} = 70\,\text{Ah}$, $t = 20\,\text{h}$. Keresett: I (A). Képlet: $C_{20} = I \cdot t$, tehát $I = C_{20}/t = 70/20 = 3{,}5\,\text{A}$. Válasz: a 20 órás kapacitás 3,5 A állandó árammal mérve 70 Ah. Ez nem jelenti azt, hogy 70 A-t egy órán át le lehet venni – a nagyobb áram hatására a valós kapacitás csökken.

Példa (terhelés alatti feszültségesés). Egészséges akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,6 V, belső ellenállása 0,008 Ω. Indításkor az önindító 180 A-t vesz fel. Számítsuk ki a kapocsfeszültséget.

$$U_{\text{k}} = U_0 - I \cdot r_{\text{b}} = 12{,}6 - 180 \cdot 0{,}008 = 12{,}6 - 1{,}44 = 11{,}16\,\text{V}.$$

Az eredmény 11,2 V körüli, ami még egészséges. Ha a belső ellenállás például 0,02 Ω-ra nő, a kapocsfeszültség $12{,}6 - 3{,}6 = 9{,}0\,\text{V}$; ez már kimondottan gyenge indítást jelez.

Példa (töltési idő becslése). Egy 70 Ah-s akkumulátor 40%-os töltöttségi szinten áll. Becsüljük meg, mennyi idő alatt töltődik fel 85%-ra, ha a töltő állandó 7 A-t tud adni, és a töltési hatásfok 90%.

Töltendő töltés: $Q = 70 \cdot (0{,}85 - 0{,}40) = 70 \cdot 0{,}45 = 31{,}5\,\text{Ah}$.
A ténylegesen bevezetendő töltés a veszteség miatt: $Q_{\text{be}} = 31{,}5/0{,}90 = 35\,\text{Ah}$.
Idő: $t = Q_{\text{be}}/I = 35/7 = 5\,\text{h}$.

Az eredmény 5 óra. A valóságban a töltő a feszültséghatár elérése után csökkenti az áramot, így a teljes feltöltés tovább tart.

28.1.13. Minőségellenőrzés

Az akkumulátor állapotát a műhelyben az alábbi lépésekkel ellenőrizzük:

1. **Szemrevételezés:** repedés, savfolyás, kilyukadás, póluskorrózió, folyadékszint (ha ellenőrizhető).
2. **Nyugalmi feszültség mérése** multiméterrel: 12,6 V fölött teljesen töltött, 12,2 V alatt (kb. 50%) tölteni kell, 11,8 V körül gyakorlatilag lemerült (példaértékek; AGM-nél a gyártói táblázat szerint).
3. **Terheléses vizsgálat** hagyományos terhelővillával vagy elektronikus akkumulátor-teszterrel: a hidegindító áramot a névleges értékkel összevetve, a feszültségletörést mérve. A modern konduktancia-teszter a belső ellenállásból következtet az állapotra.
4. **Töltőrendszer-ellenőrzés:** járó motornál a kapocsfeszültséget mérjük; szabályozott generátornál jellemzően 13,8–14,8 V közötti érték várható (ellenőrizendő: gyártói adat).
5. **Savsűrűség-mérés** (ha a kivitel lehetővé teszi): teljesen töltött cella kb. 1,27–1,28 g/cm³; cellánkénti eltérés nem haladhatja meg a gyártói tűrést.

A mérési eredményeket mindig hasonlítsuk a gyártói javítási adatokhoz; a határértékek példaként szerepelnek.

28.1.14. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Egy ötéves, start-stop rendszerű, dízel személyautó ügyfele azt panaszolja, hogy hideg reggeleken csak lassan forgat az önindító, és a start-stop ritkán aktiválódik. A műhelyben a rendszerteszterrel kiolvassuk a hibakódokat: nincs egyéb diagnosztikai hiba, de az energiamenedzsment alacsony akkumulátor-töltöttséget és nagy belső ellenállást jelez. A nyugalmi feszültség 12,1 V, a terheléses vizsgálat az EN hidegindító áram töredékét mutatja. A generátor feszültsége járó motornál 14,5 V. A 12,1 V-os nyugalmi feszültségnél a terheléses vizsgálat önmagában nem értékelhető: az akkumulátort előbb fel kell tölteni (IU-töltővel), pihentetés után meg kell ismételni a terheléses vagy konduktanciás vizsgálatot, és mérni kell a nyugalmi áramfelvételt is (lásd Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram). Diagnózis: a feltöltött akkumulátor is csak a hidegindító áram töredékét adja, tehát elöregedett, cserélni kell. A gyártó előírása szerint azonos méretű, azonos kapacitású, azonos hidegindító áramú AGM akkumulátort szerelünk be. A cserét követően regisztráljuk az új akkumulátort a jármű energiamenedzsmentjében, töröljük a hibakódokat, és próbautat teszünk: a start-stop ismét üzemel. A tanulság: az akkumulátor adatainak pontos ismerete és a regisztrálás nélkül a hiba csak visszatérne.

28.1.15. Tipikus hibák

Hiba 1. Nagyobb kapacitású akkumulátor beépítése „biztos, ami biztos” alapon. A nagyobb Ah-értékű akkumulátor gyakran nagyobb fizikai méretű, nem illik a rögzítésbe, vagy a töltőrendszer hosszú távon nem tölti megfelelően; a túl nagy kapacitás felesleges súlyt és költséget jelent. A helyes gyakorlat: a gyártói típust és adatot kell követni.

Hiba 2. AGM akkumulátor töltése hagyományos, magas feszültségű gyorstöltővel. Az AGM akkumulátor felső feszültséghatára alacsonyabb, mint a hagyományos folyékony elektrolitosé; a magas feszültség túltölti, a biztonsági szelep kinyit, a kötött elektrolit kiszárad, az akkumulátor tönkremegy. A helyes gyakorlat: AGM módú intelligens töltő alkalmazása.

Hiba 3. Bikázáskor a fekete kábelt a lemerült akkumulátor negatív pólusára kötjük. A zárlati szikra közvetlenül a durranógáz közelében keletkezhet. A helyes gyakorlat: a fekete kábelt a lemerült jármű motortestére, az akkumulátortól távol kell csatlakoztatni.

Hiba 4. Az akkumulátor lekötésekor először a pozitív kábelt oldjuk le. A kulcs a testpont és a pozitív között szikrát húzhat, ha a szerszám közvetlenül a karosszériához ér. A biztonságos sorrend: először a negatív (test) kábelt, utána a pozitívat; visszaszereléskor fordítva.

28.1.16. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a 12 V-os ólomakkumulátor hat darab, sorba kötött cellából áll? Indokold!
2. Egy 80 Ah névleges kapacitású akkumulátort 20 órás kisütéssel vizsgálva mekkora árammal kell kisütni?
3. Miért nem szabad a bikázás fekete kábelét a lemerült akkumulátor negatív pólusára kötni?
4. Mi a különbség az EFB és az AGM akkumulátor között?
5. Egy akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,0 V. Körülbelül mekkora a töltöttségi szintje?
6. Mit jelent az, hogy egy akkumulátor adattábláján `540 A (EN)` szerepel?

28.1.17. Feladatok

1. feladat (A) Magyarázd el, miért éppen hat cellából épül fel a 12 V-os indítóakkumulátor, és mekkora egy cella nyugalmi feszültsége!

2. feladat (A) Egy akkumulátor kapacitása 60 Ah. Számítsd ki, hány órán át tud elvileg 10 A árammal szolgáltatni, ha a kisütési veszteséget elhanyagoljuk!

3. feladat (B) Egy akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,3 V. A gyártói diagram alapján 12,6 V = 100%, 12,4 V = 75%, 12,2 V = 50%, 12,0 V = 25%. Becsüld meg a töltöttségi szintet, és indokold a bizonytalanságot!

4. feladat (B) Egy 70 Ah-s akkumulátor 35%-os töltöttségen áll. Szeretnénk 90%-ra tölteni 7 A állandó árammal. A töltési hatásfok 90%. Hány órát vesz igénybe a töltés elméletileg?

5. feladat (C) Egy indítóakkumulátor belső ellenállása 0,010 Ω. Az önindító bekapcsolásakor 150 A-t vesz fel. Mennyivel csökken a kapocsfeszültség? Ha a nyugalmi feszültség 12,5 V, mekkora lesz a kapocsfeszültség indításkor? Értékeld, hogy egészségesnek tekinthető-e ez az érték!

6. feladat (D) Ügyfél panasza: start-stopos jármű télen nem indítja le a motort, pedig a rendszer aktívnak tűnik. A műhelyben a nyugalmi feszültség 11,9 V, a terheléses vizsgálat a névleges hidegindító áram 40%-át tudja leadni, a generátor feszültsége járó motornál 14,4 V. Vázold fel a hibakeresés lépéseit: mi lehet az ok, mit mérsz, és mi a javítás?

28.1.18. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Egy ólomakkumulátor cella nyugalmi feszültsége kb. 2,1 V; hat cella soros kapcsolása $6 \cdot 2{,}1 = 12{,}6\,\text{V}$, ami a 12 V-os fedélzeti hálózat alapja.
2. $I = C_{20}/t = 80/20 = 4\,\text{A}$. A 20 órás kisütéshez 4 A terhelés kell.
3. Mert a lemerült akkumulátor környezetében hidrogén–oxigén durranógáz lehet, és a zárlati szikra robbanást okozhat. A fekete kábelt a jármű testpontjára, az akkumulátortól távol kell kötni.
4. Az EFB folyékony elektrolitú, de megerősített lemezszerkezetű és nagyobb ciklusállóságú. Az AGM üvegszálas szeparátorba itatott, kötött elektrolitú, szelepes kivitel; jobban bírja a mélykisülést, a rázkódást és a start-stop üzemet.
5. 12,0 V körülbelül 25% töltöttségnek felel meg (a táblázat szerint 25% értéknél 12,0 V van).
6. Az EN szerinti hidegindító áram: az akkumulátor –18 °C-on 540 A-t képes leadni a szabványban megadott ideig úgy, hogy a feszültség nem esik a megengedett zárófeszültség alá (ellenőrizendő: a pontos vizsgálati körülmény).

Feladatok – megoldások

1. feladat (A) A 12 V-os fedélzeti hálózat feszültsége az autóipari szabvány szerint névlegesen 12 V. A savas ólomakkumulátor egy cellájának nyugalmi feszültsége kb. 2,1 V. Hat cella sorosan kapcsolva $6 \cdot 2{,}1 = 12{,}6\,\text{V}$ nyugalmi feszültséget ad, ezért épül hat cellából az indítóakkumulátor.

2. feladat (A) Adott $C = 60\,\text{Ah}$, $I = 10\,\text{A}$. Keresett: t. Képlet: $C = I \cdot t$, tehát $t = C/I = 60/10 = 6\,\text{h}$. A válasz: elvileg 6 óra, de a valóságban a nagyobb kisütő áram csökkenti a hasznos kapacitást.

3. feladat (B) A 12,3 V pontosan a 12,2 V (50%) és 12,4 V (75%) között félúton van; lineáris interpolációval kb. 62,5%, tehát kb. 60–65% becsülhető. A bizonytalanság oka: a hőmérséklet,

az akkumulátor kora, a savsűrűség és a cellák közötti eltérés befolyásolja a pontos összefüggést; ezért ez csak közelítő érték.

4. feladat (B) Töltendő töltöttségi különbség: $70 \cdot (0{,}90 - 0{,}35) = 70 \cdot 0{,}55 = 38{,}5\,\text{Ah}$.
A hatásfok miatt bevezetendő töltés: $Q_{\text{be}} = 38{,}5/0{,}90 = 42{,}8\,\text{Ah}$.
Idő: $t = 42{,}8/7 = 6{,}1\,\text{h}$.
Tehát kb. 6 óra.

5. feladat (C) Feszültségesés: $\Delta U = I \cdot r_{\text{b}} = 150 \cdot 0{,}010 = 1{,}5\,\text{V}$.
Indításkor a kapocsfeszültség: $U_{\text{k}} = 12{,}5 - 1{,}5 = 11{,}0\,\text{V}$.
Ez az egészséges tartomány alsó határa körül van: hidegben, erős áramnál még elfogadható, de ha a feszültség rendszeresen 10 V alá esik, az önindító lassan forgat, és az akkumulátor lehet gyenge.

6. feladat (D) Hibakeresési lánc: - **Tünet:** start-stop nem lép működésbe, gyenge indítás. - **Lehetséges okok:** lemerült/elöregedett akkumulátor, nagy belső ellenállás, rossz akkumulátor típus, hibás akkumulátor-regisztrálás, generátor hiba. - **Mérések:** nyugalmi feszültség 11,9 V (alacsony, kevesebb mint 25% töltés) → az akkumulátort előbb fel kell tölteni (IU-töltő), pihentetés után megismételni a terheléses vagy konduktanciás vizsgálatot; a nyugalmi áramfelvételt is mérni kell (lásd Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram); a feltöltött akkumulátor terheléses vizsgálata a névleges hidegindító áram kb. 40%-át adja (rossz), generátor feszültség 14,4 V (megfelelő). - **Ok:** az akkumulátor kapacitása és hidegindító képessége leromlott. - **Javítás:** a gyártó előírása szerinti, start-stophoz való EFB/AGM akkumulátor beépítése, regisztrálás az energiamenedzsmentbe, hibakódok törlése, próbaút. - **Ellenőrzés:** start-stop aktiválódik, nyugalmi feszültség 12,6 V fölött.

28.1.19. Rövid összefoglaló

Az indítóakkumulátor hat sorba kötött savas ólomcellából áll, cellánként kb. 2,1 V-tal; a 12 V-os fedélzeti hálózat így jön létre. A jellemző adatok: névleges feszültség, 20 órás kapacitás C_{20} (Ah) és az EN szerinti hidegindító áram (–18 °C-on). A nyugalmi feszültségből következtetni lehet a töltöttségre: 12,6 V fölött teljesen töltött, 12,2 V alatt (kb. 50%) tölteni kell, 11,8 V körül gyakorlatilag lemerült (példaértékek). A belső ellenállás terhelés alatt feszültségesést okoz: $U_{\text{k}} = U_0 - I r_{\text{b}}$. Start-stop rendszerekhez EFB vagy AGM akkumulátor kell; a cserét regisztrálni kell az energiamenedzsmentben. Töltéskor az IU-jelleggörbét követő intelligens töltő biztonságos; AGM-hoz megfelelő töltési mód szükséges. A sav és a durranógáz miatt védőfelszerelés, szikrakizárás, a bikázás sorrendje kötelező. A hulladék akkumulátor veszélyes hulladék. **Továbbvitt eredmény:** az itt tanult akkumulátor-adatok és töltési ismeretek közvetlenül szükségesek A generátor, Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája és a Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása alfejezetekhez.

28.1.20. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és akkumulátor-adatlapok; DIN 72552 kapocsjelölések; EN 50342-1 (akkumulátor-vizsgálatok); a veszélyes hulladékokra vonatkozó hatályos hazai jogszabályok; az Európai Unió hulladék- és akkumulátor-irányelv előírásai.
- Ellenőrizendő: a hidegindító áram pontos vizsgálati hőmérséklete, időtartama és zárófeszültsége az aktuális EN szabvány szerint; a nyugalmi feszültség–töltöttség pontos összefüggése; a töltési feszültséghatárok (14,4–14,8 V) és a gyorstöltési határáramok; a start-stop rendszerekhez előírt akkumulátor-típusok; az új akkumulátor regisztrálásának gyártóspecifikus lépései; a hulladék-akkumulátor kezelésére vonatkozó pontos jogszabályi kötelezettségek. Valamennyi táblázatban és példában szereplő számérték tanulási példa.

28.2. A generátor

A műhelyben az egyik leggyakoribb panasz: „a töltésjelző világít, az autó reggel nem indul, vagy menet közben lemerül az akkumulátor.” Ilyenkor a diagnosztika előbb-utóbb eljut a generátorhoz (alternator; műhelyi szleng: töltő), amely a motor mechanikai energiáját villamos energiává alakítja, és a fedélzeti hálózatot névleges feszültségen tartja. Ebben az alfejezetben megismerjük a gépjárművekben szinte kizárólagosan használt háromfázisú karmos pólusú generátort, a diódahidat, az előgerjesztést és a szíjhajtást, valamint a generátor áramleadási képességét leíró jelleggörbét. A korábbi alfejezetekben tanult háromfázisú rendszer (A transzformátor és a háromfázisú rendszer) és a diódás egyenirányítás (Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók) itt kapcsolódik össze a járművön.

28.2.1. Szemléletes kép

Nyissuk fel a motortérben a generátort: a motor elején, a szíjhajtáson keresztül hajtott, többékevésbé hengeres alumínium házat látunk, amelynek egyik végén szíjtárcsa, másik végén műanyag védőház alatt a diódahíd és a feszültségszabályozó helyezkedik el. A generátor belsejében a forgórész (rotor) egy tengelyen ül, rajta gerjesztőtekercs, amelyet két karmos póluskerék fog közre. A külső állórész (stator) vasmagjának hornyaiban három fázistekercs fut. A forgórész pólusai a forgás során váltakozó mágneses mezőt hoznak létre, így az állórész tekercseiben három, egymástól 120°-kal eltolt feszültség indukálódik. A háromfázisú váltakozó feszültséget a diódahíd egyenirányítja, és a B+ kimeneten keresztül a fedélzeti hálózatra adja. A házon találjuk a B+ (akkumulátor plusz), D+ (gerjesztés/töltésjelző) és a testkapcsolatot, valamint a feszültségszabályozó csatlakozóját.

28.2.2. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A gépjármű-generátor olyan villamos gép, amely a belső égésű motor mechanikai energiáját egyenirányított, szabályozott feszültségű egyenárammá alakítja, ellátja a jármű fogyasztóit, és tölti az indítóakkumulátort. A korszerű járművekben ez háromfázisú szinkrongép, amelynek kimenetén teljesítménydiódás egyenirányító híd van.

Definíció. A karmos pólusú forgórész (claw-pole rotor) két, egymásba illesztett, karmos kiképzésű póluskerékből áll, amelyek között a gerjesztőtekercs helyezkedik el. Az egyik póluskerék az északi, a másik a déli pólusokat alkotja; a karmok száma a generátor pólusszáma, amely több pólusú (pl. 12 pólusú) forgómezőt ad alacsony fordulatszámon is.

Definíció. A diódahíd (rectifier) hat vagy több teljesítménydiódából álló, hídkapcsolású egyenirányító, amely a háromfázisú váltakozó feszültséget lüktető egyenfeszültséggé alakítja. A pozitív oldali diódák a B+ kimenetre, a negatív oldaliak a testre vezetnek.

Összefüggés. A háromfázisú híd ideális, terheletlen egyenirányított feszültsége közelítőleg

$$U_d \approx 1{,}35\,U_v,$$

ahol U_v a fázisfeszültségek vonali (effektív) értéke. A gépjármű-generátorban a szabályozó ezt a nyers egyenfeszültséget tartja a névleges hálózati feszültség körül, jellemzően 14,0–14,8 V között (12 V-os hálózat esetén). A pontos érték gyártói és üzemállapot-függő **(ellenőrizendő: a gyártói javítási adat)**.

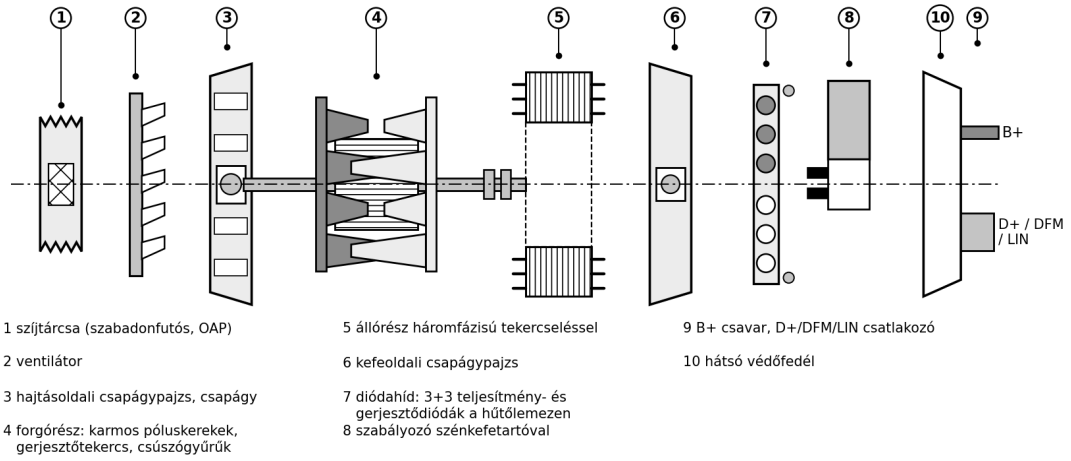
Szabály. A generátor feszültséget kelt, de a leadott áramot a fogyasztók igénye és a szabályozó gerjesztése határozza meg. Ha a hálózati feszültség csökken, a szabályozó növeli a gerjesztőáramot, így a generátor nagyobb áramot ad le, amíg a feszültség vissza nem áll.

Előírás. A gépjármű-generátor kapocsjelölése Magyarországon a DIN 72552 szerinti gyakorlatot követi: a fő kimenet `B+`, a gerjesztés/töltésjelző `D+`, a test `31`. A jármű villamos hálózatának elektromágneses összeférhetőségére az ENSZ-EGB 10. előírása vonatkozik **(ellenőrizendő: hatályos ECE R10 és az EU EMC-jogszabály)**. A gyártói kapcsolási rajz a mérvadó.

28.2.3. Felépítés és működés

A karmos pólusú generátor fő részei:

- **Forgórész (rotor):** tengely, a tengelyre tekercselt gerjesztőtekercs, két karmos póluskerék, csúszógyűrűk, valamint azokon futó szénkefék. A gerjesztőáram a csúszógyűrűkön keresztül jut a forgó gerjesztőtekercsbe.
- **Állórész (stator):** lemezelt vasmag hornyolt tekercseléssel, jellemzően háromfázisú, csillag vagy delta kapcsolásban. A fázisvégek a diódahíd bemeneteire csatlakoznak.
- **Diódahíd:** három pozitív és három negatív teljesítménydióda, valamint gyakran három gerjesztődióda. A teljesítménydiódák a nagy áramot vezetik, a gerjesztődiódák az előgerjesztést szolgálják, és megakadályozzák, hogy az akkumulátor álló motornál a gerjesztőtekercsen keresztül kisüljön.
- **Feszültségszabályozó:** a B+ feszültségét figyeli, és a gerjesztőáramot impulzusszélesség-szabályozással úgy állítja, hogy a kimeneti feszültség a névleges értéken maradjon.
- **Ház, csapágyak, szíjtárcsa és hűtőventilátor:** a hajtást a bordás ékszíj adja; a hűtés belső vagy külső ventilátorral, a nagyobb teljesítményűeknél vízhűtéssel történik.



28.4. ábra. A generátor robbantott ábrája

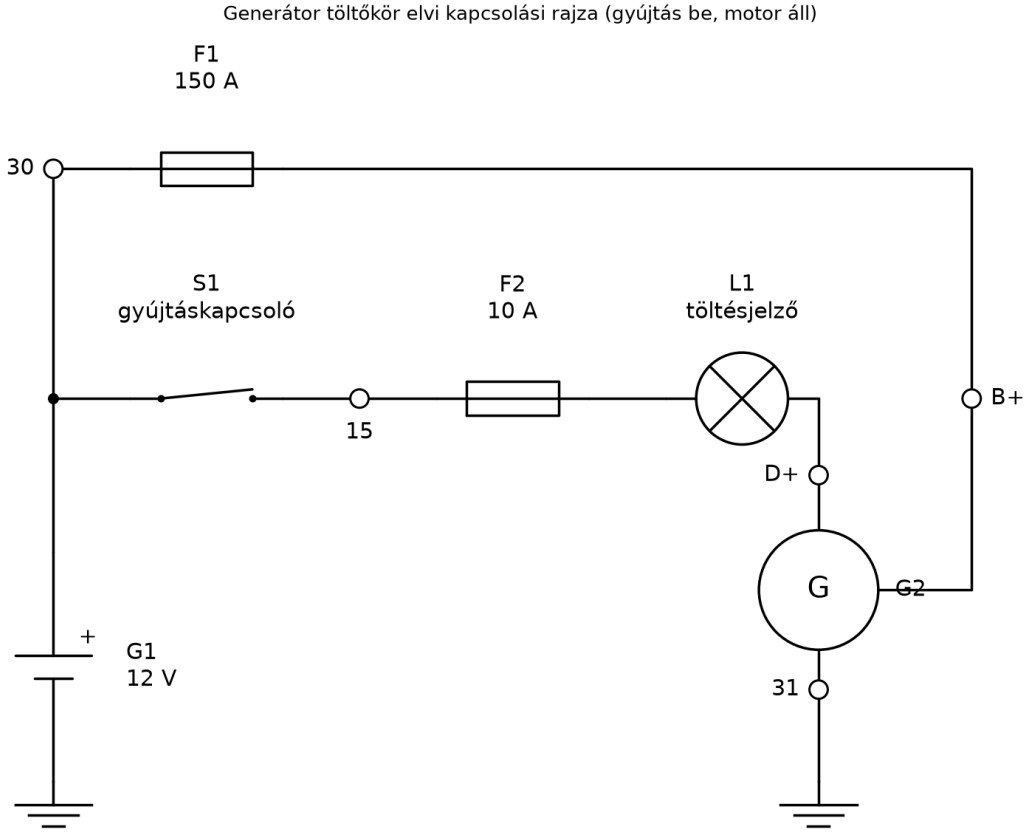
A robbantott ábra a tengely mentén mutatja a fenti részeket: a szabadonfutó szíjtárcsát, a ventilátort, a két csapágypajzsot, a karmos póluskerekes forgórészt csúszógyűrűkkel, az állórészt, a diódahidat, a szabályozót szénkefetartóval és a B+, illetve D+/DFM/LIN csatlakozót. Az interaktív változatban az alkatrészre mutatva a tipikus hibája is megjelenik.

Működés. Amikor a vezető ráadja a gyújtást, az akkumulátorról a gyújtáskapcsolón és a töltésjelző lámpán keresztül kis áram folyik a D+ kapocsra, majd a gerjesztőtekercsbe. Ez az **előgerjesztés** elegendő mágneses mezőt hoz létre ahhoz, hogy a motor beindulása után a

forgórész mágneses mezője az állórész tekercseiben feszültséget indukáljon. Amint a generátor feszültsége eléri a hálózati feszültséget, a töltésjelző lámpa két oldala azonos potenciálra kerül, a lámpa kialszik. Innentől a generátor saját magát táplálja, a gerjesztőáramot a gerjesztődiódákról és a szabályozóról kapja.

A háromfázisú feszültséget a hat dióda egyenirányítja; a hídkapcsolás mindkét félperiódust hasznosítja, így a kimenő feszültség hullámossága kicsi. A szabályozó a motor fordulatszámától és a terheléstől függően gyorsan változtatja a gerjesztőáramot, ezért a generátor széles fordulatszám-tartományban állandó feszültséget tart.

A következő kapcsolási rajz a generátor töltőkört szemlélteti gyújtás bekapcsolt, motor álló állapotban. A töltésjelző lámpán át folyó előgerjesztő áram útját a D+ kapocs felé jól láthatjuk.



28.5. ábra. Generátor töltőkör elvi kapcsolási rajza (gyújtás be, motor áll) - Egyszerűsített töltőkör: felül a B+ főkör (30 → F1 → B+), alul az előgerjesztő ág (30 → S1 → 15 → F2 → L1 → D+). A diódahíd, a gerjesztődiódák és a szabályozó a G2 generátorban vannak. Kapocsjelölés a DIN 72552 szerint (30, 31, 15, B+, D+); a gyártói rajz mérvadó, az értékek tanulási példák.

A rajzon: G1 az akkumulátor (kapcsai a 30-as plusz és a 31-es test), F1 a B+ főkör főbiztosítója, S1 a gyújtáskapcsoló (kimenete a 15-ös kapocs), F2 a töltésjelző ág saját biztosítója, L1 a töltésjelző lámpa, G2 a generátor (benne a diódahíd, a gerjesztődiódák és a szabályozó), B+ a fő kimenet, D+ a gerjesztő/lámpa kapocs, 31 a test. A gyújtás bekapcsolásakor az előgerjesztő áram a gyújtáskapcsolón, az F2 biztosítón és a lámpán át a D+ kapocsra, onnan a generátoron belül a szabályozón és a gerjesztőtekercsen át a testre folyik. A beindult motornál a generátor

feszültsége a B+ és a D+ oldalon is megemelkedik, a lámpa kialszik, a főáram a B+ kimenetről az F1 főbiztosítón át az akkumulátor és a fogyasztók felé folyik.

28.2.4. Áramleadási jelleggörbe és jellemző paraméterek

A generátor legfontosabb paraméterei:

Jellemző	Szokásos érték 12 V-os hálózaton	Megjegyzés
Névleges feszültség	14,0–14,8 V	Szabályozott kimenet, hőmérsékletfüggő lehet
Maximális áram (hideg)	80–250 A	Típusfüggő, a gyártói adat
Maximális áram (meleg, állandó)	a hideg értéknél 10–30%-kal kisebb	A tekercsellenállás és a hűtés korlátozza
Szíjáttétel	1:2,0 – 1:3,0	A generátor fordulatszáma a motorfordulat többszöröse
Pólusszám	12–16 pólus	Alacsony alapjáraton is elegendő feszültség

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / típus szerinti érték).

Összefüggés. A generátor fordulatszáma a szíjtárcsa-áttételből:

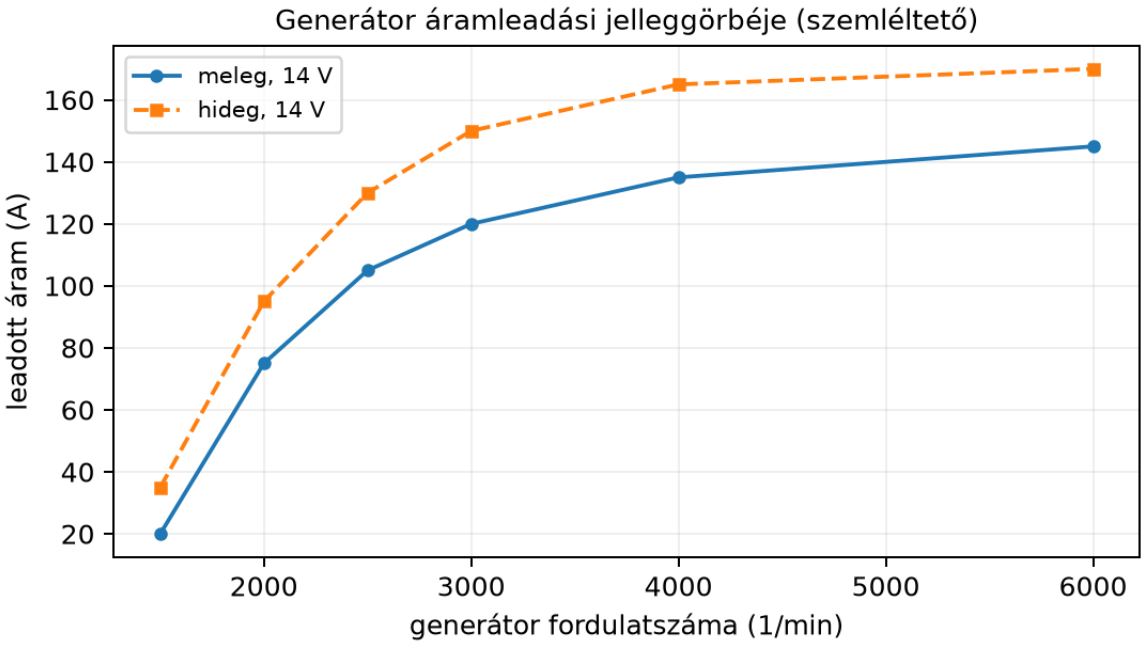
$$n_G = i \cdot n_M,$$

ahol n_M a motor fordulatszáma (1/min), $i = D_M/D_G$ a főtengely-szíjtárcsa és a generátortárcsa átmérőjének aránya. A generátor feszültségének frekvenciája:

$$f = \frac{p\, n_G}{60},$$

ahol p a póluspárok száma. Egy 12 pólusú, $p = 6$ póluspárú generátornál $n_G = 1800$ 1/min alapjárati generátorfordulat esetén $f = 180$ Hz; 6000 1/min-nél $f = 600$ Hz.

A generátor áramleadási képességét az áram–fordulatszám jelleggörbe mutatja. Alacsony fordulaton a gerjesztés és az indukált feszültség kisebb, ezért a leadható áram korlátozott. A fordulatszám növelésével a görbe meredeken emelkedik, majd a telítés és a hőkorlát miatt ellaposodik. A hideg generátor nagyobb áramot tud adni, mert a tekercsellenállás kisebb, de tartós terhelésnél a hőmérséklet növekedése csökkenti a leadható áramot.



28.6. ábra. Generátor áramleadási jelleggörbéje (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor; a tényleges jelleggörbét a gyártói adatlap adja.

A diagramról leolvashatjuk: ha a generátor fordulatszáma 2500 1/min, a meleg generátor körülbelül 105 A-t képes leadni, a hideg pedig körülbelül 130 A-t. Az áramleadási képesség a fogyasztók összegzésénél fontos: ha a jármű tartós fogyasztása e fölé nő, a hiányzó áramot az akkumulátor adja, ami fokozatos lemerüléshez vezet.

28.2.5. Hűtés, szíjhajtás és szabadonfutó szíjtárcsa

A generátorban a veszteségek (tekercs-, vas- és diódaveszteség) hővé alakulnak, ezért a hűtés létfontosságú. A hagyományos generátorok a tengelyen ülő, bordázott ventilátorral szívják át a levegőt a házon. A nagyobb teljesítményű, beépítettségük miatt rosszul hűtött generátoroknál a motortól származó hűtőfolyadék áramlik a generátorházban kialakított járatokon. A vízhűtéses generátor halkabb, és tartósan nagyobb áramot tud leadni.

A generátor hajtása bordás ékszíjjal (poly-V szíj) történik. A szíj feszessége és állapota meghatározó: a laza, kopott, olajos szíj megcsúszik, a generátor fordulatszáma csökken, a töltés bizonytalanná válik. A korszerű generátorokon **szabadonfutó szíjtárcsát** alkalmaznak: a tárcsa a generátor tengelyére egyirányú szabadonfutón keresztül kapcsolódik. Ez lehetővé teszi, hogy a generátor a motor fordulatszám-csökkenésekor a lendülete miatt tovább forogjon, míg a szíj lassabban jár. A szabadonfutó csökkenti a szíj lengését, zaját és a feszítőgörgő terhelését. Ha a szabadonfutó berágódik, a generátor rángatja a szíjat; ha megcsúszik, a generátor nem forog egyenletesen.

Figyelem. Járó motor mellett a generátor forgó szíjtárcsája, ventilátora és a forró ház komoly sérülést okozhat. A B+ csatlakozó nagy keresztmetszetű, feszültség alatt álló kábele; a szerszám vagy ékszer rövidzárlatot, szikrát, tüzet okozhat. Mérés és szerelés előtt a gyújtást le kell állítani, az akkumulátort a gyártói előírás szerint le kell kötni (először a test sarut), és meg kell várni, amíg a generátor lehűl.

28.2.6. Nagyobb teljesítményű és különleges generátorok

A hagyományos 12 V-os, 80–150 A-es generátor mellett a következő változatokkal találkozhatunk:

- **Folyadékhűtésű generátor:** nagy teljesítményű, tartósan terhelt járművekben (pl. taxi, rendőrautó, mentő) használják. A hűtőfolyadék elviszi a hőt, így a generátor kisebb külső hűtőventilátorral is működik, csendesebb és hosszabb élettartamú. A hűtőkör csatlakoztatását és a légtelenítést a gyártói javítási utasítás szerint kell végezni.
- **Indítógenerátor (starter-alternator, belt-driven starter-generator):** 12 V-os start-stop rendszerekben a generátor és az indítómotor funkcióját egyesíti, vagy 48 V-os mild-hibrid rendszerben a generátor indításkor motorként hajtja a főtengelyt, fékezéskor pedig energiát termel vissza. A 48 V-os indítógenerátor nagyobb teljesítményű, de feszültsége a 60 V egyenfeszültségű határ alatt marad, ezért nem tartozik a nagyfeszültségű (ECE R100 szerinti B feszültségosztályú) rendszerek közé (ellenőrizendő: ECE R100 és a gyártói besorolás); üzemi feszültsége töltéskor a névlegesnél magasabb is lehet (kb. 52–54 V, ellenőrizendő: gyártói adat), és a nagy áram miatt ívhúzás- és égésveszélyes. Szerelésekor a járműgyártó külön biztonsági utasításai érvényesek, mert a rendszer nagy árammal és kondenzátorokkal dolgozik.
- **Vízhűtéses, nagyfeszültségű integrált generátorok:** teljes hibrid és elektromos járművekben a hajtás egy része a generátoros üzem; ezt külön alfejezetben tárgyaljuk (Hibrid és elektromos hajtások áttekintése).

28.2.7. Kidolgozott példák

1. példa – Szíjáttétel és generátorfordulat.
Adott: a motor alapjárati fordulatszáma $n_M = 850$ 1/min; a főtárcsa átmérője $D_M = 150$ mm, a generátortárcsa átmérője $D_G = 60$ mm. Keresett: a generátor fordulatszáma.
Az áttétel $i = D_M / D_G = 150/60 = 2{,}5$.
$n_G = i \cdot n_M = 2{,}5 \cdot 850 = 2125$ 1/min.
Ellenőrzés: alapjáraton a generátor már eléri a chart szerinti hasznos tartományt. ∎

2. példa – Generátor teljesítménye és mechanikai igénye.
Adott: a generátor leadott feszültsége $U = 14{,}4$ V, áram $I = 140$ A; hatásfoka $\eta = 0{,}55$.
Keresett: a leadott villamos teljesítmény és a szükséges mechanikai teljesítmény.
$P_e = U \cdot I = 14{,}4 \cdot 140 = 2016$ W, tehát $P_e \approx 2{,}02$ kW.
$P_{\text{mech}} = P_e / \eta = 2016/0{,}55 = 3665$ W, azaz $P_{\text{mech}} \approx 3{,}67$ kW.
Ellenőrzés: ez a motor névleges teljesítményének 3–8%-a, ami reális. ∎

3. példa – Jelleggörbe leolvasása.
Adott: a fenti chart, a generátor fordulatszáma 3000 1/min, meleg állapotban.
Keresett: a leadható áram.
A 3000 1/min-hez tartozó meleg görbeérték: $I \approx 120$ A. Ha a jármű fogyasztói tartósan 130 A-t igényelnek, a 10 A hiány az akkumulátorból folyik, ami idővel lemerülést okoz. ∎

28.2.8. Minőségellenőrzés

A generátor ellenőrzésekor az alábbi méréseket és vizsgálatokat végezzük:

- **Feszültségmérés a B+ és test között:** alapjáraton, nagyobb fogyasztókkal és azok nélkül. Egészséges rendszerben 13,8–14,8 V közötti, stabil értéket mérünk (gyártói tartomány ellenőrizendő).

- **Feszültségesés a B+ vezetéken:** terhelés alatt a B+ és az akkumulátor plusz saruja között mérve; 0,5 V-nál nagyobb feszültségesés rossz kötést, korrodált kábelt, biztosítóellenállást jelez.
- **Töltésjelző működése:** gyújtás bekapcsolásakor világít, motor járásakor kialszik. Ha nem gyullad ki, az előgerjesztő áramkör szakadt; ha nem alszik ki, a generátor nem termel vagy a lámpakör hibás.
- **Szíjállapot és feszesség:** repedés, olajosság, kopás, feszítőgörgő állapota. A szabadonfutó szíjtárcsa ellenőrzése: a generátor tengelyt kézzel megforgatva a szíjtárcsa ellentétes irányba ne hajtson, és ne csússzon.
- **Diódahíd vizsgálata:** multiméter diódavizsgáló állásában a pozitív és negatív diódák nyitó- és záróirányú mérésével. A konkrét mérési pontok a gyártói rajz szerint.

28.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy autó a műhelybe érkezik azzal a panasszal, hogy télen, sok fogyasztóval (hátsó ablakfűtés, fényszóró, fűtőventilátor) néha lemerül, a fényszóró kissé halványul. A diagnosztikai műszerrel a fedélzeti feszültséget alapjáraton nagy terheléssel mérjük: 12,6 V, a kívánt 14 V helyett. A generátor B+ kimenetén is 12,9 V-ot mérünk, tehát a feszültségesés a kábelen nem jelentős. A szíj feszes, de a generátor fordulatszáma megfelelő. A feszültségszabályozó csatlakozóján a gerjesztő jelet oszcilloszkóppal ellenőrizzük: a kitöltési tényező 100% közelében van, tehát a szabályozó maximális gerjesztést kér. A diódavizsgálat az egyik pozitív diódát záróirányban vezetőnek mutatja. A diódahíd hibás: a generátor nem tudja a terheléshez szükséges áramot előállítani. A javítás a diódahíd vagy a teljes generátor cseréje a gyártói előírás szerint. A csere után a feszültség nagy terheléssel is 14,2 V, a panasz megszűnt. Tanulság: a töltésjelző lámpa nem mindig mutatja a gyenge töltést, mert a rendszer feszültsége csak terhelés alatt esik le; ezért a töltőkör ellenőrzését mindig terhelés alatt kell végezni.

28.2.10. Tipikus hibák

- **Hibás mérési sorrend:** a szerelő először az akkumulátort cseréli, holott a generátor nem tölt; a hibát a B+ feszültség és a gerjesztés mérésével kell lokalizálni.
- **A jelleggörbe félreértése:** a generátor névleges árama (pl. 140 A) nem jelenti azt, hogy alapjáraton is ennyit tud leadni; alacsony fordulaton a leadható áram sokkal kisebb.
- **Szabadonfutó szíjtárcsa figyelmen kívül hagyása:** a berágódott szabadonfutó a szíj feszítőgörgőjét és a generátor csapágyát tönkreteszi, ezért a szíj cseréjekor mindig ellenőrizni kell.
- **Töltésjelző lámpa kiiktatása:** a lámpa nemcsak jelző, hanem az előgerjesztés része; kiiktatása miatt a generátor nem indulhat gerjedésbe.

28.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz/hamis: a gépjármű-generátor közvetlenül egyenáramot indukál az állórészben. Indokold!
2. Miért van szükség előgerjesztésre?
3. A töltésjelző lámpa a gyújtás bekapcsolásakor világít, motor járatásakor viszont nem alszik ki teljesen. Mit gyanakszol?
4. Egy generátor hideg jelleggörbéje 3000 1/min-nél 150 A-t, melegen 120 A-t mutat. Mi a különbség oka?
5. Mi a szerepe a szabadonfutó szíjtárcsának?

6. A B+ vezetéken terhelés alatt 0,8 V feszültségesést mérsz. Jó-e ez? Mit ellenőrzöl?

A válaszok a Megoldások elején.

28.2.12. Feladatok

1. feladat (A)
Fogalmazd meg, mi a gépjármű-generátor feladata, és miért háromfázisú kivitelű?

2. feladat (A)
Adott: a motor fordulatszáma 2000 1/min, a főtárcsa átmérője 160 mm, a generátortárcsa átmérője 65 mm. Számítsd ki a generátor fordulatszámát!

3. feladat (B)
Adott: a generátor 14,3 V feszültségen 110 A-t ad le, hatásfoka 0,60. Mennyi a leadott villamos teljesítmény, és mekkora mechanikai teljesítményt igényel a motorról?

4. feladat (B)
A diagram jelleggörbéje alapján: mekkora a leadható áram 2500 1/min-nél hideg és meleg állapotban? Mennyi marad tartalék, ha a jármű fogyasztói 90 A-t igényelnek?

5. feladat (C)
Egy járműbe 120 A névleges generátor van beépítve. A tartós fogyasztók: fényszórók 15 A, fűtőventilátor 12 A, hátsó ablakfűtés 25 A, ülésfűtés 10 A, rádió és világítás 8 A, motorirányítás 10 A. Alapjáraton a generátor 2000 1/min-en 75 A-t tud leadni (meleg). Mi történik, ha minden fogyasztó be van kapcsolva? Számítsd ki a hiányt, és javasolj megoldást.

6. feladat (D)
Műhelyi hibakeresés: a jármű nem tölt, a töltésjelző lámpa gyújtás után nem gyullad ki. Az akkumulátor feszültsége 12,4 V, a B+ kimenet 12,4 V motor leállítva. A multiméterrel a D+ és test között 0 V-ot mérsz, miközben a gyújtáskapcsoló 15-ös kapcsán 12,4 V van. Melyik áramköri elem hibás, és miért?

28.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A generátor az állórészben háromfázisú váltakozó feszültséget indukál, amelyet a diódahíd egyenirányít.
2. Az indításhoz kezdeti mágneses mező kell; a leállt generátorban nincs gerjesztés, ezért a töltésjelző lámpán át vezetett kis áram biztosítja az előgerjesztést.
3. A generátor nem termel, vagy a lámpakör feszültségkülönbsége kicsi (pl. szakadt dióda, hibás szabályozó, szíjcsúszás).
4. A meleg tekercsek ellenállása nagyobb, a hőkorlát és a hűtés csökkenti a leadható áramot.
5. A szíj lengését és a feszítőgörgő terhelését csökkenti, a generátor lendületét kihasználva.
6. Nem jó. A feszültségesés 0,5 V alatt kell legyen; ellenőrizni kell a B+ csatlakozást, kábelt, biztosítót, testelést.

1. feladat (A)
A generátor a motor mechanikai energiáját a fedélzeti hálózat számára megfelelő egyenfeszültséggé alakítja, tölti az akkumulátort és ellátja a fogyasztókat. A háromfázisú kivitel jobb hatásfokú, kisebb hullámosságú egyenirányított feszültséget ad, és a karmos pólusú forgórésszel alacsony fordulaton is elegendő feszültséget kelt.

2. feladat (A)
Az áttétel: $i = D_M / D_G = 160/65 = 2{,}46$.
$n_G = i \cdot n_M = 2{,}46 \cdot 2000 = 4920$ 1/min. Tehát a generátor fordulatszáma 4920 1/min.

3. feladat (B)
$P_e = U \cdot I = 14{,}3 \cdot 110 = 1573$ W $\approx 1{,}57$ kW.
$P_{\text{mech}} = P_e / \eta = 1573/0{,}60 = 2622$ W $\approx 2{,}62$ kW.
A generátor 2,62 kW mechanikai teljesítményt vesz fel a motorról.

4. feladat (B)
2500 1/min-nél hideg: 130 A, meleg: 105 A. Ha a fogyasztók 90 A-t igényelnek, a tartalék hidegen 40 A, melegen 15 A. Melegben is fedezve van, de kevés tartalék marad az akkumulátor töltésére.

5. feladat (C)
A fogyasztók összesen: 15 + 12 + 25 + 10 + 8 + 10 = 80 A.
Alapjáraton a generátor 75 A-t tud, tehát 5 A hiány. A hiányt az akkumulátor adja, ami alapjáraton tartósan lemerüléshez vezet. Megoldás: fordulatszám-emelés, kisebb fogyasztás, nagyobb generátor, vagy energiamenedzsment (pl. fogyasztók korlátozása).

6. feladat (D)
A töltésjelző lámpa nem gyullad, a D+ feszültség 0 V, de a 15-ös kapocs 12,4 V. Ez a töltésjelző lámpa vagy a hozzá tartozó vezeték/csatlakozó szakadására utal. Ha a lámpa kiégett, az előgerjesztő áram nem jut a D+ kapocsra, ezért a generátor nem indul gerjedésbe, így a töltőfeszültség sem jelenik meg. Ellenőrizni kell a lámpát, a csatlakozókat és a vezetéket.

28.2.14. Rövid összefoglaló

A gépjármű-generátor háromfázisú karmos pólusú szinkrongép, amely a motor mechanikai energiáját a diódahídon keresztül egyenirányított, szabályozott feszültséggé alakítja. A forgórész gerjesztőtekercsét csúszógyűrűk és szénkefék táplálják; az állórészben indukált háromfázisú feszültséget hat teljesítménydióda egyenirányítja. Az előgerjesztés a töltésjelző lámpán át folyó kis árammal indul, és a gerjesztődiódák veszik át, amint a generátor eléri a hálózati feszültséget, a lámpa ilyenkor kialszik. A feszültségszabályozó a gerjesztőáramot impulzusszélesség-szabályozással állítja. A generátor áramleadása fordulatszámfüggő, a jelleggörbe alacsony fordulaton kisebb, nagyobb fordulaton telítődő áramot mutat; hidegen nagyobb áram érhető el. A szíjáttétel a generátort a motorénál nagyobb fordulattal hajtja, a szabadonfutó szíjtárcsa csökkenti a szíj lengését. A B+ csatlakozó nagy áramú, a szerelés előtt az akkumulátort a gyártói előírás szerint le kell kötni. **Továbbvitt eredmény.** A generátor feszültségkeltését, diódahídját, gerjesztését és áramleadási jelleggörbéjét használjuk a Feszültségszabályozás és energiamenedzsment alfejezetben, ahol a szabályozó pontos működését és az intelligens töltést tárgyaljuk.

28.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a villamos gépek, a teljesítményelektronika és a gépjármű-villamosság tankönyvi alapjaira épül. A generátor kapocsjelölései a DIN 72552 szerinti gyakorlatot követik. A feszültségtartomány, a jelleggörbe értékei, a szíjáttételek és az áramértékek tanulási példák; a gyártói javítási utasítás, az adott generátor adatlapja és a jármű gyári kapcsolási rajza a mérvadó. Az ENSZ-EGB 10. előírás (elektromágneses összeférhetőség) pontos hivatkozása és a járműkategóriák szerinti alkalmazhatóság ellenőrizendő. A 48 V-os indítógenerátorokra vonatkozó biztonsági követelmények a gyártói dokumentációban találhatók, és az ECE R100 szerinti B feszültségosztály

60 V-os egyenfeszültségű határa alatt maradnak (ellenőrizendő: ECE R100 hatályos szövege és a gyártói besorolás), de a nagy áram miatt külön elővigyázatosságot igényelnek.

28.3. Feszültségszabályozás és energiamenedzsment

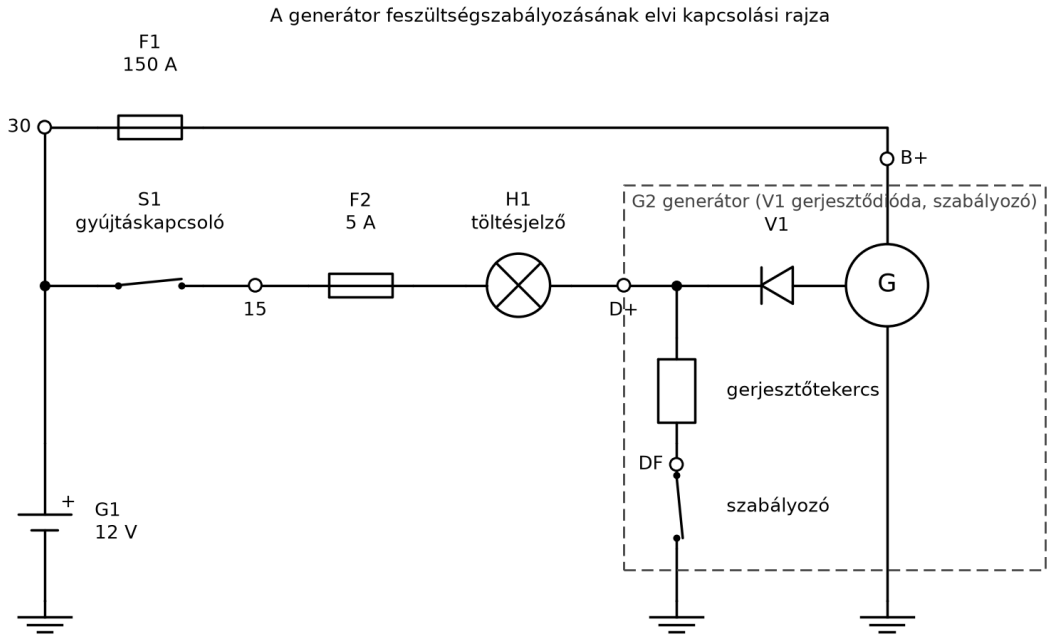
28.3.1. Motiváció

Egy korszerű autón egyre ritkábban látunk állandó 14,4 V-os töltőfeszültséget a multiméteren. Hol 12,8 V-ot, hol 15 V-ot, gyorsításkor pedig akár 12,4 V-ot is mérhetünk. Az ügyfél gyakran „nem töltő generátorral” érkezik, mert a műszerfalon mozog a feszültség, vagy a fedélzeti rendszer lekapcsolja a rádiót, az ülésfűtést. Ebben az alfejezetben megértjük, hogyan szabályozza a generátor a feszültséget, és miért ad a mai jármű elektronikája tudatosan változó töltőfeszültség-parancsot a generátornak.

28.3.2. Szemléletes kép

Képzeljük el a generátort egy nagy teljesítményű vízszivattyúnak, a gerjesztőáramot pedig a szivattyú fordulatszámát szabályozó csapnak. Ha a csapot teljesen kinyitjuk (nagy gerjesztőáram), a szivattyú maximális nyomást ad. Ha a motor fordulatszáma emelkedik (a szivattyút forgató külső hajtás gyorsul), a nyomás veszélyesen megnőne, ezért a csapot részben el kell zárni, hogy a nyomás a célértéken maradjon. A feszültségszabályozó pontosan ezt teszi: a fordulatszám és a terhelés függvényében változtatja a gerjesztőáramot.

A szabályozókör vázlatán az a lényeg: az akkumulátor kémiai állapota, a hőmérséklete, a terhelés (villamos fogyasztók) és a motor fordulatszáma határozza meg, mekkora gerjesztőáramot engedjen a szabályozó a forgórész tekercsébe.



28.7. ábra. A generátor feszültségszabályozásának elvi kapcsolási rajza - Egyszerűsített áramút a szabályozó szerepének megértéséhez (gyújtás be, motor áll: S1 zárva). B+ főkör: 30 → F1 → B+; előgerjesztés: 15 → F2 → H1 → D+ → gerjesztőtekercs → DF → szabályozó → 31. Kapocsjelölés a DIN 72552 gyakorlata szerint (ellenőrizendő: gyártói rajz).

Az ábra olvasata. Az akkumulátor `30`-as (plusz) és `31`-es (test) kapcsa adja a referenciafeszültséget. A `G2` generátor a `B+` kapcsán, az `F1` főbiztosítón át ad áramot a hálózatnak. A gerjesztőtekercs árama I_g a `D+` kapocstól a tekercsen, a `DF` kapcson és a szabályozó kapcsolóján keresztül záródik a test felé; álló motornál a `D+` a töltésjelző lámpán át, járó motornál a gerjesztődiódán át a generátortól kapja az áramot. A töltés visszajelző lámpa a gyújtás (`15`) és a generátor `D+` kapcsa közötti feszültségkülönbséget mutatja. Ha a generátor nem tölt, a lámpa a `15` felől test felé kap áramot, és világít; ha tölt, a `D+` és a `15` közel azonos potenciálon van, a lámpa kialszik.

28.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **feszültségszabályozó (voltage regulator)** a generátor forgórészének gerjesztőáramát változtatja úgy, hogy a jármű villamos hálózatának feszültsége a kívánt tartományban maradjon a fordulatszámtól, a terheléstől és a hőmérséklettől függetlenül.

Összefüggés. A generátor üresjárási feszültsége közelítőleg $U_0 \approx k \cdot \Phi \cdot n$, ahol Φ a gerjesztőáram által létrehozott mágneses fluxus, n a fordulatszám, k pedig a generátor szerkezeti állandója. Mivel a fluxus Φ közelítőleg arányos a gerjesztőárammal I_g-vel, a szabályozó a fordulatszám növekedésekor csökkenti I_g-t, hogy U_0 a kívánt értéken maradjon. Túl nagy terhelésnél a szabályozó növeli I_g-t, hogy a fluxus és ezzel a leadható teljesítmény növekedjen.

Szabály. A hagyományos, nem intelligens szabályozású rendszerekben a töltőfeszültség hőmérsékletfüggő célértéke jellemzően 14,0–14,8 V között van; hideg akkumulátornál magasabb, melegnél alacsonyabb (ellenőrizendő: gyártói adat). A belső égésű motorral szerelt járművekben a töltőfeszültség soha nem haladhatja meg tartósan azt az értéket, amely az elektronikát és az akkumulátort károsítaná.

Definíció. Az **energiamenedzsment (energy management)** a fedélzeti hálózat töltési és fogyasztási folyamatainak felügyelete. A motorvezérlő vagy egy külön akkumulátor-felügyeleti modul az akkumulátor állapota, a hőmérséklet, a terhelés és a menethelyzet alapján parancsot ad a szabályozónak, és szükség esetén korlátozza a komfortfogyasztókat.

Definíció. Az **akkumulátor-szenzor (intelligent battery sensor, IBS)** az akkumulátor negatív pólusára szerelt mérőegység, amely folyamatosan méri az akkumulátor áramát, a pólusfeszültséget és a hőmérsékletet, majd ebből becsüli a töltöttségi szintet (SoC) és az öregedési állapotot (SoH).

28.3.4. Felépítés és működés

28.3.4.1. A szabályozás elve és a régi megoldás

A mai szabályozók alapelve ugyanaz, mint a régi, mechanikus érintkezős változaté: ha a feszültség a célérték alá esik, engedjük a gerjesztőáramot; ha fölé emelkedik, csökkentjük vagy megszakítjuk.

Történeti rendszer. A régi járművön található **mechanikus érintkezős szabályozó** egy elektromágnesből, egy nyitóérintkezőből és egy soros ellenállásból áll. Az elektromágnes tekercse a generátorfeszültséget figyeli. Ha a feszültség meghaladja a beállított értéket, az elektromágnes meghúzza az érintkezőt, az nyit, és a gerjesztőkörbe egy nagy értékű ellenállás kerül sorba. A gerjesztőáram lecsökken, a generátorfeszültség esik, az elektromágnes elenged, az érintkező újra zár. Ez a „berezgés” másodpercenként sokszor ismétlődik, és az átlagos gerjesztőáramot tartja a kívánt értéken. Hátránya a kopás, a rádiózavar és a pontatlan szabályozás.

28.3.4.2. Elektronikus, hibrid és monolit szabályozó

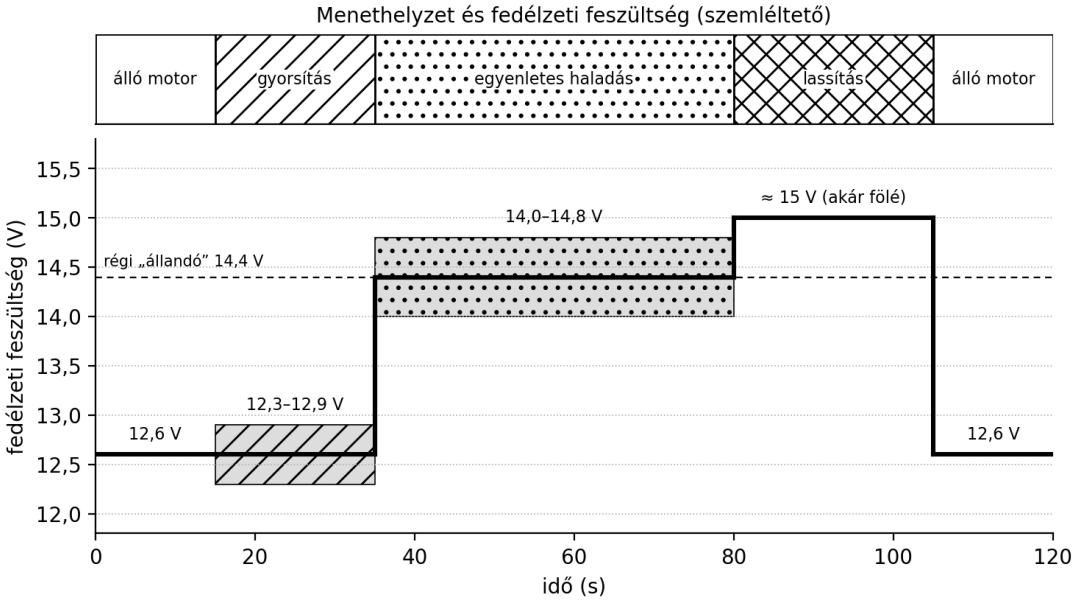
A mai generátorokban az érintkezők helyét teljesítmény-félvezető (tranzisztor vagy MOSFET) vette át. A kapcsolás nagy frekvencián (jellemzően több száz Hz-től kHz-ig) kapcsolgatja a gerjesztőáramot. A bekapcsolt és kikapcsolt állapot arányának változtatásával – ez a **PWM, impulzusszélesség-moduláció** – lehet az átlagos gerjesztőáramot fokozatmentesen állítani.

- A **monolit szabályozó** egyetlen félvezető tokozásban tartalmazza a referenciafeszültségforrást, a hőmérséklet-kompenzációt, az összehasonlító áramkört és a teljesítménykapcsolót. A kivezetései jellemzően a `B+`, `DF/FL`, `GND` és a `D+`.
- A **hibrid szabályozó** most már ritkábban használt kifejezés; lényege, hogy a félvezető elemeket vastagréteg-technikával egy kerámiahordozóra integrálják, és külső alkatrészekkel egészítik ki. A javítás során a mai szerelő ezt a panelt általában egyben cseréli, nem javítja elemenként.
- A **multifunkciós szabályozó** a feszültségszabályozáson kívül kommunikációs jelet is ad. A **DFM-jel** (Digital Field Monitor) egy négyszögjel, amelynek kitöltési tényezője a gerjesztőárammal vagy a generátor terhelésével arányos. A motorvezérlő ebből tudja, mennyire van terhelve a generátor; például alapjárat-emeléssel reagál, ha a terhelés nagy.

28.3.4.3. LIN-vezérelt szabályozó és intelligens töltés

A korszerű járművekben a szabályozó nem önállóan dönt. A generátor szabályozója egy **LIN (Local Interconnect Network)** adatbuszon keresztül kap parancsot a fedélzeti energiagazdálkodó rendszertől. A vezérlőegység küldhet: - célfeszültséget (U_{soll}), - dinamikus terhelésválasz-korlátot (pl. lassan emelje a terhelést, hogy az alapjárat stabil maradjon), - diagnosztikai kérést (hibakód, terhelés, hőmérséklet).

Az **intelligens töltés** így a menethelyzethez igazodik: - **Gyorsításkor** a rendszer csökkenti a generátor terhelését (a gerjesztőáramot leveszi), hogy a motor teljesítménye a kerekekre jusson; a feszültség akár 12,3–12,9 V-ra is leeshet. - **Motorfékezéskor és lassításkor** a rendszer megnöveli a generátor terhelését, így **rekuperálja** a mozgási energia egy részét; a feszültség rövid időre 15 V fölé is emelkedhet. Ezért nem szabad a mai autón abból, hogy „nem stimmel a töltőfeszültség”, azonnal hibás generátorra következtetni. - **Hideg akkumulátornál** a célfeszültség magasabb, **forró nyáron** alacsonyabb, hogy az akkumulátor ne gázosodjon és ne öregedjen.

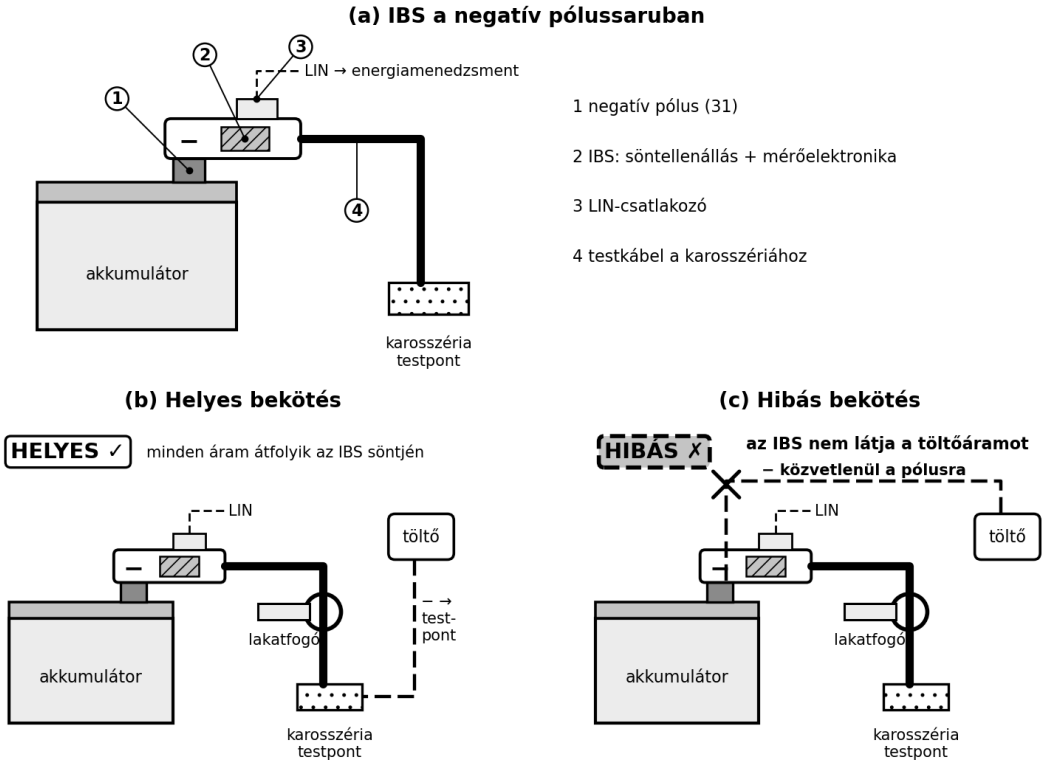


28.8. ábra. Az intelligens töltés célfeszültsége menethelyzetenként (szemléltető)

A szemléltető idődiagram egy városi menetszakaszt mutat: álló motornál az akkumulátor feszültsége (kb. 12,6 V), gyorsításkor 12,3–12,9 V, egyenletes haladásnál a hőmérséklettől függő 14,0–14,8 V-os célérték, lassításkor rövid ideig kb. 15 V. A szakaszok időtartama kitalált; a változó feszültség az energiamenedzsment működése, nem generátorhiba.

28.3.4.4. Akkumulátor-szenzor, fogyasztó-lekapcsolás és start-stop

Az energiamenedzsment központi eleme az **IBS** az akkumulátor negatív pólusán. A mért áram előjeléből tudja, hogy éppen töltés vagy kisütés történik, az integrált áramból pedig az akkumulátor töltöttségi szintjét becsüli. A feszültségből és a hőmérsékletből a hidegindító képességre és az öregedésre következtet.



28.9. ábra. Az akkumulátorszenzor (IBS) a negatív póluson és a helyes bekötési pont

Az ábra szerint az IBS a negatív pólussaruban ül, és csak az rajta átfolyó áramot látja: a lakatfogót a testkábelre, a töltő negatívját a karosszéria testpontjára kötjük (b); a pólusra kötött töltő megkerüli a szenzort, és téves töltöttséget tanít be (c). A bekötési pontot a gyártói előírás adja meg (ellenőrizendő).

Ha az energia-mérleg romlik, a vezérlő fogyasztói lekapcsolásokkal avatkozik be. A lekapcsolások fokozatosak: 1. komfortfogyasztók (ülésfűtés, szélvédőfűtés, tolatóradar), 2. nagyobb fogyasztók (pl. a kiegészítő fűtés, a hangrendszer teljesítménye), 3. korlátozott üzemmód, hibaüzenet a műszerfalon.

A **start-stop rendszer** szintén az energiamenedzsment része. A motor csak akkor áll le, ha a feltételek teljesülnek: az akkumulátor töltöttsége elég nagy, a motor hőmérséklete elérte a tartományt, a biztonsági feltételek adottak (biztonsági öv, motorháztető zárva), és a beltéri hőmérséklet-szabályozás nem követeli a kompresszort. A start-stop járművek akkumulátora jellemzően **AGM** (Absorbent Glass Mat, üvegszálas itatólemezes) vagy **EFB** (enhanced flooded battery) típusú, mert a normál indítóakkumulátor nem bírná a gyakori indítást és ciklizálást. A motormegállás alatt is stabil fedélzeti feszültség biztosítására sok rendszer **DC/DC-átalakítót** épít be, amely a 12 V-os fogyasztókat táplálja.

28.3.4.5. Nyugalmi áramfelvétel

Definíció. A **nyugalmi áramfelvétel** az az áram, amelyet a jármű a gyújtás kikapcsolása és a vezérlőegységek „elalvása” után is felvesz. A mai járművekben ez a riasztó, a központi zár vevője és az adatbusz-vezérlők felébredésre kész áramköre miatt jellemzően 20–50 mA (ellenőrizendő: típusadatok). Ha egy vezérlőegység nem alszik el, vagy egy utólagos fogyasztó rosszul van bekötve, a nyugalmi áram 100–500 mA fölé emelkedhet, és az akkumulátor napok alatt lemerül.

28.3.5. Kidolgozott példa

Számítás. Egy jármű nyugalmi áramfelvétele a gyártó által megadott maximális 40 mA. Az akkumulátor tényleges kapacitása 60 Ah. Hány napig állhat a jármű, ha az indíthatósághoz legalább a kapacitás 70%-át meg kell tartani?

Adott: $I = 40\,\text{mA} = 0{,}04\,\text{A}$, $C = 60\,\text{Ah}$, felhasználható töltés $Q = 0{,}3 \cdot 60\,\text{Ah} = 18\,\text{Ah}$.

Keresett: t idő.

Képlet: $t = Q / I$.

Behelyettesítés: $t = 18\,\text{Ah} / 0{,}04\,\text{A} = 450\,\text{h}$.

Eredmény: $450\,\text{h} / 24\,\text{h/nap} = 18{,}75\,\text{nap} \approx 18\,\text{nap}$ (lefelé kerekítve, a biztonság javára). ∎

Ellenőrzés. Ha a mért nyugalmi áram 150 mA lenne, akkor $t = 18 / 0{,}15 = 120\,\text{h} = 5\,\text{nap}$. Ezért egy 150 mA-es „kis” áramfelvétel már egy hétnyi parkolás alatt indítási problémát okozhat (egy hétvége, kb. 60 h alatt is 9 Ah-t, a kapacitás kb. 15%-át viszi el, ami egy már részben lemerült akkumulátornál elég a bajhoz).

28.3.6. Minőségellenőrzés

A vizsgálatot mindig a gyártói diagnosztikai eljárás szerint végezzük, mert a korszerű rendszerben a feszültség nem állandó.

1. **Csatlakoztatás.** Rendszerteszter az OBD-csatlakozóra, multiméter az akkumulátor pólusaira, áramlakatfogó az akkumulátor negatív kábelére (a gyári IBS-érzékelő sértetlenségét ne bontsuk meg).
2. **Célzott menetpróba.** Üzemmeleg motornál, meghatározott fordulatszámon és bekapcsolt fogyasztókkal a fedélzeti diagnosztika élőadat-mezőjében ellenőrizzük a célfeszültséget, a aktuális feszültséget, a gerjesztőáramot vagy kitöltési tényezőt, valamint az IBS által jelentett áramot és töltöttségi szintet.
3. **Kiindulási referenciaérték.** A hagyományos, nem intelligens szabályozású járműnél az alapjárati és 2500 1/min-es feszültség közötti különbség kicsi, a feszültség a célérték környékén stabil. A mai, intelligens rendszernél a feszültség a menethelyzettől függ, így egyetlen multiméteres értékből tilos hibás generátort megállapítani.
4. **Írásbeli rögzítés.** Munkalapon rögzítsük a műszer azonosítóját, a mérés feltételeit, a mért értékeket és a kiértékelést.

28.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy start-stopos városi autónál az ügyfél arra panaszkodik, hogy a start-stop már nem állítja le a motort. A rendszerteszterrel kiolvasva a rendszer nem jelez hibakódot, de az IBS adatblokkja azt mutatja, hogy az akkumulátor öregedési állapota alacsony, a töltöttségi szint pedig délutánra sem éri el a start-stophoz szükséges küszöböt. A feszültség normál üzemben csak lassan emelkedik, és a vezérlő az „energiamenedzsment korlátozás” miatt nem engedi a motorleállítást. Az ok nem a start-stop gomb, hanem a cserére érett, öreg akkumulátor. Az új AGM-akkumulátor beszerelése után a diagnosztikai rendszerben regisztrálni kell az akkumulátor cseréjét (akkumulátor-regisztráció), hogy az energiamenedzsment friss paraméterekkel számoljon, különben a rendszer továbbra is rosszabbat feltételezne a valósnál.

28.3.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkalap: intelligens töltőrendszer ellenőrzése

1. **Előkészítés.** Győződjünk meg a jármű azonosító adatairól. Csatlakoztassuk a rendszerteszter, és rögzítsük a kiinduló hibakódokat. Ellenőrizzük az akkumulátor állapotát (pólusok, feszültség nyugalomban).
2. **Érzékelő-adatok ellenőrzése.** Olvassuk ki az IBS által jelentett áramot, feszültséget, hőmérsékletet és SoC-t. A gyártói adatblokkban hasonlítsuk össze a célfeszültséget a tényleges feszültséggel.
3. **Működési ellenőrzés.** Járó motornál kapcsoljuk be a nagy fogyasztókat (fényszóró, szélvédőfűtés). A rendszerteszter élő adatában a gerjesztőáram vagy annak kitöltési tényezője nőjön, a feszültség pedig a célfeladatnak megfelelően változzon.
4. **Töltéshatékonysági próba.** Motorfékezési üzemben (pl. zárt pályán vagy tanműhelyi görgőn, az oktató engedélyével) figyeljük meg, hogy a feszültség rövid időre emelkedik-e a rekuperációs tartományba.
5. **Nyugalmi áram mérése.** A jármű lezárása és a gyári elalvási idő kivárása után mérjük az akkumulátorból felvett áramot. Hasonlítsuk össze a gyártói határértékkel. Ha túl nagy, kezdjük meg az áramkörök szakszerű lekapcsolását a tettes vezérlő vagy fogyasztó azonosítására.
6. **Dokumentálás.** Töltsük ki a munkalapot, töröljük a próbaütem alatt keletkezett hibakódokat, és rögzítsük a végső rendszerállapotot.

28.3.9. Tipikus hibák

1. **A feszültségmérés túlértelmezése.** A szerelő a multiméterrel alapjáraton 12,6 V-ot mér, és hibás generátort cserél, pedig a jármű éppen rekuperációs szünetet tart, vagy az akkumulátor tele van. **Helyes gyakorlat:** először a fedélzeti energiamenedzsment élőadatait kell ellenőrizni, és a gyártó által megadott beavatkozó tesztet végrehajtani.
2. **Akkumulátorcsere regisztráció nélkül.** Egy új, eltérő típusú akkumulátort beszerelnek, de a fedélzeti rendszerben nem rögzítik az új adatokat. A rendszer a régi, öreg akkumulátor paramétereivel számol, és nem engedi a start-stopot vagy túltölti az újat. **Helyes gyakorlat:** az akkumulátorcserét a diagnosztikai műszerrel regisztrálni kell, ha a gyártó előírja.
3. **Az IBS megbontása.** A szerelő az akkumulátor negatív sarujáról levett érzékelőt nem megfelelően szereli vissza, vagy a töltő negatív csipeszét közvetlenül az akkumulátor negatív pólusára köti, megkerülve az IBS-t. Az energiamenedzsment hamis áramértékeket kap. **Helyes gyakorlat:** a töltő negatív csipeszét ne az akkumulátor negatív pólusára, hanem a gyártó által kijelölt karosszéria-testpontra kösd, így a töltőáram az IBS-en át folyik, és az energiamenedzsment látja (ellenőrizendő: kezelési/javítási utasítás).

28.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A modern start-stopos járműnél a töltőfeszültség mindig pontosan 14,4 V. Indokold!
2. Mi történik a gerjesztőárammal, ha a generátor fordulatszáma hirtelen megnő, és a feszültség a célérték fölé emelkedik?
3. Mi az IBS feladata, és hol helyezkedik el?

4. Miért ír elő a gyártó fogyasztó-lekapcsolást energiamenedzsmentben?
5. Egy jármű nyugalmi áramfelvétele 80 mA. Az akkumulátor 70 Ah, és legalább 50% töltöttség kell az indításhoz. Kiindulva a teljesen feltöltött állapotból, hány napig állhat a jármű? ($Q = 0{,}5 \cdot 70 = 35$ Ah; $I = 0{,}08$ A.)

28.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel, milyen bemenő adatok alapján dönt az energiamenedzsment a töltőfeszültség célértékéről.

2. feladat (A). Hasonlítsd össze a mechanikus érintkezős és a mai MOSFET-es szabályozó működését.

3. feladat (B). Egy intelligens töltési rendszerben a fedélzeti diagnosztika azt mutatja, hogy a generátor terhelési kitöltési tényezője (DFM) 85%, a célfeszültség 14,8 V, a tényleges feszültség viszont 13,2 V. Mit jelez ez a kombináció? Fogalmazz meg egy diagnosztikai hipotézist!

4. feladat (B). Írd le a LIN-vezérelt szabályozó és a hagyományos, csak belső referenciafeszültséget használó szabályozó közötti különbséget az áramútrajz szintjén. Milyen új kivezetésre van szükség?

5. feladat (C). Miért kell a modern akkumulátor-töltő negatív csipeszét a gyártó által kijelölt karosszéria-testpontra kötni, ha a járművet az akkumulátor beszerelése után feltöltjük? Mi történik, ha a töltő negatív kábelét közvetlenül a negatív pólusra kötjük, és a szenzor a mért áramot nem látja?

6. feladat (D). Egy start-stopos autó nem állítja le a motort, pedig az ügyfél szerint az akkumulátor új. A rendszerteszter élőadatában a SoC 65%, a generátor feszültségparancsa 13,0 V, a motor hőmérséklete 88 °C, a biztonsági öv becsatolva. Mi a legvalószínűbb ok?

28.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az energiamenedzsment a menethelyzettől és az akkumulátor állapotától függően változtatja a célfeszültséget: gyorsításkor csökkentheti, lassításkor rekuperációs céllal növelheti.
2. A szabályozó csökkenti a gerjesztőáram I_g értékét, így a fluxus és ezzel az indukált feszültség visszaesik a célértékre.
3. Az IBS az akkumulátor negatív pólusán méri az áramot, a feszültséget és a hőmérsékletet, majd ebből SoC-t és SoH-t becsül.
4. Azért, hogy az akkumulátor ne merüljön le mélyen, és mindig maradjon elegendő energia az indításhoz, ugyanakkor a komfortszolgáltatások is minél tovább működjenek.
5. $t = 35\,\text{Ah} / 0{,}08\,\text{A} = 437{,}5\,\text{h} \approx 18{,}2$ nap.

1. feladat megoldása. Az energiamenedzsment figyelembe veszi az akkumulátor töltöttségi szintjét és öregedési állapotát, az akkumulátor hőmérsékletét, a pillanatnyi villamos terhelést, a motor fordulatszámát, a menetdinamikai állapotot (gyorsítás, motorfékezés), valamint a komfortrendszerek (klíma, fűtés) igényeit.

2. feladat megoldása. A mechanikus szabályozó elektromágnessel és nyitóérintkezővel kapcsolgatja a gerjesztőkört. A MOSFET-es szabályozóban félvezető kapcsoló végzi a kapcsolgatást nagy frekvencián, kopás nélkül, az impulzusok kitöltési tényezőjével pontosabban és gyorsabban szabályozva az átlagos gerjesztőáramot.

3. feladat megoldása. A nagy kitöltési tényező arra utal, hogy a szabályozó maximálisan próbálja hajtani a generátort, de a tényleges feszültség nem éri el a célértéket. Ez nagy valószínűséggel a generátor teljesítményhiányát jelenti a terheléshez képest: kimerült vagy hibás forgórész, kopott csúszógyűrű, gyenge diódahíd, vagy a szabályozó teljesítménykapcsolójának meghibásodása.

4. feladat megoldása. A hagyományos szabályozó csak belső referenciafeszültséget és belső érzékelőket használ, önállóan tartja a feszültséget. A LIN-vezérelt szabályozónak van egy `LIN` adatbuszcsatlakozója is; a vezérlőegység célfeszültséget, terhelésválasz-korlátokat küld, és diagnosztikai adatokat kérdez le. Az áramútrajzon ezért egyetlen adatvezeték fut a szabályozó és a fedélzeti hálózati modul között (a LIN egyvezetékes soros busz, a jel a testhez képest értelmezett).

5. feladat megoldása. Az IBS a negatív póluson át folyó teljes áramot méri. Ha a töltő negatív kábelét közvetlenül a pólusra kötjük, a töltőáram a szenzort megkerülve folyik be, tehát az IBS nem látja a betáplált töltést. Az energiamenedzsment úgy érzékeli, mintha az akkumulátor felé nem történt volna töltés, és hibás SoC-értékkel dolgozik tovább. A töltő negatív csipeszét a gyártó által kijelölt karosszéria-testpontra kell kötni, hogy a töltőáram az IBS-en át folyjon, és a mért áram a tényleges fizikai árammal egyezzen.

6. feladat megoldása. A motor hőmérséklete és a biztonsági öv feltétele rendben van. A SoC 65% értéke viszont a legtöbb start-stop rendszerben nem éri el a működéshez szükséges küszöböt (jellemzően 70–80% fölött). A legvalószínűbb ok, hogy az új akkumulátor nincs regisztrálva a rendszerben, vagy az IBS kalibrációja hibás maradt, így az energiamenedzsment a régi, öreg akkumulátor becsült paramétereivel számol.

28.3.13. Rövid összefoglaló

A feszültségszabályozó a generátor gerjesztőáramát szabályozza: nagyobb fordulatszámon csökkenti, nagyobb terhelésnél növeli, így tartja a feszültséget a kívánt tartományban. A régi mechanikus érintkezős szabályozót a mai járművekben félvezetős kapcsolóval működő, PWM-jelű szabályozó váltotta fel, amely multifunkciós kivitelben DFM-monitorjelet ad. A korszerű generátorok LIN-vezéreltek, és az energiamenedzsment – az IBS akkumulátor-szenzor és a motorvezérlő adatai alapján – tudatosan változtatja a töltőfeszültséget: gyorsításkor csökkenti, fékezéskor rekuperációval emeli. A fogyasztó-lekapcsolás, a start-stop feltételrendszere és a nyugalmi áramfelvétel mind ugyanennek az energiagazdálkodásnak a részei. A mai autón a töltőfeszültség nem egyetlen állandó érték, hanem a rendszerállapotot jellemző jel.

Továbbvitt eredmény. A töltőfeszültség-szabályozás és az energiamenedzsment ismeretét használjuk az Indítómotorok alfejezetben a start-stopos indítás elemzéséhez, a Hibrid és elektromos hajtások áttekintése alfejezetben a 12 V-os és HV-hálózat együttműködéséhez, valamint a(z) Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája alfejezetben a töltés- és nyugalmi áram hibakereséséhez.

28.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: járműgyártói javítási utasítások és szervizinformációk (áramút- és potenciáltervek, energiamenedzsment-élőadatok, akkumulátor-regisztrációs eljárások), a DIN 72552 kapocsjelölés, az MSZ EN IEC 60617 szabvány a rajzjelekre, valamint az akkumulátor- és töltőrendszerre vonatkozó gyártói és nemzetközi szabványi előírások.

Ellenőrizendő állítások: a DIN 72552 kapocsjelölések pontos alkalmazása (`B+`, `D+`, `DF`, `15`, `31`) a típusfüggő gyártói rajz szerint; a célfeszültség-értékek hőmérsékletfüggő tartományai (14,0–14,8 V);

a LIN-vezérlésű szabályozó funkcióblokkjai; az IBS által becsült SoC/SoH start-stop küszöbértékek; a nyugalmi áramfelvétel jellemző határértékei (20–50 mA); a start-stop rendszer konkrét működési feltételei. Minden javítási beavatkozás előtt a gyártói javítási útmutatót és járműspecifikus adatbázist kell ellenőrizni.

29 Indítás és gyújtás

29.1. Indítómotorok

29.1.1. Motiváció

Téli reggelen az ügyfél telefonál: „csak kattan egyet az autó, de nem indul”. A műhelyben először sokaknak az akkumulátor jut eszébe, de a hibás indítómotor, a meglazult testkábel vagy a kopott mágneskapcsoló is pontosan ugyanezt a tünetet okozhatja. Ahhoz, hogy céltudatosan, alkatrészcsere-lottó nélkül keressük meg a hibát, ismernünk kell az indítókör áramútját, a mágneskapcsoló behúzó- és tartótekercsének szerepét, valamint az indítómotor nyomaték–fordulatszám jelleggörbéjét. Ebben az alfejezetben a műhelyi beméréshez szükséges villamos és mechanikai alapokat építjük fel.

29.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy soros benzinmotort a motortérben. Az indítómotor hengeres teste a váltóharanghoz van csavarozva, tengelyén egy kis fogaskerék (az indítófogaskerék) kapcsolódik a lendkerék fogkoszorújához. Az indítómotor hátulján két vastag rézkábel-kötést látsz: az egyik közvetlenül az akkumulátor pozitív sarujáról jön (30-as áramkör), a másik a mágneskapcsoló motor felé menő kimenete. Mellette egy vékonyabb vezeték (50-es áramkör) vezet a gyújtáskapcsoló indítóállásából a mágneskapcsoló vezérlőbemenetére. Indításkor először a vékony vezetéken folyó kisebb áram működteti a mágneskapcsolót, amely betolja a fogaskereket a fogkoszorúba, és csak ezután zárja be a vastag főáramkört. A motor nagy nyomatéka megforgatja a főtengelyt, amíg a motor saját erejéből be nem indul.

29.1.3. Indítási feltételek és teljesítményszükséglet

A belső égésű motor nem képes nulla fordulatszámról saját erőből elindulni, ezért külső nyomatékra van szüksége. Az indítás során le kell győzni:

- a dugattyúk, a csapágyak és a szelepvezérlés súrlódási nyomatékát,
- a hideg motorolaj nagyobb viszkozitásából származó ellenállást,
- a sűrítési ütemek kompressziós ellenállását,
- a járulékos hajtások (olajszivattyú, vízpumpa, adagoló) ellenállását.

Definíció. Az *indítási fordulatszám* az a legkisebb főtengely-fordulatszám, amelyen a keverékképzés, a kompresszió és a gyújtás már megbízhatóan létrehozza az első égést. Személyautóknál ez Otto-motoron jellemzően 80–120 1/min, dízelmotornál 150–250 1/min nagyságrendű `(ellenőrizendő: gyártói adat, típusfüggő)`. Indítási segédberendezés nélküli dízelmotor hidegben ennél jóval magasabb fordulatot is igényelhet.

Összefüggés. Az indítómotor villamos teljesítményfelvétele az egyszerű egyenáramú teljesítményképlettel számolható:

$$P = U \cdot I$$

ahol U az indítómotor kapcsain mérhető feszültség, I az indítóáram. A gyakorlatban a névleges 12 V-ból az indításkori nagy áram miatt csak 9–11 V jut az indítómotorra, így a leadott mechanikai teljesítmény kisebb, mint amit a 12 V-tal számolnánk.

Számítás. *Adott:* indítómotor kapocsfeszültsége $U = 10\,\mathrm{V}$, indítóáram $I = 180\,\mathrm{A}$. *Keresett:* a felvett villamos teljesítmény. *Képlet:* $P = U \cdot I$. *Behelyettesítés:* $P = 10\,\mathrm{V} \cdot 180\,\mathrm{A} = 1800\,\mathrm{W} = 1{,}8\,\mathrm{kW}$. *Eredmény:* a motor 1,8 kW villamos teljesítményt vesz fel. *Ellenőrzés:* a tipikus személyautó-indítómotor 1,0–2,5 kW névleges teljesítményű, így az eredmény reális nagyságrendű. ∎

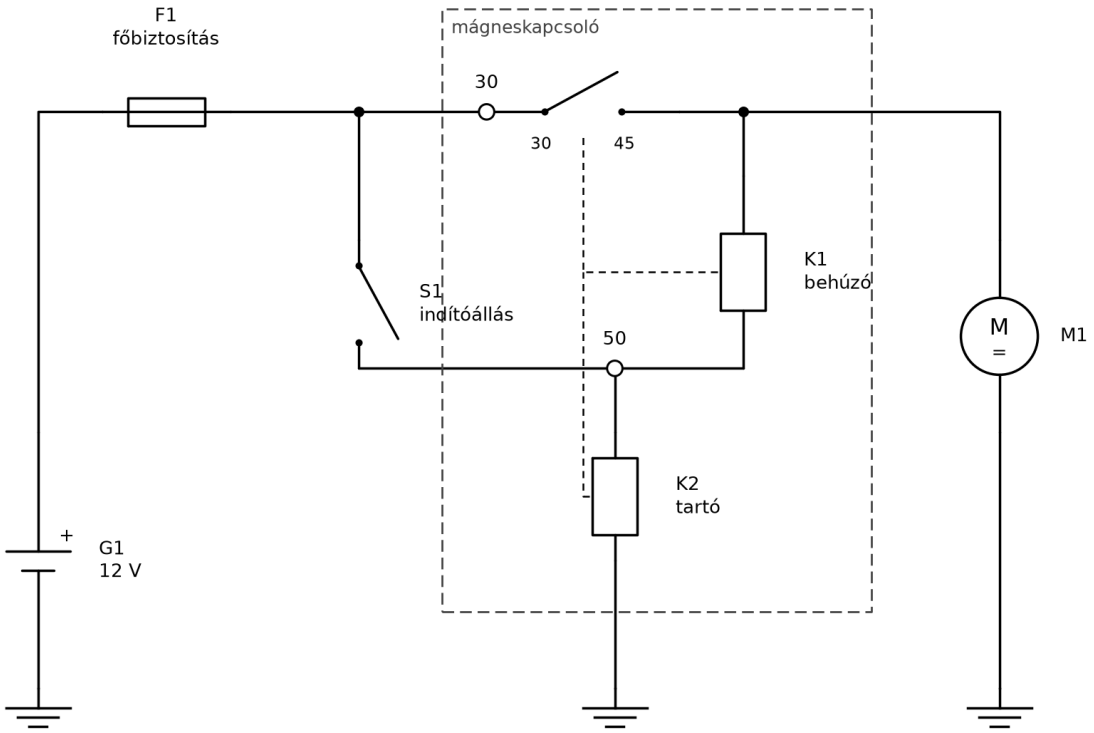
29.1.4. Az indítómotor működése

Felépítés és működés. A hagyományos indítómotor *soros gerjesztésű egyenáramú motor*, amelynek armatúratekercse és gerjesztőtekercse sorba van kapcsolva. Ennek előnye, hogy a nyomaték nemlineárisan nő az árammal: kis fordulatszámon nagy áram folyik, a gerjesztőfluxus is nagy, ezért igen nagy indítónyomaték keletkezik. Ahogy a motor felpörög, az indukált ellenfeszültség nő, az áram és a nyomaték csökken. A soros gerjesztésű motort **tilos** terhelés nélkül járatni, mert a terhelés csökkenésével az áram és a fluxus csökken, a motor pedig veszélyesen felgyorsulhat, sőt szétszakadhat a forgórésze.

Mágneskapcsoló. Az indítómotor nagy áramát nem kapcsoljuk közvetlenül a gyújtáskapcsolóval, mert az semmilyen praktikus utastéri kapcsolót nem bírna el. Ehelyett az 50-es kapcson keresztül egy *mágneskapcsolót* (behúzó relét) vezérlünk, amely két tekercset tartalmaz:

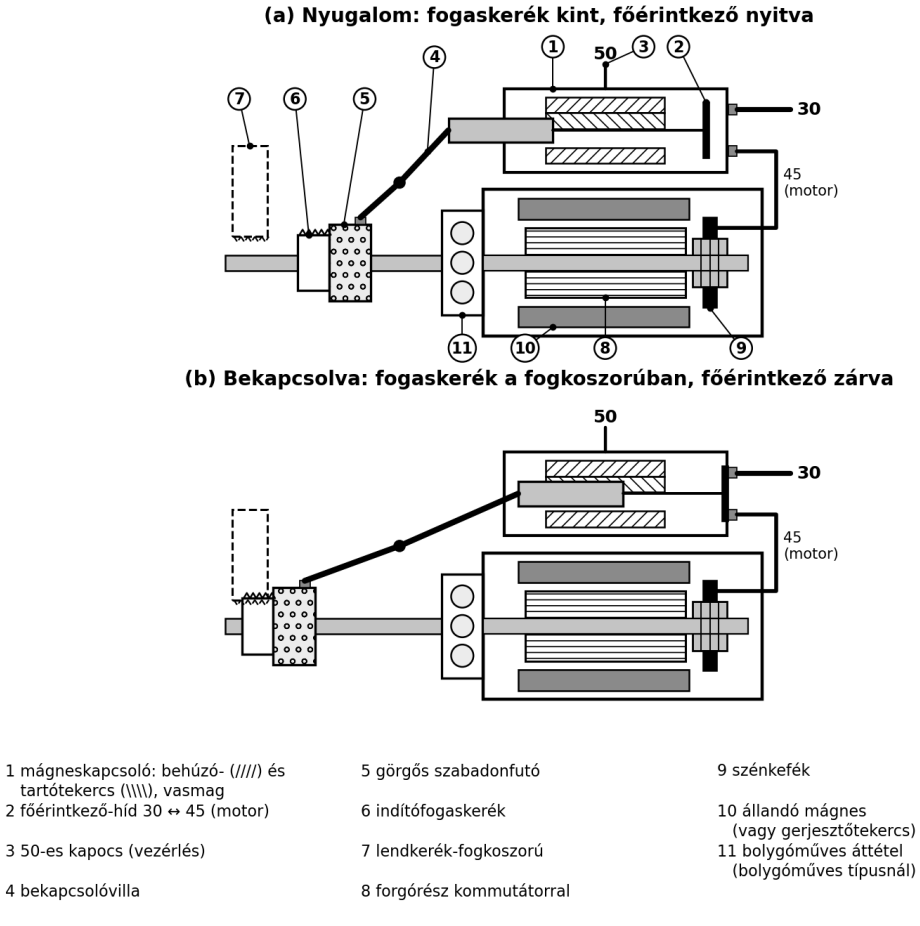
- **Behúzótekercs (vonótekercs):** az 50-es kapocsról a motoron keresztül a testre záródik, így az indítómotorral sorba kapcsolódik. Indításkor ez hozza létre a mágneses erőt, amely a kapcsolóhorgonyt és a villán keresztül a fogaskereket a fogkoszorúba tolja.
- **Tartótekercs:** az 50-es kapocsról közvetlenül a testre záródik, és a behúzás után is fenntartja a mágneskapcsoló behúzott állapotát.

Amikor a horgony a véghelyzetbe ér, a mágneskapcsoló főérintkezője zárja a 30-as kapocs és a motor közötti áramkört. Ekkor a behúzótekercs két oldala közel azonos feszültségre kerül, ezért gyakorlatilag kikapcsolódik, és csak a tartótekercs dolgozik. A behúzótekercs soros bekötése tehát két célt szolgál: korlátozza a kezdeti áramot, és biztosítja, hogy a fogaskerék akkor kapjon nyomatékot, amikor már kellően mélyen benne van a fogkoszorúban.



29.1. ábra. Az indítókör elvi kapcsolási rajza: 30-as főáramkör és 50-es vezérlőáramkör - Alapállapot: gyújtáskapcsoló nyitva, mágneskapcsoló kiengedve, a 30–45 főérintkező nyitott. Vezérlés: 50 → K1 behúzótekercs → 45 → M1 → test, és 50 → K2 tartótekercs → test. A főérintkező zárása után a 30-as kapocs közvetlenül a motorra kapcsol. A főáramkör biztosítása járműfüggő (ellenőrizendő: gyártói rajz).

Az áramút követése: indításkor az 50-es kapocsra kerülő feszültség a behúzótekercsen keresztül az indítómotor armatúráján át a testre záródik, a tartótekercs pedig közvetlenül a testre. A behúzótekercs és a motor soros ellenállása korlátozza ezt a vezérlőáramot. Amikor a főérintkező zár, a 30-as kapocsról a teljes indítóáram a motorra folyik, és a behúzótekercs kikapcsolódik.



1 mágneskapcsoló: behúzó- (////) és tartótekercs (\\\\), vasmag
2 főérintkező-híd 30 ↔ 45 (motor)
3 50-es kapocs (vezérlés)
4 bekapcsolóvilla
5 görgős szabadonfutó
6 indítófogaskerék
7 lendkerék-fogkoszorú
8 forgórész kommutátorral
9 szénkefék
10 állandó mágnes (vagy gerjesztőtekercs)
11 bolygóműves áttétel (bolygóműves típusnál)

29.2. ábra. Az indítómotor metszete nyugalomban és bekapcsolt állapotban

A metszet (a) része a nyugalmi állapotot mutatja (fogaskerék kint, főérintkező nyitva), a (b) része a bekapcsoltat (a fogaskerék a fogkoszorúban, az érintkezőhíd zárja a 30-as és a 45-ös kapcsot). Az interaktív változat lépésenként végigvezet a folyamaton, és a „csak kattan” esetet is megmutatja.

Szabadonfutó. Az indítófogaskereket *szabadonfutó* védi. Miután a motor beindul, a lendkerék hirtelen felgyorsul, és a fogaskerék fordulatszáma sokkal nagyobb lenne, mint az indítómotoré. A szabadonfutó csak egy irányban visz át nyomatékot: indításkor az indítómotor hajtja a lendkereket; túlfutáskor a fogaskerék szabadon forog, így a lendkerék nem hajtja vissza az armatúrát. Enélkül a forgórész szétszakadna a nagy centrifugális erőtől.

29.1.5. Indítómotor-típusok

Csúszófogaskerekes (Bendix) indítómotor. A klasszikus, régebbi konstrukcióban az indítófogaskerék a motor tengelyén lévő meredek csavarmenetre van szerelve. Amikor az indítómotor forgásnak indul, a fogaskerék a tehetetlensége miatt a meneten kifelé csúszik, és bekapcsolódik a fogkoszorúba. Ha a motor beindul, a gyorsabban forgó lendkerék a csavarmeneten visszahajtja a fogaskereket alaphelyzetbe (ennél az egyszerű kivitelnél nincs külön szabadonfutó). Előnye az egyszerű felépítés, hátránya, hogy a kapcsolódás rángatós, és a fogaskerék fogai nagyobb terhelést kapnak.

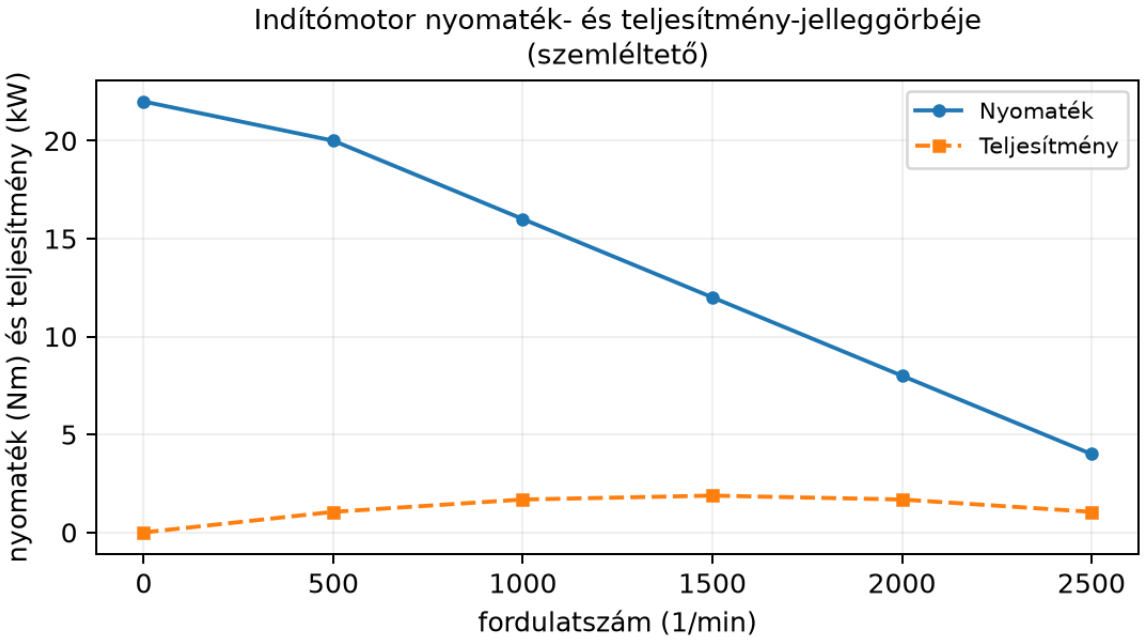
Tolófogaskerekes indítómotor. A modern személyautó-indítómotorok leggyakoribb típusa. A mágneskapcsoló először a villán keresztül betolja a fogaskereket a fogkoszorúba, és csak a teljes kapcsolódás után zárja a főáramkört. A fogak így kíméletesebben kapcsolódnak, a szerkezet halkabb, és a fogkopás is kisebb.

Csúszóarmatúrás indítómotor. Ritkább, főleg régebbi nehéz járműveken alkalmazott megoldás, ahol a teljes armatúra tengelyirányban elmozdul, hogy a fogaskerék bekapcsolódjon. A szerkezeti felépítés egyszerűbb, de a nagy elmozduló tömeg miatt lassabb a kapcsolódás.

Belső áttételes (bolygóműves) indítómotor. Az indítómotor tengelye és a kihajtó fogaskerék közé bolygóműves áttétel, ritkábban homlokkerék-áttétel kerül. Az armatúra így kisebb méretű és kisebb tömegű lehet, miközben a kihajtó tengelyen nagy nyomaték keletkezik. A kompakt, könnyű felépítés miatt a modern, start-stop rendszerű járművekben is elterjedt.

29.1.6. Jelleggörbe és a nagy indítóáram következményei

Az indítómotor nyomatéka M és fordulatszáma n közötti kapcsolatot a soros gerjesztésű motor jelleggörbéje mutatja. Álló forgórésznél (n = 0) az áram a legnagyobb, mert nincs indukált ellenfeszültség. A nyomaték itt maximális, ezért az indítómotor éppen a legnehezebb, álló állapotban adja a legnagyobb „megszakító” nyomatékot. Ahogy a motor felpörög, az áram és a nyomaték csökken. A teljesítménygörbe a nyomatékgörbéből számolható: $P = M \cdot 2\pi n/60$ (például 1500 1/min-nél $12\,\mathrm{Nm} \cdot 2\pi \cdot 1500/60 \approx 1{,}88\,\mathrm{kW}$).



29.3. ábra. Indítómotor nyomaték- és teljesítmény-jelleggörbéje (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor egy kb. 1,9 kW-os indítómotorra; a teljesítmény a nyomatékból számolt: P = M · 2Пn/60. Nem mért érték.

A nagy indítóáram következményeit a gyakorlatban feszültségesésként mérjük. Egy 4 hengeres benzinmotor hidegindításakor 150–400 A, nagy dízelmotornál 600–1000 A is folyhat (`ellenőrizendő: járműspecifikus gyártói adat`). Ha az indítókábel vagy a testcsatlakozás csak néhány milliohm, de a nagy áram miatt a feszültségesés mégis jelentős.

Számítás. *Adott:* indítókábel ellenállása $R = 0{,}002\,\Omega$, indítóáram $I = 400\,\mathrm{A}$. *Keresett:* a kábelen eső feszültség. *Képlet:* $U = R \cdot I$. *Behelyettesítés:* $U = 0{,}002\,\Omega \cdot 400\,\mathrm{A} = 0{,}8\,\mathrm{V}$. *Eredmény:* a kábel önmagában 0,8 V-ot ejt, így az indítómotor kapcsaira csak körülbelül 11 V jut a 12 V-ból. *Ellenőrzés:* a gyakorlati irányérték a teljes indítókörön legfeljebb 0,5–1 V feszültségesés (`ellenőrizendő: gyártói javítási adat`). ∎

29.1.7. Start-stop indítók és indítógenerátor röviden

A start-stop rendszerű járművekben az indítómotort nagyon sok indítási ciklusra tervezik, ezért megerősített csapágyazást, keféket és szabadonfutót kap. A cél a gyors, alacsony zajú és kis energiafogyasztású újraindítás. Egyes modern hajtásokban az indítómotor és a generátor szerepét *indítógenerátor* (ISG) veszi át, amely a lendkerék helyére vagy a főtengelyre szerelt villamos gép. Ez indításkor motorként hajt, menet közben generátorként tölt, és lehetővé teszi a belső égésű motor finom, ciklusos leállítását és újraindítását.

29.1.8. Minőségellenőrzés

Az indítórendszer ellenőrzésekor a következő méréseket végezzük el, mindig a gyártói javítási adatokkal összehasonlítva:

1. **Akkumulátor üresjárati feszültsége:** leállított motornál legalább 12,4 V, hideg időben 12,6 V körüli érték (`ellenőrizendő: akkumulátorgyártói adat`).
2. **Feszültségesés a 30-as főáramkörön:** indítás közben a pozitív kábelen legfeljebb 0,5 V, a testoldalon legfeljebb 0,3 V (`ellenőrizendő: gyártói adat`).
3. **Feszültségesés az 50-es vezérlőáramkörön:** indítás közben a kapcson mérve a gyártói érték alatt marad, jellemzően 0,5 V alatt (`ellenőrizendő: gyártói adat`).
4. **Indítóáram és indítási fordulatszám:** a mért értékeket a gyártói jelleggörbével hasonlítjuk össze. Túl nagy áram kis fordulatszámmal mechanikai ellenállásra (berágódás, hideg olaj) vagy belső zárlatra utal; kis áram kis fordulatszámmal nagy átmeneti ellenállásra (testkábel, saru, kopott kefe); kis áram nagy fordulatszámmal könnyen forgó motorra (például kompressziós hiba) utal.

29.1.9. Valós életbeli alkalmazás: „csak kattan az autó”

Egy 1,6 literes, start-stop nélküli benzines autó tulajdonosa azt panaszolja, hogy a motor nem indul, csak egyetlen kattanás hallatszik. A műhelyben az akkumulátor üresjárati feszültsége 12,5 V, ami megfelelő. A gyújtáskapcsoló indítóállásában az 50-es kapcson 12 V mérhető. A 30-as kapocson szintén 12 V van. Indítás közben a motor nem forog; a feszültségesés-mérés a pozitív oldalon 0,3 V-ot, a testoldalon (motorblokk és akkumulátor negatív sarka között) 4,8 V-ot mutat, és a testkábel saruja melegszik. A hiba a testkábel nagy átmeneti ellenállása (korrózió, laza saru), nem maga az indítómotor. A javítás a kötések tisztítása és a korrodált testkábel cseréje után az indítókör teljes feszültségesés-mérésével ellenőrizhető.

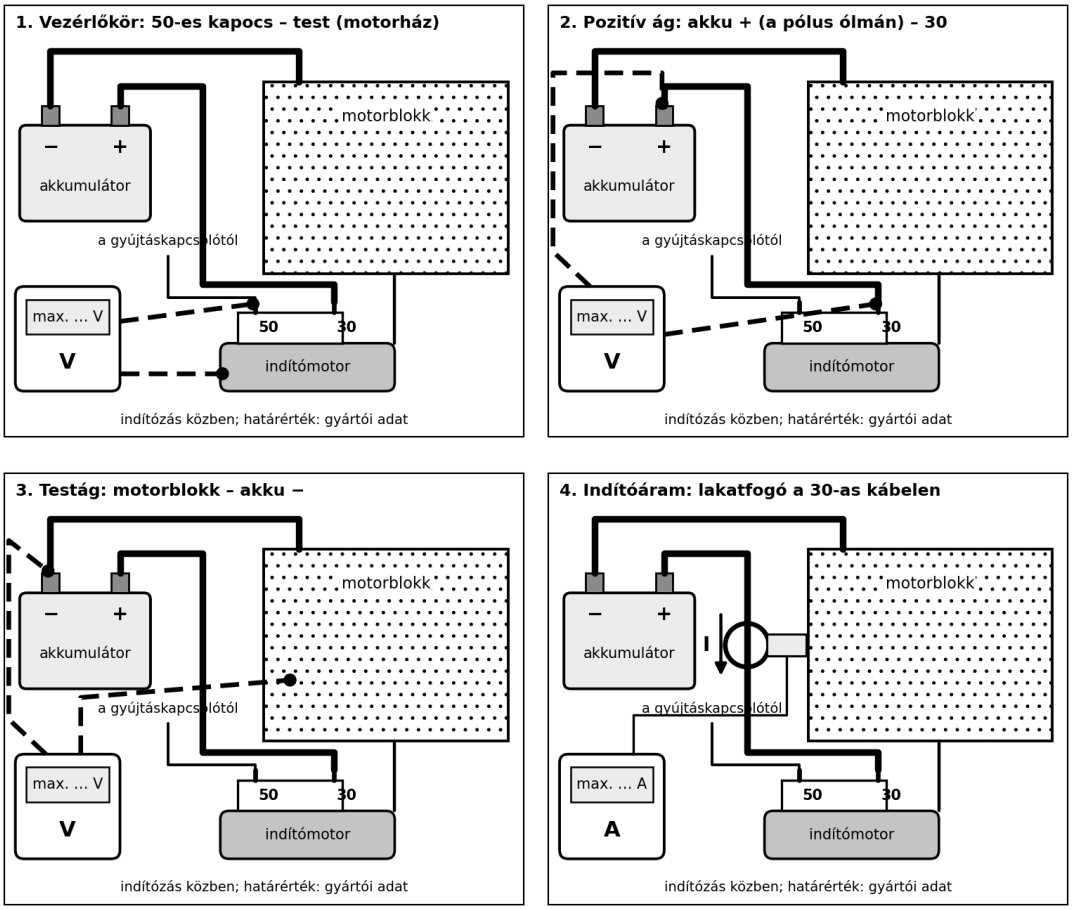
29.1.10. Gyakorlati útmutató – indítókör feszültségesés-mérése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Javítás előtt győződjünk meg arról, hogy a váltó üresben van, a rögzítőfék be van húzva, és a kerekek kerékékkel biztosítottak (automata váltónál P állásban). A motor beindulását a gyártói eljárás szerint tiltsuk le (például

befecskendezés- vagy üzemanyag-szivattyú-biztosíték, diagnosztikai funkció), mert a mérés közben forgó szíjhajtás van a mérőzsinórok közelében. Egy indítási próba legfeljebb 5–10 s legyen, utána legalább 30–60 s szünet (ellenőrizendő: gyártói adat). A forgó alkatrészektől, a laza ruházattól és a nagy áramú kötésektől tartsunk megfelelő távolságot.

Cél: az indítókör nagy ellenállású hibáinak kimutatása feszültségesés-méréssel.

1. **Jármű- és adatazonosítás:** rögzítsük a jármű azonosítóját, motorszámát és a gyártói indítási adatokat.
2. **Szerszámok:** digitális multiméter, indítóáram-lakatfogó, mérőzsinórok, akkumulátor-tesztelő, biztosítékkihúzó.
3. **Munkavédelmi lépések:** viseljünk védőszemüveget; az akkumulátor savval és durranógázzal jár, tűzforrás nem lehet a közelben; a méréshez ne érintsünk forgó részeket.
4. **Nyugalmi feszültség mérése:** mérjük az akkumulátor kapocsfeszültségét, és jegyezzük fel.
5. **50-es vezérlőáramkör ellenőrzése:** multimétert csatlakoztassunk az 50-es kapocs és a test közé, majd kérjük meg az oktatót az indításra. A feszültségnek közel az akkufeszültségnek kell lennie.
6. **30-as főáramkör feszültségesése:** csatlakoztassuk a multimétert az akkumulátor pozitív saruja és az indítómotor 30-as kapcsa közé. Indítás közben olvassuk le az értéket: túlzottan magas érték a pozitív oldali kötések, kábelek hibájára utal.
7. **Testoldali feszültségesés:** csatlakoztassuk a műszert a motorblokk és az akkumulátor negatív saruja közé. Indítás közben itt is mérjünk.
8. **Indítóáram mérése:** lakatfogóval mérjük a 30-as kábelen folyó áramot indítás közben, és hasonlítsuk össze a gyártói jelleggörbével.
9. **Dokumentálás:** a mért értékeket rögzítsük a munkalapon, és hasonlítsuk össze a gyártói irányértékekkel.



29.4. ábra. Feszültségesés-mérés az indítókörön: mérőzsinórok és lakatfogó helye

A négy képkocka az 5–8. lépés mérési elrendezését mutatja: az 50-es kapocs és a test, az akkumulátor pozitív pólusa (a pólus ólmán) és a 30-as csavar, a motorblokk és a negatív pólus között mért feszültséget, valamint a 30-as kábelre tett lakatfogót, nyíllal az áram irányára. A megengedett értékeket a gyártói adat adja.

A mérés közben fellépő tipikus hibák: rossz mérőcsatlakozás, az indítás túl hosszú ideig tartó működtetése, a mérés közben a főáramkörű csatlakozó érintése. A mérések után a gyújtást kapcsoljuk ki, és húzzuk le a műszer csatlakozóit.

29.1.11. Tipikus hibák

1. **„Ha kattan, az indítómotor rossz.”** A mágneskapcsoló kattanása nem jelenti automatikusan az indítómotor hibáját. A gyenge akkumulátor, a laza testkábel vagy a korrodált saru is okozhatja ezt a tünetet, mert a behúzótekercs behúz, de a tartótekercs nem kap elég feszültséget, és a főáramkör nem kap áramot.
2. **„A 12 V mérése elegendő az indítókör ellenőrzéséhez.”** Terhelés nélkül, nyugalmi állapotban a rozsdás, laza kötés is mutathat 12 V-ot. Csak terhelés alatti feszültségesés-mérés mutatja meg a valódi hibát.
3. **„Az indítómotor megszalad, ha kiveszem a lendkerékből.”** A soros gerjesztésű motort terhelés nélkül járatni veszélyes, mert a fordulatszám a mechanikai tűréshatáron túl nőhet. Csak a gyártói javítási utasításban engedélyezett próbaüzemet végezzünk.

4. **„A szabadonfutó csak kopásvédelmi elem.”** A szabadonfutó nélkül a beinduló motor tönkretenné az indítómotort. Helyes működése nélkül az indítófogaskerék nem kapcsolódik ki, és a motor túlpörög.

29.1.12. Önellenőrzés

1. Mi a szerepe a behúzótekercsnek és a tartótekercsnek a mágneskapcsolóban?
2. Miért tilos terhelés nélkül járatni a soros gerjesztésű indítómotort?
3. Mekkora a feszültségesés, ha az indítókábel ellenállása 0,0015 Ω és az áram 600 A?
4. Miben különbözik a csúszófogaskerekes indítómotor a tolófogaskerekestől?
5. Miért használnak belső áttételes indítómotort a start-stop rendszerekben?
6. Mi a hiba ebben a leírásban: „A mágneskapcsoló főérintkezője zárja a 30-as kapocs és az 50-es kapocs közötti áramkört”?

29.1.13. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a mágneskapcsoló két tekercsét, és írd le, melyik milyen szerepet tölt be az indítási ciklus alatt.

2. feladat (A) Egy indítómotor 9 V kapocsfeszültségen 220 A áramot vesz fel. Számítsd ki a felvett villamos teljesítményt.

3. feladat (B) Egy indítókör vezetékeinek és kötéseinek ellenállása 0,004 Ω, a megfogott (álló) indítómotoré 0,021 Ω, az akkumulátor feszültsége 12,6 V (a belső ellenállást elhanyagoljuk). Mekkora a körben folyó áram, és mekkora az indítómotor kapocsfeszültsége?

4. feladat (B) Rajzold le az indítókör áramútját: akkumulátor → 30-as kapocs → mágneskapcsoló → indítómotor → test; valamint akkumulátor → gyújtáskapcsoló → 50-es kapocs → behúzó- és tartótekercs → test. Használd a kapocsjelöléseket.

5. feladat (C) Egy start-stop rendszerű autó indítómotorja indítás közben 600 A csúcsáramot vesz fel, az akkumulátor kapocsfeszültsége indítás közben 11,0 V. A pozitív kábel ellenállása 0,0012 Ω, a testoldali 0,0008 Ω. Számítsd ki a teljes feszültségesést a kábelezésben, és magyarázd el, miért romlik a motor indítási teljesítménye.

6. feladat (D) Egy autó indításkor lassan forgatja a motort, de az akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,4 V. Indítás közben az akkumulátor kapcsain 10,9 V-ot, az indítómotor 30-as kapcsán (a testhez képest) 9,6 V-ot mérünk, a testoldalon pedig 0,5 V feszültségesést. Mi a legvalószínűbb hiba? Indokold a mérési értékek alapján.

29.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A behúzótekercs indításkor a motortalppal sorba kötve hozza létre a fogaskereket benyomó erőt, és korlátozza a kezdeti áramot; a tartótekercs a behúzott állapotot tartja fenn a főérintkező zárása után.
2. Soros gerjesztésnél a csökkenő terhelés csökkenti az áramot és a fluxust, a fordulatszám pedig veszélyesen megnőhet, ami a forgórész szétrepüléséhez vezethet.
3. $U = 0{,}0015\,\Omega \cdot 600\,\mathrm{A} = 0{,}9\,\mathrm{V}$.

4. A csúszófogaskerekes (Bendix) indítómotorban a forgás csavarja a fogaskereket a fogkoszorúba; a tolófogaskerekesben a mágneskapcsoló tolja be a fogaskereket, és csak ezután zárja a főáramkört.
5. A belső áttételes indítómotor kisebb, könnyebb, mégis nagy nyomatékot ad, és jobban bírja a start-stop üzem nagyszámú indítási ciklusát.
6. A főérintkező a 30-as kapocs és az indítómotor (45-ös motoroldali ág) között zár; az 50-es kapocs csak a mágneskapcsoló vezérlőtekercseit táplálja.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A) A mágneskapcsolóban *behúzótekercs* és *tartótekercs* van. A behúzótekercs indításkor a motoron keresztül záródik a testre, ez hozza létre a fogaskereket benyomó erőt, és korlátozza a kezdeti áramot. A tartótekercs közvetlenül a testre záródik, és a behúzás után is fenntartja a mágneskapcsoló behúzott állapotát. A főérintkező zárása után a behúzótekercs gyakorlatilag kikapcsol.

2. feladat (A) Adott: $U = 9\,\mathrm{V}$, $I = 220\,\mathrm{A}$. Keresett: P. Képlet: $P = U \cdot I$. Behelyettesítés: $P = 9\,\mathrm{V} \cdot 220\,\mathrm{A} = 1980\,\mathrm{W}$. Eredmény: 1,98 kW. Ellenőrzés: reális érték egy személyautó-indítómotorra. ∎

3. feladat (B) Adott: $R = 0{,}004 + 0{,}021 = 0{,}025\,\Omega$, $U_{\mathrm{akku}} = 12{,}6\,\mathrm{V}$. Keresett: I és az indítómotor kapocsfeszültsége. Képlet: $I = U/R$. Behelyettesítés: $I = 12{,}6\,\mathrm{V}/0{,}025\,\Omega = 504\,\mathrm{A}$. A motoron: $U_{\mathrm{motor}} = 504\,\mathrm{A}\cdot 0{,}021\,\Omega \approx 10{,}6\,\mathrm{V}$; a vezetéken és kötéseken $504\,\mathrm{A}\cdot 0{,}004\,\Omega \approx 2{,}0\,\mathrm{V}$ esik (összesen 12,6 V). Eredmény: az áram 504 A, a motor kapocsfeszültsége kb. 10,6 V. Megjegyzés: a 2,0 V vezetékoldali esés jóval a gyakorlati irányérték (0,5–1 V) fölött van, ezért ez a kör már hibás kötésre utalna. ∎

4. feladat (B) A kapcsolási rajz megegyezik az alfejezetben bemutatott indítókörrel: a 30-as kapocs az akkumulátorról a mágneskapcsoló főérintkezőjére, onnan a motorra, majd a testre vezet. Az 50-es kapocs a gyújtáskapcsolóról a behúzó- és tartótekercsre kerül. A behúzótekercs a motoron át záródik a testre, a tartótekercs közvetlenül a testre.

5. feladat (C) A pozitív oldali feszültségesés: $U_{\mathrm{poz}} = 0{,}0012\,\Omega \cdot 600\,\mathrm{A} = 0{,}72\,\mathrm{V}$. A testoldali: $U_{\mathrm{test}} = 0{,}0008\,\Omega \cdot 600\,\mathrm{A} = 0{,}48\,\mathrm{V}$. A teljes esés: $0{,}72 + 0{,}48 = 1{,}2\,\mathrm{V}$. Az indítómotorra így csak $11{,}0 - 1{,}2 = 9{,}8$ V jut, ami a leadott teljesítményt és a fordulatszámot egyaránt csökkenti, ezért a motor indítása bizonytalanabb.

6. feladat (D) A pozitív oldali feszültségesés: $10{,}9 - 9{,}6 = 1{,}3\,\mathrm{V}$, a testoldali 0,5 V; mindkettő meghaladja a gyakorlati irányértéket (0,5 V, illetve 0,3 V; ellenőrizendő: gyártói adat). Az akkumulátor kapocsfeszültsége indítás közben a belső ellenállás miatt eleve 10–11 V-ra esik, ezért nem a 12,4 V nyugalmi értékhez, hanem terhelés alatt, közvetlenül a két pont között mért esést kell nézni. A legvalószínűbb hiba a pozitív főkábel vagy kötései, valamint a testkábel nagy átmeneti ellenállása (korrózió, laza saru), nem maga az indítómotor.

29.1.15. Rövid összefoglaló

Az indítómotor soros gerjesztésű egyenáramú motor, amelyet azért használnak, mert indításkor nagy nyomatékot ad, és jelleggörbéje a hideg motorhoz illeszkedik. A mágneskapcsoló behúzótekercse a motoron keresztül záródik, a tartótekercs közvetlenül a testre, így a főérintkező csak a fogaskerék bekapcsolódása után zár. A 30-as kapocs a főáramkört, az 50-es kapocs a vezérlőáramkört jelöli. A nagy indítóáram miatt a kábelezés és a kötések feszültségesését terhelés alatt kell mérni. A csúszófogaskerekes, tolófogaskerekes, csúszóarmatúrás és belső áttételes kivitelek eltérő kapcsolódási mechanikát képviselnek. **Továbbvitt eredmény:** a fenti kapocsjelöléseket, feszültségesés-mérési eljárást és az indítókör áramútját a Dízelmotorok indítási

segédberendezései, a(z) Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája és a Gépkezelő általános ismeretei alfejezetekben használjuk fel.

29.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Villamos gépek és indítómotorok elméleti alapjai: MSZ EN 60034 sorozat (ellenőrizendő: aktuális kiadás).
- Járművillamossági kapocsjelölés (30, 50, 45, test): DIN 72552 szerinti gyakorlat (ellenőrizendő: járműspecifikus áramútrajz).
- Indítási fordulatszámok (80–120 1/min, 150–250 1/min), indítóáram értékek, megengedett feszültségesések (0,5 V, 0,3 V): mind gyártói javítási adatok, típusonként változnak (ellenőrizendő: gyártói kézikönyv).
- A jelleggörbe adatai szemléltető tanulási adatsor, nem mért érték.

29.2. Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig

Az indítómotorral ellentétben a gyújtóberendezés nem a 12 V-ot kapcsolja közvetlenül a hengerbe, hanem rövid időre egy több tízezer voltos feszültségcsúcsot állít elő. Ha ezt a láncot elemeire bontjuk, a hibakeresés célzott lesz, nem próbálgatás.

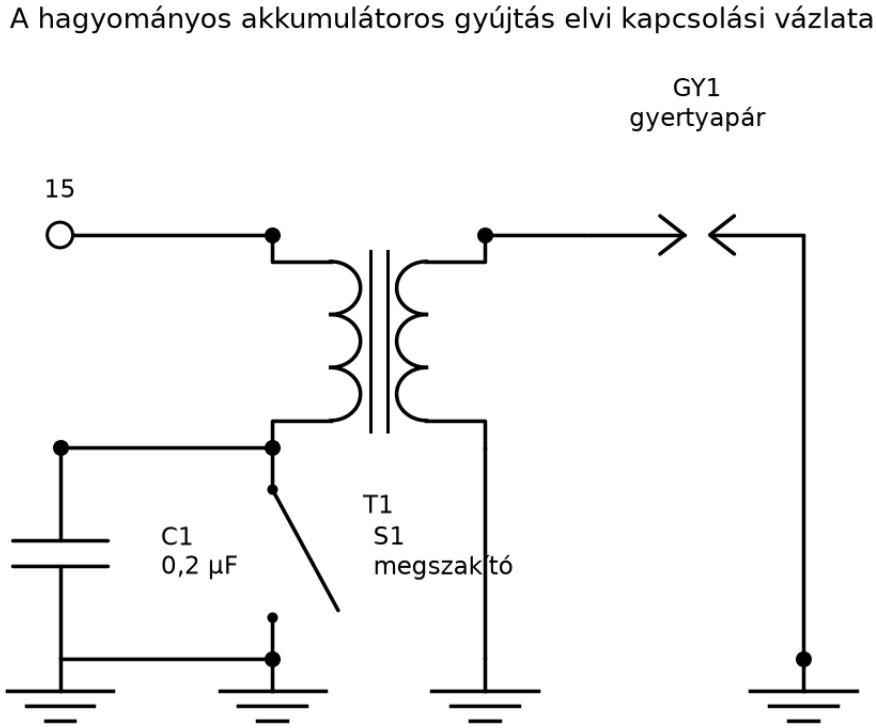
29.2.1. Motiváció

Egy műhelyben gyakori ügyfélpanasz: „az autó rosszul indul, terhelés alatt rángat, és a hibakód szerint a 2. hengeren gyújtáskimaradás van”. A szerelőnek el kell döntenie, hogy a gyertya, a gyújtókábel, a gyújtótekercs vagy a vezérlés hibás. Ehhez pontosan értenie kell, hogyan keletkezik a gyújtófeszültség, és mi a különbség egy régi megszakítós, egy elektronikus elosztós és egy korszerű, hengerenkénti tekercses rendszer diagnosztikája között. A gyújtás hibája üzemanyag-túlfogyasztást, katalizátor-károsodást és a műszaki vizsgán emissziós bukást okozhat.

29.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy közös vasmagon két tekercset: a primer tekercsre 12 V jut, a szekunder tekercsen pedig a gyertyapárra kapcsolt nagyfeszültség jelenik meg. A primer áram megszakításakor a mágneses fluxus hirtelen összeomlik, és a nagy menetszámú szekunder tekercsben rövid feszültségcsúcs indukálódik. A gyújtótekercs tehát nem folyamatosan ad nagy feszültséget, hanem csak a megszakítás pillanatában; a gyertya szikrája ennek a tárolt mágneses energiának az átalakulása.

Az alábbi kapcsolási vázlat a hagyományos akkumulátoros gyújtás elvét mutatja.



29.5. ábra. A hagyományos akkumulátoros gyújtás elvi kapcsolási vázlata - A rajz a gyújtótekercs, a megszakító, a kondenzátor és a gyertyapár kapcsolatát mutatja; a teljes járműkapcsolás gyártónként eltér. A 15-ös kapocs a gyújtáskapcsolás utáni tápfeszültség.

A rajzon a primer kör a 15-ös kapocsról a gyújtótekercs primer tekercsén, majd a megszakítón keresztül a test felé záródik. A megszakítóval párhuzamosan kötött kondenzátor csökkenti a megszakító érintkezőin keletkező ívet, és a primer oldali rezgőkörrel együtt a feszültség lefutását a kívánt alakúra hozza. A szekunder oldal a gyertyapárra kapcsolódik, ahol a nagyfeszültség átüti az elektródaközt.

29.2.3. Definíciók és alapfogalmak

A gyújtóberendezés feladata, hogy a kompresszió végén, a gyújtási időpontban megbízható szikrát adjon az égéstérben. Ehhez több jellemzőt használunk.

Definíció. Gyújtófeszültség. A gyújtótekercs szekunder oldalán megjelenő, a gyertyapár átütéséhez és a szikrakisüléshez szükséges feszültségcsúcs. Értéke jellemzően 10–30 kV, de gyenge keverék vagy nagy töltőnyomás esetén magasabb is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. Szikraenergia. A gyertyaközben leadott villamos energia. Közelítőleg a primer tekercsben tárolt mágneses energia átadott része:

$$W_{\mathrm{L}} = \frac{1}{2} L_1 I_1^2,$$

ahol L_1 a primer tekercs induktivitása, I_1 pedig a megszakítás pillanatában folyó primer áram. A gyakorlatban a gyújtórendszer akkor jó, ha a szikraenergia elég a keverék meggyújtásához; szemléltető tanulási érték 30–100 mJ (ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. Gyújtófeszültség keletkezése. Ha a primer áramot hirtelen megszakítjuk, a primer tekercsben az önindukció miatt $u_\mathrm{L} = L_1\, di/dt$ feszültségcsúcs lép fel. Ez a primer tekercs menetein jellemzően 200–400 V. A közös vasmag révén a szekunder tekercsben a menetszámok arányában nagyobb feszültség indukálódik:

$$u_2 \approx u_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}.$$

Ha például a primer csúcsfeszültség $u_1 = 350\,\mathrm{V}$ és a menetszámáttétel $N_2/N_1 = 100$, akkor $u_2 \approx 35\,000\,\mathrm{V}$. Ha a gyertyapár átütési feszültsége ennél alacsonyabb, a szikra létrejön, és a szekunder feszültség az ív fennmaradásához szükséges értékre esik le.

Összefüggés. A tényleges gyújtófeszültség nem független a gyertyapártól: annyi feszültség jelenik meg, amennyi a szikraköz átütéséhez kell, plusz a kábelek, valamint a tekercs belső ellenállásának vesztesége. Ezért a nyitott gyújtókábel vagy a túl nagy hézag magasabb feszültséget, a kopott, rövidre zárt gyertya pedig alacsonyabb feszültséget eredményez.

Definíció. Zárásszög. Az az időtartam, amíg a primer áram folyik a gyújtótekercsben, főtengely-szögben vagy a gyújtási szakasz százalékában kifejezve. A primer tekercs RL-körként viselkedik: az áramerősség $\tau = L_1/R_1$ időállandóval növekszik, és a végső értékhez közelít. Ha a zárási idő túl rövid, a primer áram nem éri el a teljes értéket, ezért a szikraenergia csökken.

Definíció. Gyújtásszög. Az a forgattyústengely-szög, amely megadja, hogy a kompresszió felső holtpontja előtt hány fokkal születik a szikra. A gyújtásszöget fordulatszám, terhelés, hőmérséklet és kopogásérzékelő jel alapján módosítja a vezérlés.

A gyújtórendszer főbb részei: áramforrás (akkumulátor vagy mágnes), gyújtótekercs, kapcsolóelem (megszakító, tranzisztor vagy tirisztor), elosztó vagy elosztás nélküli rendszer, valamint a gyújtógyertya és a gyújtókábel. A hagyományos rendszerben mechanikus előgyújtás-szabályozó is van; a modern elektronikus rendszerekben ezt a motorvezérlő ECU szoftvere végzi.

29.2.4. Rendszerek felépítése és működése

A gyújtórendszereket a kapcsolóelem és az elosztás módja szerint csoportosítjuk. Az alábbi sorrend a régebbitől halad a korszerű felé; a műhelyben mindegyik előfordulhat.

29.2.4.1. Hagyományos akkumulátoros gyújtás (megszakítós rendszer) – régi járművön ezt találod

A megszakítós rendszerben a primer áramot mechanikus megszakító szakítja meg, amelyet a gyújtáselosztó tengelyén lévő bütyök nyit. A primer kör zárásakor a tekercsben áram kezd kialakulni. Amikor a bütyök nyitja a megszakítót, a primer áram hirtelen megszakad, és a szekunder oldalon nagy feszültség indukálódik. Az elosztó a nagyfeszültséget a gyújtási sorrend szerint a megfelelő henger gyertyájához irányítja.

A megszakítóval párhuzamos kondenzátor szerepe kettős: csökkenti az érintkezők ívét, így lassítja a beégést, és a primer oldali rezgőkörrel együtt a feszültséggörbét olyan fázisba hozza, hogy a szekunder feszültségmaximum a gyújtószikra számára kedvező pillanatban keletkezzen. Ha a kondenzátor hibás vagy rossz kapacitású, a szekunder feszültség alacsony lesz, és a megszakító gyorsan tönkremegy.

Jellemzők. A hagyományos rendszer mechanikai kopásnak van kitéve: a megszakító érintkezői beégnek, a bütyökkenés elnyomódik, a gyújtásszög és a zárásszög fokozatosan elállítódik. A primer áram jellemzően 3–5 A, mert a megszakító nagyobb áramot nem tud megbízhatóan megszakítani. A zárásszöget hézagmérővel és mérőműszerrel kell beállítani (ellenőrizendő: gyártói adat).

29.2.4.2. Tranzisztoros gyújtás

A tranzisztoros rendszerben a megszakító nem közvetlenül a primer áramot szakítja meg, hanem csak egy tranzisztor bázisát vezérli. A tranzisztor kapcsolóüzemben dolgozik: amikor a megszakító zárt, a tranzisztor telítésbe kerül és a primer áram folyik; amikor a megszakító nyitott, a tranzisztor lezár, és a gyújtótekercsben a szükséges feszültségcsúcs jön létre.

Előnyök. A megszakító érintkezőin csak néhány száz mA folyik, ezért hosszú az élettartama. A primer áramot 7–9 A-re lehet növelni, mert a tranzisztor jobban terhelhető. A rendszer azonban még mindig mechanikus jeladót használ, így a kopás nem szűnik meg teljesen. Ez az átmeneti megoldás főleg a múlt század 1970-es és 1980-as éveinek járművein található.

29.2.4.3. Elektronikus gyújtás (EZ)

Az elektronikus gyújtásnál a mechanikus megszakítót érintkezésmentes jeladó váltja fel: induktív jeladó, Hall-jeladó vagy optikai jeladó. A jeladó jele a gyújtásvezérlő egységbe kerül, amely a primer áramot végfokozaton keresztül kapcsolja.

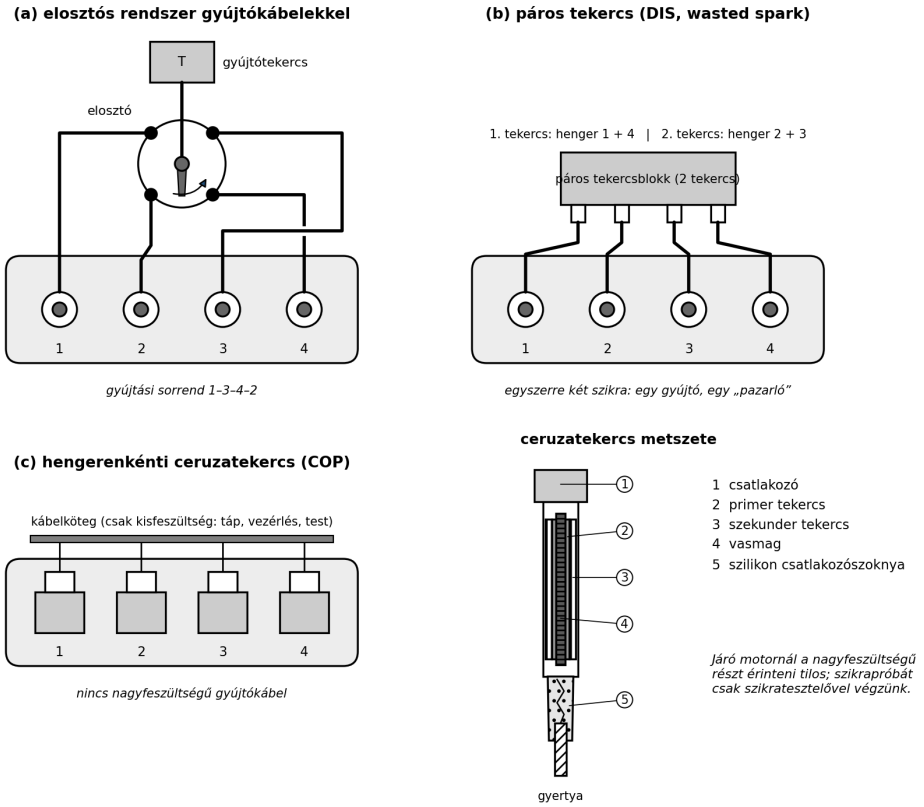
A rendszer még használhat gyújtáselosztót, de a zárásszöget és az alap gyújtásszöget elektronika állítja elő, a mechanikus előgyújtás-szabályozókat elhagyják. A jellemző előny: kevesebb kopó alkatrész, pontosabb gyújtásszög, nagyobb primer áram (8–12 A), ezáltal nagyobb szikraenergia.

Fontos. Az induktív és Hall-jeladó jeleit a későbbi diagnosztikai alfejezetek oszcilloszkópos vizsgálatainál is mérjük, ezért a jelalakok ismerete a Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtás-diagnosztika alfejezetben tér vissza.

29.2.4.4. Teljesen elektronikus gyújtás (VZ)

A teljesen elektronikus rendszerekben nincs mechanikus elosztó. A nagyfeszültség-elosztást vagy a gyújtótekercsek csoportosítása, vagy hengerenkénti tekercs oldja meg.

1. **Elosztó nélküli, kétszikrás (páros) tekercses változat (angolul wasted spark).** Egy kétszikrás gyújtótekercs – két nagyfeszültségű kivezetéssel – két hengert lát el olyan hengerpároknál, amelyek dugattyúi egyszerre mozognak (pl. 1–4 és 2–3); a szekunder tekercs két vége egy-egy gyertyához kapcsolódik, a szikra a két gyertyán sorosan üt át. A gyújtás mindkét hengerben egyszerre történik: az egyik hengerben a kompresszió végén valódi gyújtás, a másikban a kipufogóütemben „pazarló szikra” jön létre. Ez a szikra ártalmatlan, mert ott nincs gyulladóképes keverék.
2. **Hengerenkénti gyújtótekercs (coil-on-plug, COP).** Minden hengernek saját gyújtótekercse van, gyakran közvetlenül a gyertyán. Ez a leggyakoribb megoldás a korszerű benzinmotoroknál. Előnyök: nincs gyújtókábel, kevesebb nagyfeszültségű veszteség, nagyon pontos hengerenkénti gyújtásszög, nagy szikraenergia és gyors diagnosztikai jel.



29.6. ábra. Gyújtótekercs-kivitelek ugyanazon a négyhengeres motoron: elosztós rendszer, páros tekercs (wasted spark) és hengerenkénti ceruzatekercs (coil-on-plug), a ceruzatekercs metszetével

Az ábrán a motortéri ismertetőjegyek láthatók: elosztós rendszernél egy tekercs, elosztófej és négy gyújtókábel; páros tekercsnél egy tekercsblokk két kimenetpárral (1–4 és 2–3); coil-on-plug rendszernél a gyertyafuratban ülő tekercsek, amelyekhez csak kisfeszültségű kábelköteg fut. A HTML-változatban a kivitelek között váltani lehet, és mindegyikhez megjelenik a mérési tudnivaló.

A vezérlést a motorvezérlő ECU végzi a fordulatszám, a terhelés, a motorhőmérséklet és a kopogásérzékelő jelei alapján. A kopogásszabályozás hengerenként visszaveszi a gyújtásszöget, ha kopogásos égést érzékel. A VZ-rendszerek nagy része integrált gyújtásbefecskendezés-motronic rendszer, ahol a benzinbefecskendezés és a gyújtás közös vezérlőegységben fut.

29.2.4.5. Kondenzátoros nagyfeszültségű gyújtás (HKZ)

A HKZ-rendszerben a gyújtóenergiát nem a gyújtótekercs primer mágneses tere tárolja hosszabb zárási idő alatt, hanem egy kondenzátort rövid idő alatt magas feszültségre töltenek, majd a gyújtótekercs primer oldalára egy tirisztor kisüti.

A felépítés: a fedélzeti 12 V-ot egy kis DC/DC átalakító 300–500 V-ra emeli, és feltölti a kondenzátort. A gyújtási időpontban a tirisztor vezetni kezd, a kondenzátor hirtelen kisül a primer tekercsen, és a nagyfeszültség a szekunderen létrejön. A szikra nagyon rövid, de nagy energiacsomagot ad. Előnye, hogy nagyon magas fordulatszámon is stabil a szikra, mert nincs hosszú zárási idő fenntartása. Hátránya, hogy a rövid szikraidő alatt esetenként rosszabb a keverékgyújtás; a modern rendszerekben ezért kombinált gyújtások is előfordulnak. A HKZ-ben a tirisztor kapcsolása a Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika alfejezetben tanult reteszelő viselkedésre épül.

29.2.4.6. Mágnesgyújtás (MZ, MHKZ)

A mágnesgyújtás önálló energiaforrással rendelkezik, ezért nem igényel akkumulátort. Kis Otto-motorokon, régi motorkerékpárokon, láncfűrészeken, hajómotorokon és néhány régi gépkocsiban találkozhatunk vele. A forgó állandómágnes a tekercs mágneses terét periodikusan változtatja, és a primerkör megszakításakor a szekunderben gyújtófeszültség indukálódik. Az MHKZ (mágneses kondenzátoros nagyfeszültségű gyújtás) ezt elektronikus gyújtásszög-vezérléssel és érintésmentes kioldással ötvözi.

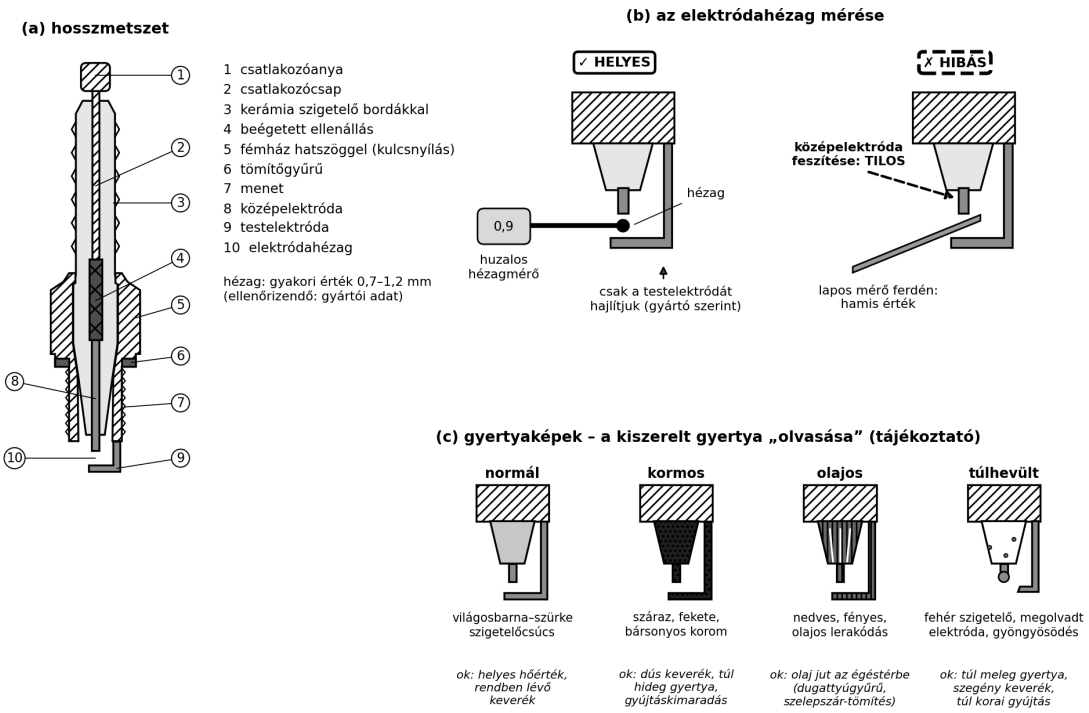
Megjegyzés. A mágnesgyújtás vizsgálatakor is ugyanaz a szabály: a nagyfeszültségű részt nem szabad áram alatt megérinteni, és az ellenőrzéshez csak megfelelő szikratesztelőt használjunk.

29.2.5. Gyújtógyertya, gyújtókábel és beállítások

A gyújtógyertya feladata, hogy a nagyfeszültségű áramkör zárását a hengertérben lévő szikraközön tegye lehetővé, és a szikra energiáját az égéstérbe juttassa. Három fő része van: a közép-elektróda, a testelektróda és a kerámia szigetelő.

Definíció. Hőérték. Azt fejezi ki, hogy a gyertya milyen gyorsan vezeti el a hőt a kerámián és a meneten keresztül a hengerfej felé. A „meleg” gyertya lassabban ad le hőt, így magasabb hőmérsékleten tartja a szigetelőcsúcsot; a „hideg” gyertya gyorsan hőt ad le. Nagy terhelésű, feltöltött motorba hidegebb gyertyát választunk, városi üzemű motorba melegebbet. A helytelen hőértékű gyertya tünetei: a túl meleg gyertya okozhat öngyulladást, a túl hideg gyertya elszenesedik és gyújtáskihagyást okoz. A pontos gyertyatípust a járműgyártó katalógusa adja; a hőérték-jelölés gyártónként eltér, ezért soha ne cseréljük csak „hasonló méretűre”.

Definíció. Elektródahézag. A közép- és testelektróda közötti távolság. A gyújtófeszültség-igény a hézaggal nő. A gyakori érték 0,7–1,2 mm, de egyes korszerű motoroknál 1,3–1,5 mm is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A hézagot huzalos (drótos) hézagmérővel ellenőrizzük; a központi elektródát feszíteni tilos.



29.7. ábra. A gyújtógyertya hosszmetszete, az elektródahézag mérése (helyes és hibás fogás) és négy jellegzetes gyertyakép

Az (a) metszeten a középelektróda, a beégetett ellenállás és a csatlakozócsap a kerámia szigetelő furatában fut, a fémházat a tömítőgyűrű és a menet köti a hengerfejhez; a (b) részen a helyes mérés huzalos hézagmérővel és a testelektróda hajlításával történik, a (c) sor pedig a kiszerelt gyertya négy jellegzetes képét és a lehetséges okokat mutatja. A HTML-változatban az alkatrészek rámutatásra kiemelődnek, a gyertyaképekhez kattintásra megjelenik az ok és a teendő.

A gyújtókábel a nagyfeszültséget az elosztótól vagy a gyújtótekercstől a gyertyához vezeti. Szigetelése szilikon vagy EPDM, és gyakran beépített zajszűrő ellenállást tartalmaz, amely csökkenti a rádiófrekvenciás zavarokat. A kábel ellenállása méterenként néhány kΩ (szemléltető érték; ellenőrizendő: gyártói adat). A megnövekedett ellenállás vagy a szigetelés sérülése gyújtáskimaradást okozhat.

29.2.6. Kidolgozott példák

29.2.6.1. 1. példa – Primer energia és becsült szekunder feszültség

Egy gyújtótekercs primer induktivitása $L_1 = 5\,\mathrm{mH}$, a megszakítás pillanatában folyó primer áram $I_1 = 8\,\mathrm{A}$. Számítsd ki a primer tekercsben tárolt energiát!

Számítás. A tárolt energia:

$$W_\mathrm{L} = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}005\,\mathrm{H} \cdot (8\,\mathrm{A})^2 = 0{,}16\,\mathrm{J} = 160\,\mathrm{mJ}.$$

Ha a primer csúcsfeszültség $u_1 = 400\,\mathrm{V}$ és a menetszámáttétel $N_2/N_1 = 100$, akkor a szekunder feszültség elvi maximuma $u_2 = 400\,\mathrm{V} \cdot 100 = 40\,000\,\mathrm{V}$. A valóságban a tekercs és a kábel veszteségei miatt ennél kisebb, de a gyertyapár átütésére elegendő 12–20 kV is kialakulhat. ∎

29.2.6.2. 2. példa – Primer áram felépülése zárási idő alatt

Egy tranzisztoros gyújtás primer ellenállása $R_1 = 0{,}8\,\Omega$, induktivitása $L_1 = 5\,\mathrm{mH}$, a tápfeszültség $U = 12\,\mathrm{V}$. A motor fordulatszáma olyan, hogy a zárási idő $t_\mathrm{z} = 5\,\mathrm{ms}$. Mekkora áram folyt a megszakítás pillanatában?

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R_1 = 0{,}8\,\Omega$, $L_1 = 5\,\mathrm{mH}$, $t_\mathrm{z} = 5\,\mathrm{ms}$. Keresett: $i(t_\mathrm{z})$.

Az RL-kör áramerőssége:

$$i(t) = \frac{U}{R_1}\left(1 - e^{-tR_1/L_1}\right).$$

Az időállandó:

$$\tau = \frac{L_1}{R_1} = \frac{0{,}005\,\mathrm{H}}{0{,}8\,\Omega} = 6{,}25\,\mathrm{ms}.$$

A végső áram:

$$I_\mathrm{max} = \frac{12\,\mathrm{V}}{0{,}8\,\Omega} = 15\,\mathrm{A}.$$

Behelyettesítve:

$$i(5\,\mathrm{ms}) = 15\,\mathrm{A} \cdot \left(1 - e^{-5/6{,}25}\right) = 15\,\mathrm{A} \cdot \left(1 - e^{-0{,}8}\right).$$

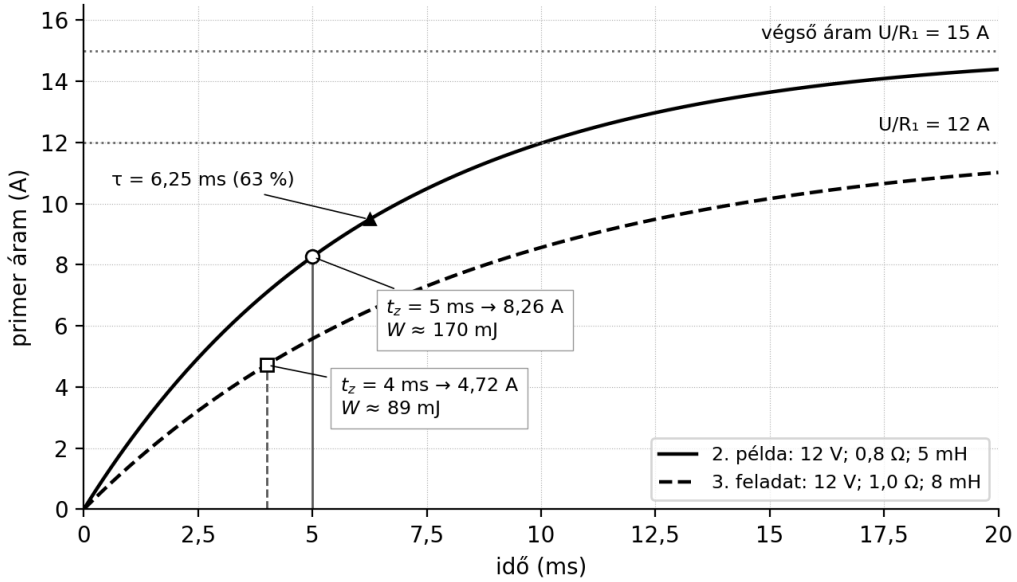
Az exponenciális tag $e^{-0{,}8} \approx 0{,}449$, így:

$$i \approx 15\,\mathrm{A} \cdot (1 - 0{,}449) = 8{,}26\,\mathrm{A}.$$

Az energia pedig:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0{,}005\,\mathrm{H} \cdot (8{,}26\,\mathrm{A})^2 \approx 0{,}17\,\mathrm{J} = 170\,\mathrm{mJ}.$$

Ellenőrzés: a zárási idő 5 ms, az időállandó 6,25 ms; nem érjük el a végső 15 A-t, ami reális. ∎



29.8. ábra. A primer áram felfutása a zárási idő alatt: a 2. példa (0,8 Ω; 5 mH; $t_z = 5\,\text{ms}$) és a 3. feladat (1,0 Ω; 8 mH; $t_z = 4\,\text{ms}$) görbéje

Az ábrán a folytonos görbe a 2. példa, a szaggatott a 3. feladat áramát mutatja; a pontozott vízszintes vonal a végső U/R_1 áram, a függőleges vonal a megszakítás pillanata. A HTML-változatban a feszültség, az ellenállás, az induktivitás és a zárási idő (vagy a fordulatszám és a zárás aránya) csúszkával állítható: jól látszik, hogy magas fordulaton a rövidebb zárási idő miatt kisebb a megszakításkori áram, és négyzetesen csökken a szikraenergia.

29.2.6.3. 3. példa – Rossz kondenzátor hatása (ellenpélda)

Egy megszakítós rendszerben a gyártó szerinti kondenzátor 0,2 μF, de valaki 2 μF-osat szerelt be. A tünet: a motor nehezen indul, a megszakító gyorsan beég, a szekunder feszültség alacsony. **Hiba.** A túl nagy kapacitás megváltoztatja a primer rezgőkör frekvenciáját, ezért a feszültségcsúcs később vagy kisebb meredekséggel alakul ki. A megszakító íve hosszabb ideig tart, ami beégést okoz. A helyes kapacitást a gyártói adat szerint kell visszaállítani.

29.2.7. Minőségellenőrzés

A gyújtórendszer ellenőrzésekor a gyártói adat az elsődleges. Az alábbi ellenőrzőlista a gyakorlatban használt lépéseket foglalja össze.

- **Szikratesztelővel:** gyenge szikra vagy nincs szikra – gyertya, kábel, tekercs vagy primer oldali betáp ellenőrzése.
- **Gyújtótekercs ellenállásmérése:** multiméterrel a primer tekercs ellenállása tipikusan 0,3–2 Ω, a szekunder 5–20 kΩ (ellenőrizendő: gyártói adat). A mért érték eltérése tekercs sérülésre utal.
- **Gyújtókábel ellenállása:** a kábel hosszával arányos, jellemzően 1–10 kΩ; a szakadás vagy a túl nagy ellenállás gyújtáskimaradást okoz.
- **Gyertyapár hézaga:** mérje huzalos hézagmérővel; a hézagmérőt ne erőltesse, a középelektródát ne feszítse. A beállítás után ellenőrizze a gyertya tömítőgyűrűjét és a meghúzási nyomatékot (ellenőrizendő: gyártói adat).

- **Zárásszög és gyújtásszög:** megszakítós rendszeren zárásszögmérővel és stroboszkóplámpával, elektronikus rendszeren diagnosztikai műszerrel ellenőrizhető.
- **Elosztós rendszer:** az elosztófej, az érintkezők és a rotor kopását, nedvességét szemrevételezéssel ellenőrizzük.

Figyelem. Gyújtófeszültség veszélye. A szekunder oldali feszültség több tízezer volt, és fájdalmas áramütést okozhat, különösen nedves környezetben vagy beültetett szívritmus-szabályozóval (pacemakerrel) vagy defibrillátorral élő személynél: ilyen személy gyújtóberendezésen járó motor mellett ne dolgozzon (ellenőrizendő: a gyártói és a munkavédelmi előírás). Nagyfeszültségű részt csak kikapcsolt gyújtás mellett, megfelelő szigetelt szerszámmal és a gyártói eljárás szerint szabad megérinteni. A motor indítása közben a gyújtókábelt kézzel megközelíteni vagy szikrát „próbálni” **tilos**. Soha ne szakítsa meg a szekunder kört a gyújtás bekapcsolt állapotában, mert a tekercsben és a vezérlőben káros feszültségcsúcsok keletkezhetnek. A modern gyújtórendszerek primer oldali tranzisztorai is védőáramkört igényelnek, ezért a gyártó által előírt mérési pontokat használja.

Környezetvédelem. A kiégett gyertya és a sérült gyújtókábel nem veszélyes hulladék, de a szervizben gyűjtendő és a helyi hulladékkezelés szerint leadandó. A gyújtáskimaradás javítása csökkenti a kibocsátott szénhidrogéneket és a katalizátor terhelését, így a diagnosztika környezetvédelmi jelentőségű.

29.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy 2006-os, szívó benzinmotoros autó ügyfele azt mondja, hogy reggelente nehezen indul, és alapjáraton periodikusan rángat. A műszer OBD-csatlakozón keresztül P0302 hibakódot (2. henger gyújtáskimaradás) rögzít. A szerelő először az élő adatokban ellenőrzi a 2. henger tényleges gyújtáskimaradás-számlálóját, majd megkeresi a 2. henger gyertyáját.

A vizsgálat során a gyertya elektródái erősen kopottak, a hézag 1,8 mm (a gyártói érték 1,0 mm), a gyújtókábel burkolata repedezett. A kábel ellenállása 35 kΩ, míg a többi kábel 6–8 kΩ. A szerelő kicseréli a gyertyákat a gyártó által előírt hőértékűre, beállítja a hézagot 1,0 mm-re, és kicseréli a gyújtókábelt. A hibakódot törli, próbaúton ellenőrzi, hogy a gyújtáskimaradás-számláló nem növekszik. A tanulság: a több henger egyidejű gyertyacseréje ilyen korban normál karbantartás, mert a többi gyertya is hasonló kopásban van.

29.2.9. Tipikus hibák

1. **Hibás gyertyatípus alkalmazása.** A szerelő csak a menetméretet nézi, a hőértéket nem. A túl hideg gyertya elszenesedik, a túl meleg gyertya öngyulladást okozhat. **Helyes gyakorlat:** mindig a járműgyártó katalógusából, alvázszám alapján válasszon gyertyát.
2. **A gyertyahézag erőszakos beállítása.** A közép-elektródát fogóval vagy csavarhúzóval feszítik, ami megrepeszti a kerámia szigetelőt. **Helyes gyakorlat:** a hézagot csak a hajlított testelektródán, huzalos hézagmérővel, a gyártó tűrésén belül állítani.
3. **Gyújtófeszültség ellenőrzése kézzel.** A kábelt kirántva „nézni, van-e szikra” életveszélyes, és a modern elektronikában a vezérlőt is károsíthatja. **Helyes gyakorlat:** szikratesztelő, oszcilloszkópos szekunder mérés vagy a gyártói diagnosztikai eljárás.
4. **A megszakítós rendszerben a kondenzátor szerepének figyelmen kívül hagyása.** Ha a kondenzátor rossz, a megszakító beég. **Helyes gyakorlat:** a gyújtás beállításánál kapacitásmérést is végezni.

5. **Gyújtókábel-ellenállás mérés elhagyása.** A kábel szigetelése kívülről épnek tűnik, de a belső szénszálas zajszűrő szakadt; a tünet gyújtáskihagyás. **Helyes gyakorlat:** a kábel ellenállását minden gyújtáskimaradásos panasznál multiméterrel mérni.

29.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A gyújtótekercs szekunder feszültsége független a primer áram megszakítási sebességétől. Indokolj!
2. Számítsd ki, mekkora energiát tárol a gyújtótekercs primer tekercse, ha $L_1 = 6\,\text{mH}$ és $I_1 = 7\,\text{A}$.
3. Egy gyújtórendszeren a zárási időt a fordulatszám növekedése csökkenti. Miért csökkenhet a szikraenergia magas fordulaton, ha a zárásszög állandó?
4. Rajzold le szavakkal a hagyományos megszakítós gyújtás primer körét, és nevezd meg a kondenzátor két feladatát!
5. Mi a hiba ebben a leírásban? „A gyertyahézagot 3 mm-re állítottam, mert így nagyobb a szikra.” Miért veszélyes?

29.2.11. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a gyújtófeszültséget, a szikraenergiát, a zárásszöget és a gyújtásszöget!

2. feladat (A)
Egy gyújtótekercs primer induktivitása $L_1 = 8\,\text{mH}$, a megszakítás pillanatában folyó áram $I_1 = 9\,\text{A}$. Számítsd ki a primer energiát és a becsült szekunder feszültségmaximumot, ha a primer csúcsfeszültség $u_1 = 300\,\text{V}$ és a menetszámáttétel $N_2/N_1 = 120$!

3. feladat (B)
Egy tranzisztoros gyújtás primer ellenállása $R_1 = 1{,}0\,\Omega$, induktivitása $L_1 = 8\,\text{mH}$, tápfeszültsége $U = 12\,\text{V}$. A zárási idő $t_\text{z} = 4\,\text{ms}$. Számítsd ki az áramot a megszakítás pillanatában, és a tárolt energiát!

4. feladat (B)
Értelmezd a fenti kapcsolási vázlatot! Azonosítsd a primer kört, a szekunder kört, a 15-ös kapcsot, a megszakítót és a kondenzátort. Magyarázd el, mi történik, amikor az S1 megszakító nyit!

5. feladat (C)
Hasonlítsd össze a hengerenkénti gyújtótekercses (COP) rendszert az elosztó nélküli, páros tekercses (wasted spark) rendszerrel! Melyik ad pontosabb hengerenkénti gyújtásszöget, és miért?

6. feladat (D)
Egy 4 hengeres motor 3. hengerén a diagnosztikai műszer gyújtáskimaradást jelez. A gyertyapár hézagát 1,0 mm-re állítva a szikra erős, de a gyertyán lévő korom és a kábel ellenállása 60 kΩ (a másik kábel 7 kΩ). Mi a legvalószínűbb hiba és mi a javítás?

29.2.12. Megoldások

29.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A szekunder feszültség nagysága a primer áram megszakítási sebességétől is függ: minél gyorsabban szakad meg a primer áram, annál nagyobb a $u_{\mathrm{L}} = L_1\, di/dt$ primer csúcsfeszültség, így a szekunder feszültség is.
2. $W = \frac{1}{2} \cdot 0{,}006\,\mathrm{H} \cdot (7\,\mathrm{A})^2 = 0{,}147\,\mathrm{J} = 147\,\mathrm{mJ}$.
3. A primer tekercs RL-kör, az áram $\tau = L/R$ időállandóval növekszik. Ha a zárási idő rövid, az áram nem éri el a végső U/R értéket, ezért a $W = \frac{1}{2}LI^2$ energia kisebb lesz. Magas fordulaton a zárási idő azért csökken, mert kevesebb idő áll rendelkezésre az egyes gyújtásokhoz.
4. A primer kör: 15-ös kapocs → gyújtótekercs primer tekercse → megszakító → test, ezzel párhuzamosan a kondenzátor. A kondenzátor feladata: csökkenti a megszakító ívét, és a primer rezgőkört a feszültségmaximumot a megfelelő időpontra hozza.
5. A 3 mm-es gyertyahézag túl nagy; a gyújtófeszültség igénye nagyon megnő, ami a tekercs és a kábelek szigetelését terheli, áramütés veszélyét növeli, és a gyertya élettartamát rontja. **Helyes:** a gyártó által megadott hézagot kell beállítani.

29.2.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A)
A gyújtófeszültség a gyújtótekercs szekunder oldalán megjelenő feszültségcsúcs, amely a gyertyapár átütéséhez és a szikrakisüléshez szükséges. A szikraenergia a gyertyapárban leadott villamos energia, amely közelítőleg a primer tekercsben tárolt mágneses energia. A zárásszög az az idő, amíg a primer áram folyik; a gyújtásszög pedig a felső holtpont előtti szög, amikor a szikra létrejön.

2. feladat (A)
Az energia:

$$W = \frac{1}{2}L_1 I_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}008\,\mathrm{H} \cdot (9\,\mathrm{A})^2 = 0{,}324\,\mathrm{J} = 324\,\mathrm{mJ}.$$

A szekunder feszültségmaximum: $u_2 \approx 300\,\mathrm{V} \cdot 120 = 36\,000\,\mathrm{V} = 36\,\mathrm{kV}$. A valóságban a veszteségek miatt kisebb lehet, de elegendő a gyertya átütéséhez. ∎

3. feladat (B)
Időállandó: $\tau = L_1/R_1 = 0{,}008\,\mathrm{H}/1{,}0\,\Omega = 8\,\mathrm{ms}$. Végső áram: $I_{\max} = 12\,\mathrm{V}/1\,\Omega = 12\,\mathrm{A}$. A zárási idő 4 ms, tehát:

$$i = 12\,\mathrm{A} \cdot \left(1 - e^{-4/8}\right) = 12\,\mathrm{A} \cdot \left(1 - e^{-0{,}5}\right).$$

Az exponenciális tag $e^{-0{,}5} \approx 0{,}607$, így $i \approx 12 \cdot (1 - 0{,}607) = 4{,}72\,\mathrm{A}$. Az energia:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0{,}008 \cdot (4{,}72)^2 \approx 0{,}089\,\mathrm{J} = 89\,\mathrm{mJ}.$$

Ellenőrzés: a zárási idő fél időállandó, ezért az áram jóval a végső alatt marad, az energia kisebb. ∎

4. feladat (B)
A 15-ös kapocs a gyújtáskapcsolás utáni 12 V-os betáp. A primer kör: 15-ös kapocs → gyújtótekercs primer tekercs → S1 megszakító → test; a C1 kondenzátor párhuzamosan van a megszakítóval. A szekunder kör: a gyújtótekercs szekunder tekercse → GY1 gyertyapár → test. Amikor S1 nyit, a primer áram megszakad, a mágneses fluxus összeomlik, és a szekunder tekercsben nagy feszültség indukálódik; a gyertyapáron szikra keletkezik. A kondenzátor nélkül az S1-en erős ív keletkezne, és a feszültségcsúcs kialakulása rosszabb lenne.

5. feladat (C)
A hengerenkénti gyújtótekercses (COP) rendszer pontosabb, mert minden hengernek külön tekercse van, és a gyújtásszöget hengerenként, a kopogásérzékelő jele alapján egyedileg lehet szabályozni. Nincs elosztó és nincs gyújtókábel, így kisebb a nagyfeszültségű veszteség. A páros tekercses (wasted spark) rendszer két hengert lát el egy tekercsével; az egyik hengerben hasznos, a másikban pazarló szikra van. Emiatt a hengerenkénti gyújtásszög nem függetleníthető a hengerpártól. A különbség a magas kipufogógáz-visszavezetés és a feltöltött motorokon jelentős, ahol a pontos gyújtásszög kritikus.

6. feladat (D)
A gyertyán lévő korom és a 60 kΩ-os gyújtókábel-ellenállás a nagyfeszültségű energiaveszteség jele. A legvalószínűbb hiba a gyújtókábel belső szakadása vagy erősen megnövekedett ellenállása, ami miatt a szikraenergia a 3. hengeren nem éri el a megbízható gyújtáshoz szükséges értéket. A javítás: a gyújtókábel cseréje a gyártói előírás szerint, a gyertya tisztítása vagy cseréje, majd a gyújtáskihagyás-számláló ellenőrzése próbaúton. Ha a hengerben korom van, a gyertya hőértékét is ellenőrizni kell.

29.2.13. Rövid összefoglaló

A gyújtóberendezés a benzinmotor hengerében a kompresszió végén nagyfeszültségű szikrát hoz létre. A primer áram megszakításakor a gyújtótekercsben a mágneses fluxus összeomlik: a primer oldali önindukciós feszültség $u_{\mathrm{L}} = L_1\, di/dt$, a szekunder feszültség pedig a menetszámok arányában növekszik. A szikraenergia közelítőleg $W = \tfrac{1}{2} L_1 I_1^2$. A gyújtórendszer fő jellemzői a gyújtófeszültség, a szikraenergia, a zárásszög és a gyújtásszög. A hagyományos megszakítós rendszerben a kondenzátor csökkenti az érintkezők ívét; a tranzisztoros rendszer a megszakítót tehermentesíti; az elektronikus EZ érintésmentes jeladóval dolgozik; a teljesen elektronikus VZ elosztó nélküli vagy hengerenkénti tekercses. A HKZ kondenzátorkisütéssel, a mágnesgyújtás önálló mágneses forrással működik. A gyújtógyertya hőértéke és hézaga a megbízható égés kulcsa; a gyújtókábel ellenállása ellenőrizendő. A nagyfeszültségű oldal életveszélyes, csak szigetelt szerszámmal és a gyártói eljárás szerint dolgozhatunk. **Továbbvitt eredmény.** A gyújtási folyamat ezen ismerete a Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika alfejezetben tér vissza, ahol a primer és szekunder jelalakokat, a zárásszög és a gyújtásszög mérését oszcilloszkóppal végezzük el.

29.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási adatok: gyújtótekercs primer/szekunder ellenállása, zárásszög, gyújtásszög, gyertyapár hézag, gyertya hőértéke, gyújtókábel-ellenállás (ellenőrizendő: minden típusnál)
- A gyújtófeszültség-lefutás és a gyújtórendszer-kapcsolások fizikai alapja: stabil elektrotechnikai tankönyvi ismeret
- A megszakítós, tranzisztoros, EZ, VZ, HKZ és mágnesgyújtás rendszerleírásai: általános gépjármű-villamossági szakirodalom; a pontos gyártói megnevezések és vezérlési részletek járművenként eltérnek

- A rádiózavar-szűrő kábelek és a mágnesgyújtás EMC-előírásai: uniós/ENSZ-EGB járműjóváhagyási követelmények (ellenőrizendő: a hatályos előírás száma és tartalma)
- Az ábrák IEC 60617 / MSZ EN 60617 alapú rajzjelekkel készülnek; a pontos kapocsjelölés a gyártói kapcsolási rajz szerint ellenőrizendő.

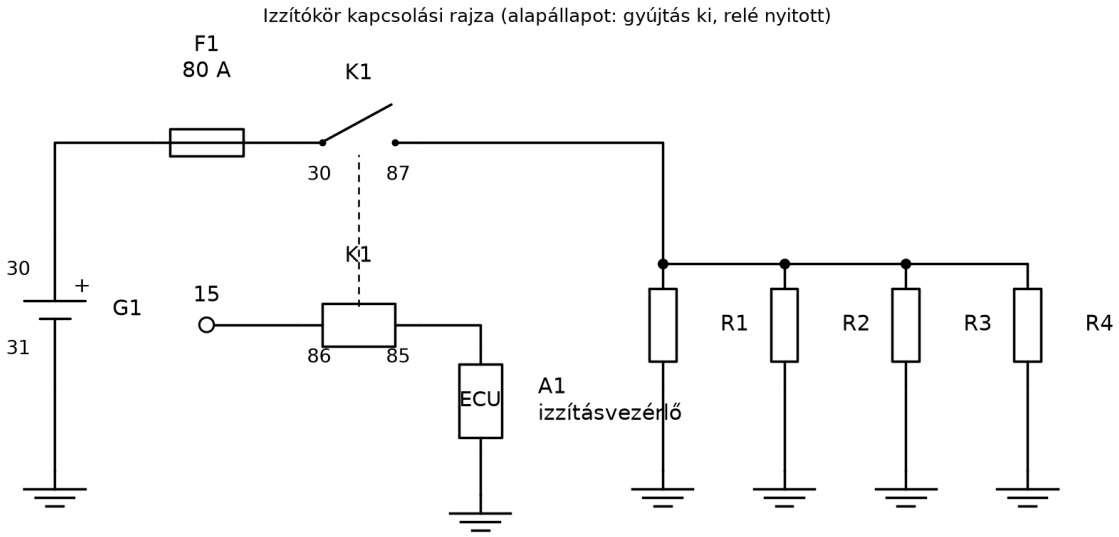
29.3. Dízelmotorok indítási segédberendezései

29.3.1. Motiváció

Egy hideg téli reggelen a dízelmotoros személyautó nehezen indul: a műszerfalon az izzítás visszajelző lámpája nem gyullad ki, az indítómotor forgat, de a motor csak hosszú forgatás után, erős fehér füst kíséretében indul be. Az ügyfél panasza tipikus izzítókör-hibára utal. Autószerelőként ezért pontosan ismerned kell az izzítókör felépítését, a vezérlés fázisait, a gyertyák ellenőrzését és a csere kockázatait, mert a hibás izzítás nemcsak hidegindítási nehézséget, hanem megnövekedett károsanyag-kibocsátást és a katalizátor/DPF idő előtti elhasználódását is okozhatja.

29.3.2. Szemléletes kép: az izzítókör kapcsolási rajza

A dízel izzítókör egy nagyáramú fogyasztói kör, amely az akkumulátorról kap táplálást. Az alábbi kapcsolási rajz a fő áramkört és a relé vezérlését mutatja alapállapotban, azaz kikapcsolt gyújtásnál.



29.9. ábra. Izzítókör kapcsolási rajza (alapállapot: gyújtás ki, relé nyitott) - Szemléltető kapcsolási rajz: a K1 relé tekercsét (86–85) az izzításvezérlő (A1) kapcsolja a test felé, ezért a gyertyák csak a vezérlő által meghatározott ideig kapnak áramot. R1–R4 izzítógyertyák, hidegen egyenként kb. 0,8 Ω; F1 példaként 80 A (tanulási értékek, ellenőrizendő: gyártói adat). A relé kapocsjelölése DIN 72552 szerinti (ellenőrizendő a gyártói rajzon).

A rajzon az akkumulátor (G1) pozitív sarka a 30-as jelű fővezetékre csatlakozik, innen megy a főbiztosíték (F1, példaként 80 A) a K1 relé 30–87 munkaérintkezőjére. A relétekercs 86-os

kapcsa a 15-ös kapocs (gyújtáskapcsolás után feszültség) felől kap tápot, a 85-ös kapcsát pedig az izzításvezérlő (A1) kapcsolja a test felé; a relé tehát nem a gyújtás bekapcsolásától, hanem csak a vezérlő által meghatározott ideig húz meg. A relé 87-es kimenetéről négy izzítógyertya (R1–R4) párhuzamosan kap feszültséget, és mindegyik testen zár. Amikor az izzításvezérlő meghúzza a relét, az érintkező zár, és a gyertyák nagy áramot vesznek fel.

29.3.3. Definiálás és alapfogalmak

Definíció. Az izzítógyertya (glow plug) a dízelmotor égéstérbe nyúló elektromos fűtőeleme, amely hideg motornál forró felületet biztosít a befecskendezett tüzelőanyag öngyulladásához.

Definíció. Az izzításvezérlő (glow control unit) a gyertyák be- és kikapcsolását, valamint a fűtési teljesítményt vezérli az előizzítás, az indítás közbeni izzítás és az utóizzítás fázisában.

Definíció. Az utóizzítás (afterglow) a hideg motor beindítása utáni, meghatározott ideig tartó izzítás, amely csökkenti az égés zaját, a kipufogógáz füstjét és a szénhidrogén-kibocsátást.

A hideg dízelmotor indítási nehézségének fizikai oka az öngyulladás: a beszívott levegőt a dugattyú sűríti össze, és a sűrítés hőmérséklet-növekedéssel jár. Hideg motornál a falak és a beszívott levegő hidegek, ezért a sűrítési véghőmérséklet nem éri el a tüzelőanyag gyulladási hőmérsékletét. Az izzítógyertya az égéstérben lokálisan forró pontot hoz létre, így az első befecskendezéskor megindul az égés.

29.3.4. Felépítés és működés

29.3.4.1. A hidegindítási probléma és a lángkeltésű indítóberendezés

A dízelmotor öngyulladással dolgozik: a sűrítési ütem végén a levegő hőmérséklete üzemmeleg motornál jellemzően 700–900 °C (ellenőrizendő: szakirodalom/gyártói adat), ami jóval a gázolaj öngyulladási hőmérséklete (kb. 250–350 °C; ellenőrizendő) fölött van, így elegendő a befecskendezett gázolaj meggyújtásához. Hideg motornál azonban a beszívott levegő hőmérséklete alacsony, a hengerfalak hűtik a sűrített levegőt, az akkumulátor feszültsége is esik, és az indítási fordulatszám kisebb, így a sűrítési véghőmérséklet alacsonyabb. A gyulladáskésedelem megnő, a motor nem indul, vagy hosszú forgatás után, fehér füsttel (el nem égett tüzelőanyag) indul el.

A legrégebbi megoldás a lángkeltésű indítóberendezés, amely a szívócsőben helyez el egy fűtőpatront és egy kis üzemanyag-adagolót. Indítás előtt a fűtőpatron izzóvá válik, a rácsöpögtetett vagy porlasztott gázolaj meggyullad, és a láng felmelegíti a beszívott levegőt. A lángkeltésű rendszert elsősorban régi mezőgazdasági és haszongépjármű-motorokon találod; ma már a közvetlen befecskendezésű motorokon az izzítógyertyás rendszer a jellemző.

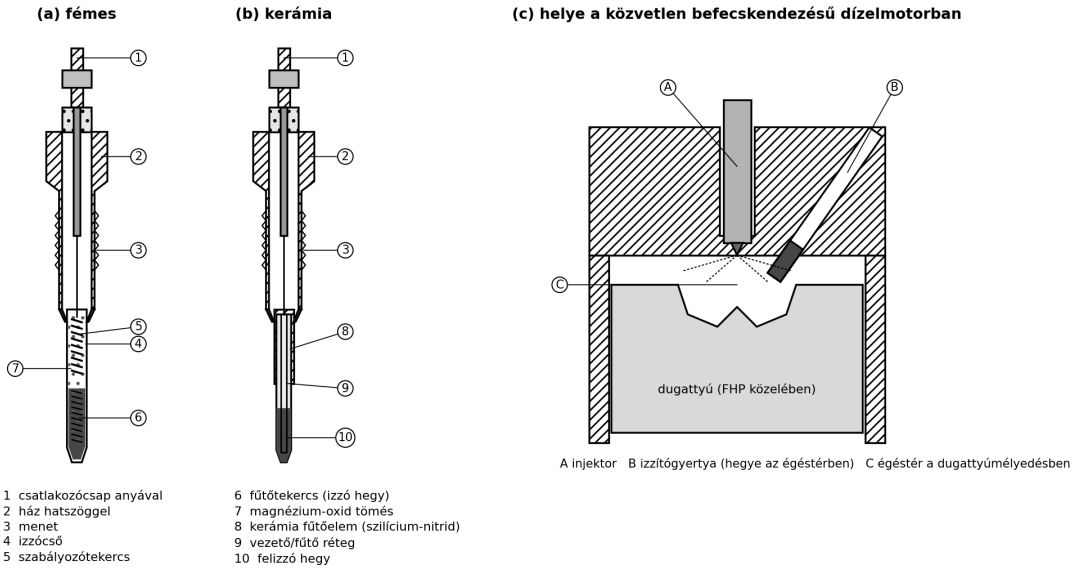
29.3.4.2. Fémes és kerámia izzítógyertyák

A mai izzítógyertyák két fő csoportba sorolhatók.

- **Fémes izzítógyertya:** a fűtőszál jellemzően nikkel-króm ötvözetből készül, a hegye izzik fel. Hideg ellenállása viszonylag kicsi (példaként 0,5–1,5 Ω – ellenőrizendő), ezért nagy áramot vesz fel. Felmelegedve az ellenállása nő, árama csökken. A felmelegedési idő régebbi típusoknál 6–10 s, gyorsabb változatoknál 3–5 s (ellenőrizendő).

- **Kerámia izzítógyertya:** a fűtőelem kerámia (pl. szilícium-nitrid) anyagú, amely magasabb hőmérsékletet és gyorsabb felmelegedést tesz lehetővé. Jellemzően kisebb ellenállású, nagyobb kezdeti árammal fűt, de pár másodperc alatt eléri az 1000 °C feletti hőmérsékletet. A kerámia gyertya kisebb tömegű és jobb hőállóságú, modern közös nyomásterű dízelmotorokon elterjedt.

Figyelem. A PWM-mel vezérelt (különösen kerámia) izzítógyertyák névleges feszültsége a fedélzeti feszültségnél kisebb lehet; ilyen gyertyát próbaképpen sem szabad közvetlenül az akkumulátorra kötni, mert tönkremegy (ellenőrizendő: gyártói adat).



29.10. ábra. Fémes és kerámia izzítógyertya hosszmetszete, valamint az izzítógyertya helye a közvetlen befecskendezésű dízelmotor égésterében

A fémes gyertyában a szabályozótekercs a fűtőtekerccsel sorba kötve, magnézium-oxid tömésben ül; a kerámia gyertyában a fűtő réteg a kerámia testbe ágyazott. Beépítve a gyertya vékony hegye az injektor mellett nyúlik az égéstérbe – ezért törik le könnyen erőltetett kiszereléskor. A HTML-változatban csúszkával állítható az izzítási idő, és látszik, hogy a kerámia hegy gyorsabban izzik fel (szemléltető ütem).

29.3.4.3. Izzításvezérlés

Az izzításvezérlő feladata az izzítógyertyák üzemeltetése az indítási folyamat során.

- **Előizzítás:** a gyújtáskapcsoló 15-ös jele után a vezérlő a relét meghúzva a gyertyákra kapcsolja az akkumulátorfeszültséget. A műszerfalon világít az izzítás visszajelző lámpa. A gyertya felfűti az égéstér levegőjét.
- **Indítás közbeni izzítás:** az indítómotor forgatása alatt a gyertyák továbbra is fűtenek, mert a sűrített hideg levegő hűti az égéstér falait. A vezérlő fenntartja az izzítást, hogy az első befecskendezéskor az öngyulladás biztos legyen.
- **Utóizzítás:** a beindult motoron a gyertyák még néhány másodperctől akár 1–2 percig alacsonyabb teljesítménnyel fűthetnek, hogy az égés stabil legyen, a fehér füst és a szénhidrogén-kibocsátás csökkenjen, valamint a motor járása egyenletesebbé váljon. Az utóizzítást az elektronikus motorvezérlő (ECU) szabályozza.

A vezérlés formái: a legrégebbi rendszerek időrelét használnak, amely meghatározott ideig húzta be a gyertyákat. A modern rendszerekben az izzításvezérlő elektronikus, sok esetben az ECU-ba integrálva, és a gyertyákra jutó teljesítményt PWM (impulzusszélesség-moduláció) segítségével szabályozza. A PWM jelet a vezérlő a bemeneti feszültség, a motor hőmérséklete és a fordulatszám alapján állítja be, így a gyertya hőmérséklete tartósan az optimális tartományban tartható.

29.3.4.4. Utóizzítás és emisszió

Az utóizzításnak kettős szerepe van: egyrészt javítja a hideg motor égését, másrészt csökkenti a kipufogógázban a részben elégett szénhidrogéneket (fehér füst). Hideg motornál a befecskendezett tüzelőanyag egy része nem ég el, a falakra lerakódik, vagy a kipufogóba távozik. Az izzógyertya forró felülete elősegíti a keverék gyulladását, így kevesebb elégetlen tüzelőanyag keletkezik. Ez közvetve védi a katalizátort és a részecskeszűrőt is.

29.3.5. Kidolgozott példák

Példa 1: egy izzítógyertya áramfelvétele hideg állapotban. Egy fémes izzítógyertya hideg ellenállása $R = 0{,}8\,\Omega$. Az akkumulátor kapocsfeszültsége $U = 12{,}5\,\mathrm{V}$. Mekkora a gyertya kezdeti áramerőssége?

Számítás.
Ohm törvénye:
$I = \frac{U}{R} = \frac{12{,}5\,\mathrm{V}}{0{,}8\,\Omega} = 15{,}6\,\mathrm{A}$.

Tehát egyetlen fémes izzítógyertya hidegen körülbelül 15–16 A-t vesz fel. Ez az érték a felmelegedés során csökken, mert az ellenállás nő.

Példa 2: négy párhuzamos izzítógyertya összellenállása és összáram. Négy azonos, $R = 0{,}8\,\Omega$ hideg ellenállású gyertya párhuzamosan kapcsolódik ($n = 4$ a gyertyák száma). Az eredő ellenállás:

$R_{\ddot{o}} = \frac{R}{n} = \frac{0{,}8\,\Omega}{4} = 0{,}2\,\Omega$.

Az összes áramerősség:
$I_{\ddot{o}} = \frac{U}{R_{\ddot{o}}} = \frac{12{,}5\,\mathrm{V}}{0{,}2\,\Omega} = 62{,}5\,\mathrm{A}$.

Az akkumulátortól a gyertyákig folyó áram tehát hideg indításkor több tíz amper lehet. Ezért a főbiztosítékot és a vezetéket erre a terhelésre méretezik; a feszültségesés miatt a gyertyákon ténylegesen kevesebb feszültség jelenhet meg. Ha a vezeték ellenállása például $R_{\mathrm{vez}} = 0{,}02\,\Omega$, a feszültségesés: $\Delta U = I_{\ddot{o}} R_{\mathrm{vez}} = 62{,}5\,\mathrm{A} \cdot 0{,}02\,\Omega = 1{,}25\,\mathrm{V}$, tehát a gyertyákon csak $12{,}5 - 1{,}25 = 11{,}25\,\mathrm{V}$ marad. Ezért fontos a tiszta, szoros csatlakozó és a megfelelő keresztmetszetű vezeték.

29.3.6. Minőségellenőrzés

Az izzítókör ellenőrzésekor a következő méréseket végezd el:

- **Izzítógyertya ellenállásának mérése:** multiméterrel Ω tartományban, hideg motoron. Húzd le a csatlakozót, és mérd a gyertya test és a kivezetés között. Jellemző érték fémes gyertyánál 0,5–1,5 Ω, kerámia esetén eltérő (ellenőrizendő gyártói adat). A mért szakadás (végtelen ellenállás) hibás gyertyát jelez.
- **Áramfelvétel mérése:** lakatfogóval, az izzítókör fővezetékén, az izzítás bekapcsolása után. A kezdeti áramlökés hidegen nagy, majd csökken. Ha valamelyik gyertya nem vesz áramot, annak áramköre szakadt.

- **Feszültség mérése terhelés alatt:** a gyertyák csatlakozójánál, izzítás közben multiméterrel. A feszültségesés hibás csatlakozásra vagy vezetékre utal.
- **Vezérlő-ellenőrzés:** rendszerteszterrel az izzításvezérlő stádiumai (előizzítás, indítás közbeni, utóizzítás) követhetők. A hibakódok (pl. izzítógyertya-áramkör) a vezérlő diagnosztikájában jelennek meg.

29.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy 2,0 TDI személyautó tulajdonosa arról panaszkodik, hogy hideg reggeleken a motor hosszan forgat, majd fehér füsttel indul, és a műszerfalon az izzítás visszajelző lámpa rövid ideig villog. A hibakód-kiolvasás az egyik henger izzítógyertya-áramkörét jelzi.
Az ellenőrzés során a szerelő a gyertyákat hidegen multiméterrel méri: három gyertya ellenállása 0,9 Ω körüli, a negyediké 12 Ω, ami túl magas – a gyertya belső fűtőszála elöregedett. A csere során a hibás gyertyát meleg motornál, óvatosan kicsavarja, a menetet megtisztítja, az új gyertyát gyári nyomatékkal szereli be. A javítás után hidegindítási tesztet végez, a motor azonnal indul, a fehér füst megszűnik. Tanulság: az izzítókör hibája hideg üzemben jelentkezik, ezért a mérést hideg motoron kell elvégezni.

29.3.8. Gyakorlati útmutató: izzítógyertya-csere

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél: a hibás izzítógyertyák cseréje a gyártói előírás szerint, az égéstér tömítettségének és a menetek sérülésének elkerülésével.

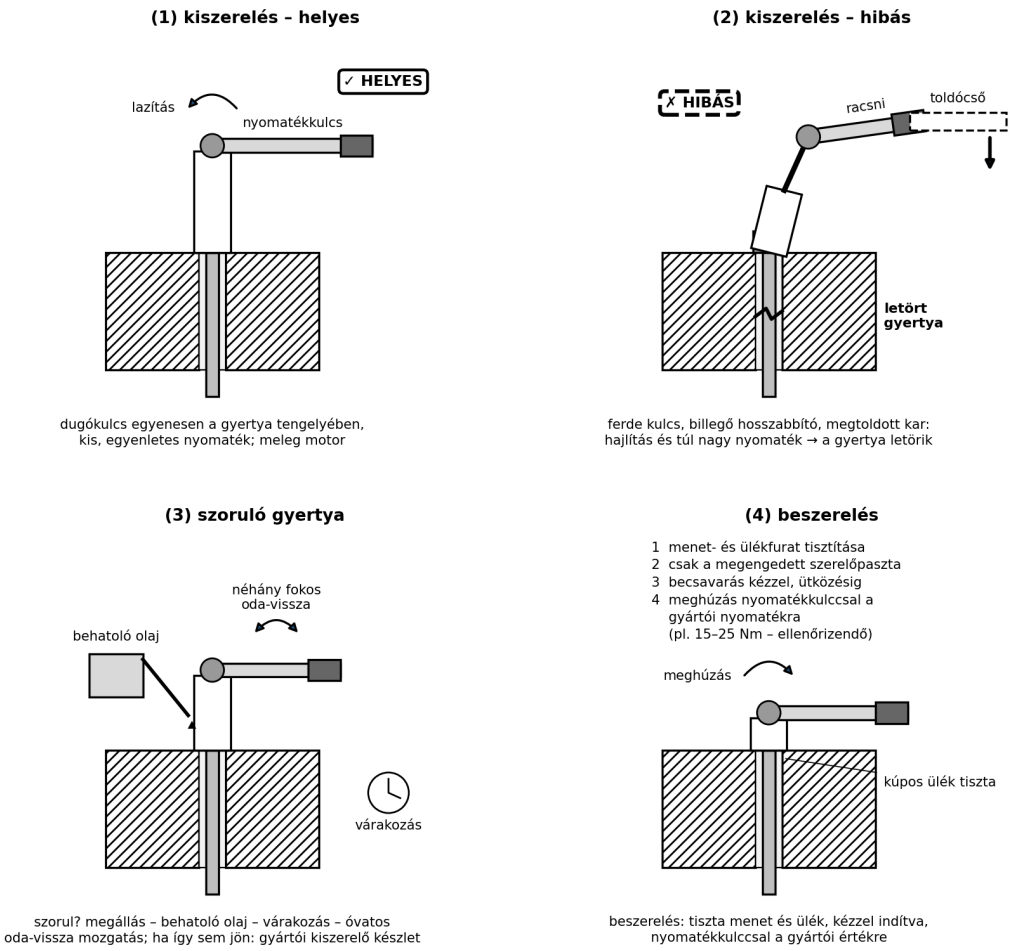
Szükséges szerszámok, anyagok: izzítógyertya-dugókulcs, hosszabbító, nyomatékkulcs, csőkulcs-készlet, menetpaszta (ha a gyártó előírja), munkalámpa, multiméter.

Munkalépések: 1. Azonosítsd a járművet (alvázszám, motorkód), és ellenőrizd a gyártói javítási utasítás adatait (nyomaték, csereeljárás). 2. Melegítsd fel a motort a gyártói utasítás szerint, mert a meleg hengerfejben a gyertyák könnyebben oldhatók.

Figyelem. A meleg motor alkatrészei égési sérülést okozhatnak – hőálló kesztyűt viselj, a kipufogó-leömlőt és a hengerfejet ne érintsd.

3. Gyújtás ki, kulcs távol, az akkumulátor negatív testvezetékét kösd le a gyártói eljárás szerint.
4. Távolítsd el az izzítókör csatlakozóit és az esetleg akadályozó alkatrészeket (pl. szívócső, hővédő lemez), a gyártói utasítás szerint.
5. Lazítsd meg az izzítógyertyát a megfelelő dugókulccsal, egyenletes, kis nyomatékkal. Ha szorul, akkor ne erőltesd – alkalmazz behatoló olajat (pl. rozsdaoldó) a gyártói előírás szerint, majd lassan, oda-vissza mozgatva oldd meg.
6. Tisztítsd meg a gyertya menetfuratát és az új gyertya menetét, ha a gyártó előírja, vidd fel a megengedett kenőanyagot.
7. Csavard be az új gyertyát kézzel, amíg a tömítőfelület fel nem fekszik, majd húzd meg nyomatékkulccsal a gyártói előírt nyomatékkal (példaként 15–25 Nm – ellenőrizendő).
8. Szereld vissza a csatlakozókat és az eltávolított részeket, kösd vissza az akkumulátort (pozitív, majd negatív, a gyártói előírás szerint).
9. Végezz működéspróbát: kapcsold be a gyújtást, ellenőrizd az izzítás visszajelzőt, majd hidegindítási tesztet. Mérd meg lakatfogóval az izzítókör áramfelvételét, és ellenőrizd, hogy nincs-e égetett szag, füst.

10. Dokumentáld a munkát (munkalap, szervizkönyv, hibakód-törlés és olvasás).



29.11. ábra. Izzítógyertya kiszerelése és beszerelése: helyes és hibás fogás, szoruló gyertya, beszerelés nyomatékkulccsal

A képsor az 5–7. lépést mutatja: a dugókulcs a gyertya tengelyében áll (1), a ferde kulcs, a billegő hosszabbító és a toldócső letöréshez vezet (2), szoruló gyertyánál megállás, behatoló olaj, várakozás és óvatos oda-vissza mozgatás következik (3), beszereléskor tiszta menet és ülék, kézi becsavarás és nyomatékkulcs (4). A HTML-változat lépésenként lejátszható.

Tipikus hiba a gyakorlatban: hideg motornál erőltetni a megszorult gyertyát, ami a gyertya letöréséhez és a hengerfej sérüléséhez vezet. A beszakadt izzítógyertyát csak speciális kihúzószerszámmal és a gyártói eljárás szerint szabad eltávolítani.

29.3.9. Tipikus hibák

1. **A gyertya ellenállását meleg motoron mérni, és a hideg referenciaértékkel összevetni.** A gyertya ellenállása hőmérsékletfüggő, melegen magasabb; a hideg eljárástól eltérő érték téves diagnózishoz vezet.
2. **A izzítókör feszültségét terhelés nélkül mérni.** A csatlakozón elegendő feszültséget mérhetsz, de a nagy áramú körben a rossz érintkezés miatt a gyertyán már csak kisebb feszültség jelenik meg. A mérésnél terhelést kell alkalmazni (izzítás bekapcsolva).

3. **Az izzításvezérlő tartós átkötése.** A gyertyák folyamatos fűtése túlmelegedést, a gyertya és az égéstér károsodását okozhatja. A gyertyák üzemi hőmérsékletét a PWM szabályozás tartja, ezt megkerülni tilos.
4. **A beszakadt izzítógyertya maradékát fúróval vagy egyszerű szerszámmal kifúrni.** Ez a hengerfej menetes furatát véglegesen megrongálhatja; mindig a gyártói kihúzószerszámot kell használni.

29.3.10. Önellenőrzés

1. Magyarázd el, miért van szükség izzítókörre hideg dízelmotornál!
2. Mi a különbség a fémes és a kerámia izzítógyertya között?
3. Számítsd ki 4 db 1,2 Ω-os párhuzamos izzítógyertya eredő ellenállását és 12 V feszültségnél az összes áramerősséget!
4. Mi a szerepe az utóizzításnak?
5. Milyen mérésekkel ellenőrzöd az izzítógyertyát?
6. Mit tegyél, ha az izzítógyertya beszakadt?

29.3.11. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld az izzítógyertya fogalmát, és sorold fel az izzítás három fázisát!

2. feladat (A)
Egy izzítógyertya hideg ellenállása $R = 1{,}0\,\Omega$, a kapocsfeszültség $U = 12\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az áramerősséget és a felvett teljesítményt!

3. feladat (B)
Négy azonos izzítógyertyát párhuzamosan kapcsoltak. Mindegyik ellenállása hidegen $R = 0{,}9\,\Omega$, az akkumulátor kapocsfeszültsége $U = 12{,}4\,\mathrm{V}$. Számítsd ki:
a) az eredő ellenállást,
b) az összes áramerősséget,
c) az egyes gyertyákon átfolyó áramot,
d) az összes felvett teljesítményt!

4. feladat (B)
Az izzítókör kapcsolási rajza alapján írd le az áram útját az előizzítás bekapcsolásakor! Nevezd meg a főbb elemeket és a kapocsjelöléseket!

5. feladat (C)
Miért használnak a modern közös nyomásterű dízelmotorok kerámia izzítógyertyákat és PWM szabályozást? Hasonlítsd össze a régi relés vezérléssel!

6. feladat (D)
Egy dízelmotor hidegindítási panasszal érkezik. A mérések: az izzítás visszajelző lámpa kigyullad, a gyertyák csatlakozóján izzítás közben 11,8 V feszültséget mérsz, az akkumulátor kapocsfeszültsége 12,5 V. A gyertyák hideg ellenállásai: R1 = 1,1 Ω, R2 = 1,0 Ω, R3 = 25 Ω, R4 = 1,0 Ω. Melyik a hibás alkatrész, és miért? Milyen további mérést végeznél a javítás után?

29.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok 1. Hideg motornál a sűrítési véghőmérséklet nem éri el a gyulladási hőmérsékletet, ezért forró felület (izzítógyertya) szükséges az öngyulladás beindításához.
2. A fémes gyertya fém fűtőszálat használ, lassabb felmelegedésű, a kerámia gyorsabban felfűt, magasabb hőmérsékletet ér el.
3. $R_{\text{ö}} = 1{,}2/4 = 0{,}3\,\Omega$; $I = 12/0{,}3 = 40\,\text{A}$.
4. Az utóizzítás a hideg motor beindítása után fenntartja a gyertya hőmérsékletét, csökkenti az égés zaját, a fehér füstöt és a szénhidrogén-kibocsátást.
5. Ellenállásmérés hidegen multiméterrel, áramfelvétel mérése lakatfogóval, feszültségmérés terhelés alatt, valamint hibakód-olvasás.
6. A beszakadt gyertyát ne fúrd ki; a gyártói eljárás szerint speciális kihúzószerszámmal, meleg motornál, óvatosan távolítsd el.

1. feladat megoldása
Az izzítógyertya a dízelmotor égéstérbe nyúló elektromos fűtőeleme, amely hideg motornál forró felületet biztosít a tüzelőanyag öngyulladásához. Az izzítás fázisai: előizzítás, indítás közbeni izzítás, utóizzítás.

2. feladat megoldása
$I = \frac{U}{R} = \frac{12\,\text{V}}{1{,}0\,\Omega} = 12\,\text{A}$;
$P = U \cdot I = 12\,\text{V} \cdot 12\,\text{A} = 144\,\text{W}$.
Ellenőrzés: egy gyertya kb. 150 W, négy gyertya együtt több száz watt – ez valósághű.

3. feladat megoldása
a) $R_{\text{ö}} = \frac{0{,}9\,\Omega}{4} = 0{,}225\,\Omega$.
b) $I_{\text{ö}} = \frac{12{,}4\,\text{V}}{0{,}225\,\Omega} \approx 55{,}1\,\text{A}$.
c) $I_{\text{gy}} = \frac{12{,}4\,\text{V}}{0{,}9\,\Omega} \approx 13{,}8\,\text{A}$.
d) $P_{\text{ö}} = U \cdot I_{\text{ö}} = 12{,}4\,\text{V} \cdot 55{,}1\,\text{A} \approx 683\,\text{W}$.
Ellenőrzés: az egyes gyertyák áramának összege $4 \cdot 13{,}8 = 55{,}2\,\text{A}$, ami kerekítés mellett megegyezik.

4. feladat megoldása
Az előizzítás bekapcsolásakor a gyújtáskapcsoló 15-ös kapcsa jelet ad az izzításvezérlőre, amely a K1 relé tekercsét meghúzza. A relé 30–87 munkaérintkezője zár, így az akkumulátor pozitív sarkáról a 30-as fővezetéken, az F1 főbiztosítékon, a K1 érintkezőn és a 87-es kimeneten át a négy párhuzamosan kapcsolt izzítógyertyára (R1–R4) jut áram. A gyertyák test felé zárnak. Az áramút: G1+ → F1 → K1 30/87 → R1–R4 → test.

5. feladat megoldása
A kerámia gyertya gyorsabban felfűt és magasabb hőmérsékletet ér el, így a hidegindítás és az utóizzítás hatékonyabb. A PWM szabályozás a gyertyák fűtési teljesítményét folyamatosan a motor hőmérsékletéhez és fordulatszámához igazítja, így nem túlfűt, és kíméli a gyertyákat. A régi relés vezérlés csak be- és kikapcsolást tud, az izzítási idő fix, a gyertya hőmérséklete kevésbé szabályozott.

6. feladat megoldása
A hibás alkatrész a R3 jelű izzítógyertya, mert hideg ellenállása 25 Ω, ami sokkal nagyobb a többi 1,0 Ω körüli értéknél. A nagy ellenállású gyertya áramfelvétele kicsi, ezért nem fűt megfelelően, így a hidegindítás nem lesz stabil. A csatlakozón mért 11,8 V feszültség valós terhelés alatt van, tehát a feszültségesés elfogadható. A javítás után hidegindítási tesztet és árammérést végeznék: a négy gyertya hideg áramfelvételének közel azonosnak kell lennie, és hiba esetén eltérő érték mutatkozik.

29.3.13. Rövid összefoglaló

A dízelmotorok hidegindításához izzítóberendezésre van szükség, mert a sűrítés hőmérséklete hideg motornál nem éri el a gyulladási hőmérsékletet. A lángkeltésű indítóberendezés régi megoldás; a mai motorok izzítógyertyákat használnak. A fémes izzítógyertya lassabban, a kerámia gyorsabban fűt fel. Az izzításvezérlő előizzítást, indítás közbeni izzítást és utóizzítást vezérel, modern rendszerekben PWM szabályozással. Az izzítógyertyák párhuzamosan kapcsolódnak, hideg ellenállásuk kicsi (jellemzően 0,5–1,5 Ω), ezért több tíz amperes áramot vesznek fel. A hibakeresés hideg motoron végzett ellenállás- és áramfelvétel-méréssel történik; a gyertyacsere során a beszakadás elkerülése elsődleges, a meghúzási nyomatékot a gyártói adatból kell venni. **Továbbvitt eredmény:** az izzítókör mérési és hibakeresési módszere a Villamos diagnosztika részben és a vizsgafelkészülésben is előkerül.

29.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a stabil elektrotechnikai alapokra (Ohm-törvény, párhuzamos kapcsolás) és a dízelmotoros izzítási rendszerek általános működési elvére épül. A gyártói adatok (izzítógyertyák ellenállása, meghúzási nyomaték, biztosítékérték, felmelegedési idő, hőmérséklet) tanulási példák; ezeket minden konkrét javításnál a gyártói javítási utasításból kell ellenőrizni. A hibakódok és a vezérlési stratégiák típusonként változnak, ezért az `(ellenőrizendő: gyártói adat)` megjelölésű értékeket a kiadás előtt frissíteni kell.

30 Világítás, komfort- és biztonsági elektronika, klíma

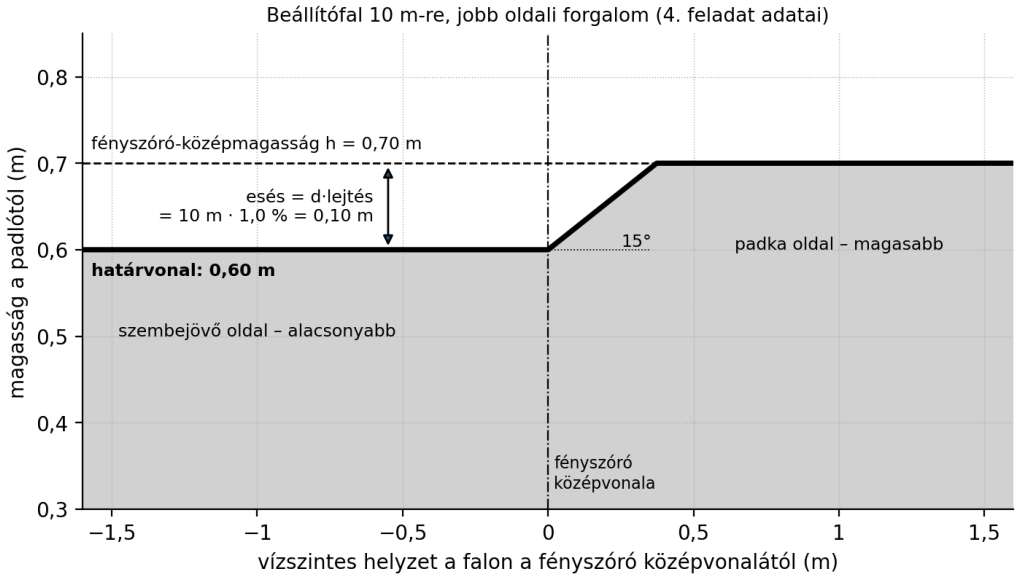
30.1. Fénytechnika és világítóberendezések

30.1.1. Motiváció

Egy műszaki vizsgára előkészített személyautó a világításvizsgálaton megbukik. Az ügyfél szerint „csak egy izzó volt rossz”, mégis azt kapja, hogy a bal oldali tompított fényszóró vakít, a jobb oldali fénysugár pedig túl alacsonyra világít. A szerelőnek egyszerre kell értenie a fénytechnikai mennyiségeket, a fényszóró fényeloszlását, a kapcsolási rajzot és a hatósági követelményeket. Ez az alfejezet éppen ezt a tudást építi fel: a lámpák nem csupán izzók, hanem típusjóváhagyott, beállított optikai rendszerek.

30.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy halogénes tompított fényszóró metszetét. Az izzószál a parabola alakú reflektor fókuszpontjában helyezkedik el. A reflektor a fényt közel párhuzamos sugárnyalábbá gyűjti, a fényforrás előtti eltérítő lemez pedig levágja a felfelé induló sugarakat. Ha a járművet egy függőleges fal elé állítjuk, a falon egy jellegzetes **fény-sötét határ** jelenik meg: bal oldalon vízszintes, alacsonyabban futó vonal, középen egy kb. 15°-os ferde lépcső, jobb oldalon pedig magasabb vízszintes szakasz. Jobb oldali forgalmú járműnél a bal szakasz alacsonyabb, hogy a szembejövőt ne vakítsa, a jobb oldali magasabb, hogy a padkát és a közúti táblákat jobban megvilágítsa.



30.1. ábra. A tompított fény fény-sötét határa a 10 m-re álló beállítófalon (jobb oldali forgalom; a 4. feladat adatai: $h = 0{,}70\,\mathrm{m}$, 1,0 % lejtés)

Az ábrán a szürke terület a megvilágított rész, a vastag vonal a fény-sötét határ: a fényszóró 0,70 m-es középmagasságához képest 10 m-en 1,0 %-os lejtés 0,10 m esést, azaz 0,60 m-es határvonalat ad. A HTML-változatban a fényszóró magassága, a falig mért távolság és a lejtés csúszkával állítható, és a kép bal oldali forgalomra tükrözhető.

30.1.3. A fény jellemzői

A fény optikai sugárzás, amelyet az emberi szem érzékel. A járművilágításban három mennyiséget használunk rendszeresen.

Definíció. A **fényáram** (Φ) a fényforrás által kisugárzott, a szem érzékenységével súlyozott látható sugárzási teljesítmény. Mértékegysége a **lumen** (lm). Minél nagyobb a fényáram, annál „több fényt” ad a lámpa.

Definíció. A **fényerősség** (I) egy adott irányban, kis térszögbe (Ω) kisugárzott fényáram. Mértékegysége a **kandela** (cd). Képlete differenciális alakban:

$$I = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}\Omega}$$

Egyenletes eloszlás esetén egyszerűbben $I = \Phi/\Omega$. A fényszóró iránykarakterisztikája éppen azt mutatja meg, hogy az egyes irányokban mekkora fényerősséget ad le.

Definíció. A **megvilágítás** (E) a felületre érkező fényáram és a felület nagyságának hányadosa. Mértékegysége a **lux** (lx), ahol $1\,\mathrm{lx} = 1\,\mathrm{lm/m^2}$.

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Pontszerű fényforrástól r távolságban, merőleges beesésnél a megvilágítás a fényerősségből is számítható:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

Ha a fénysugár θ szöget zár be a felület normálisával, akkor a megvilágítás $\cos\theta$-val csökken: $E = I\cos\theta / r^2$.

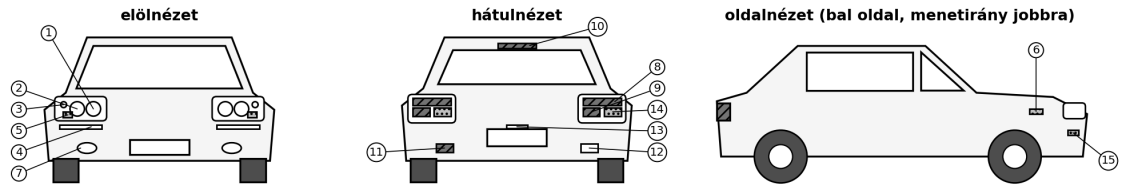
Definíció. A **színhőmérséklet** (T, mértékegysége kelvin, K) azt mutatja meg, hogy egy ideális feketesugárzó testnek mekkora hőmérsékletre kellene melegednie ahhoz, hogy a vizsgált fényforrással azonos színű fényt bocsásson ki. Ez **nem** a lámpa tényleges üzemi hőmérséklete. A nagyobb színhőmérséklet kékebb, hidegebb fényt jelent. A halogén izzók jellemzően kb. 3 200 K, a xenon fényszórók kb. 4 200–4 500 K, a LED-fényszórók pedig gyakran 5 500–6 500 K színhőmérsékletűek (**ellenőrizendő:** gyártói katalógusadatok).

30.1.4. Világítóberendezések feladata és csoportosítása

A járművilágítás kettős célt szolgál: **látni** (vezető látja az utat) és **látszani** (a többi közlekedő észleli a járművet). E szerint csoportosíthatjuk a berendezéseket.

Lámpa	Feladata	Színe / jellegzetesség	Jellemző kapocsjel (DIN 72552 szerint)
Tompított fényszóró	Közeli útfelület megvilágítása vakítás nélkül	fehér, aszimmetrikus fényhatár	`56b`
Távolsági fényszóró	Távoli útfelület maximális megvilágítása	fehér, szimmetrikus, erős	`56a`
Helyzetjelző	Jármű kiterjedésének jelzése sötétben, álló helyzetben	első fehér, hátsó piros	`58`
Nappali menetfény (DRL)	Nappali észlelhetőség, automatikusan világít	fehér, csökkentett fényerő	gyártói rajz szerint
Irányjelző / elakadásjelző	Irányváltási szándék / veszély jelzése	borostyánsárga, villogó	`49a`
Féklámpa	Lassítás, fékezés jelzése	piros, erősebb	`54` (ellenőrizendő)
Első / hátsó ködlámpa	Rossz látási viszonyok közti látás / látszás	fehér vagy sárga / piros	gyártói rajz szerint
Tolatólámpa	Hátramenet jelzése, tér megvilágítása	fehér	gyártói rajz szerint
Rendszámtábla-világítás	Rendszám olvashatósága	fehér	gyártói rajz szerint

Az értékek és kapocsjelek tanulási példák (**ellenőrizendő:** DIN 72552, gyártói áramútrajz és mindenkori előírás).



1 távolsági fényszóró – F – 56a
2 tompított fényszóró – F – 56b
3 első helyzetjelző – F – 58
4 nappali menetjelző (DRL) – F – gyártói rajz
5 első irányjelző – S – 49a
6 oldalsó irányjelző – S – 49a
7 első ködfényszóró – F/S – gyártói rajz
8 hátsó helyzetjelző – P – 58
9 féklámpa – P – 54 (ellenőrizendő)
10 pótféklámpa (harmadik féklámpa) – P – 54 (ellenőrizendő)
11 hátsó ködlámpa – P – gyártói rajz
12 tolatólámpa – F – gyártói rajz
13 rendszámtábla-világítás – F – 58 (gyártói rajz)
14 hátsó irányjelző – S – 49a
15 oldalsó helyzetjelző (ha előírt) – S – gyártói rajz

Fényszín: F = fehér, S = sárga/borostyán, P = piros (a rajzon: fehér, pontozott, vonalkázott). Kapocsjelek: DIN 72552, ellenőrizendő a gyártói áramútrajzon. Darabszám, hely és kötelező/megengedett jelleg: ellenőrizendő – ECE R48 és a hazai előírás.

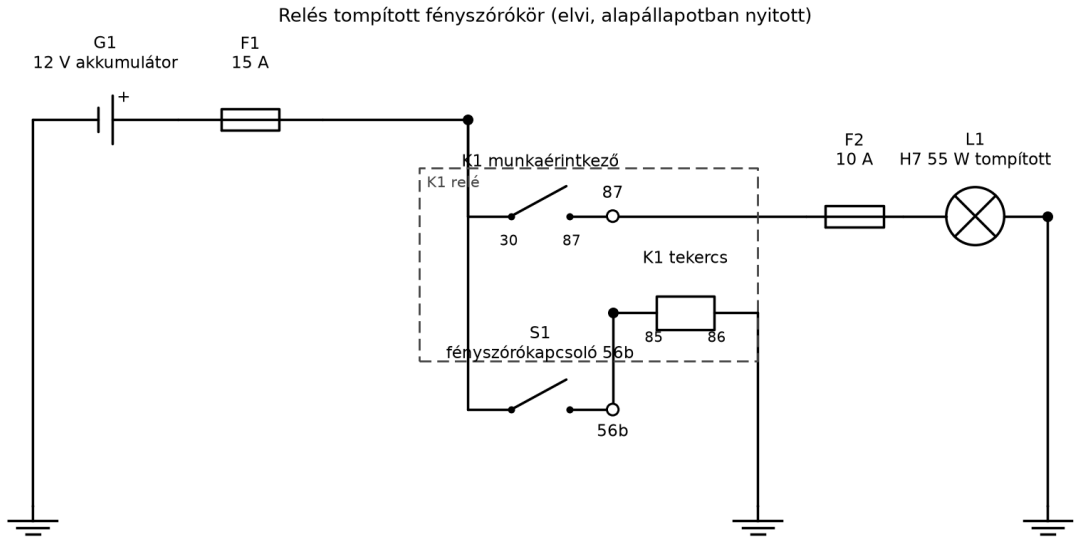
30.2. ábra. A külső világítás és jelzőberendezések elhelyezése személygépkocsin (elöl-, hátul- és oldalnézet), a fényszín betűjelével

Az ábra hívószámai a táblázat lámpáit mutatják a járművön; a fényszínt betű jelöli (F fehér, S sárga/borostyán, P piros), a darabszám és a kötelező/megengedett jelleg ellenőrizendő (ECE R48 és a hazai előírás). A HTML-változatban egy lámpára mutatva megjelenik a neve, a fényszíne és a kapocsjele.

Előírás. A világítóberendezések típusjóváhagyását, fénytechnikai jellemzőit és beépítését az **ENSZ-EGB előírások** rögzítik; a járművilágítás beépítésének alapdokumentuma az **ECE R48** típusú előírás (**ellenőrizendő:** pontos szám, módosítások). A fényszórókra, fényforrásokra és a lámpákra külön ECE-előírások vonatkoznak, például a halogén fényszórókra az R112, a gázkisüléses fényszórókra az R98, a fényforrásokra az R37 (izzó), R99 (gázkisüléses) és R128 (LED), az adaptív fényszórórendszerekre az R123 (**ellenőrizendő:** pontos számok, módosítások). A lámpabúrán körben `E` betűt és országkódot, valamint típusjóváhagyási számot találunk. A hazai forgalomban tartás műszaki feltételeit a 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet (a forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételeiről), a vizsgálat rendjét az 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet (a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról) tartalmazza (**ellenőrizendő:** hatályos szöveg és módosítások).

30.1.5. A relés fényszórókör kapcsolási rajza

A fényszórók áramfelvétele több amper is lehet, ezért a kapcsolót nem terheljük közvetlenül. A kapcsoló a relé tekercsét vezérli, a munkaáramkör pedig a relé érintkezőjén folyik. Az alábbi kapcsolási rajz egy tompított fényszórót működtető relés kör elvi felépítését mutatja.

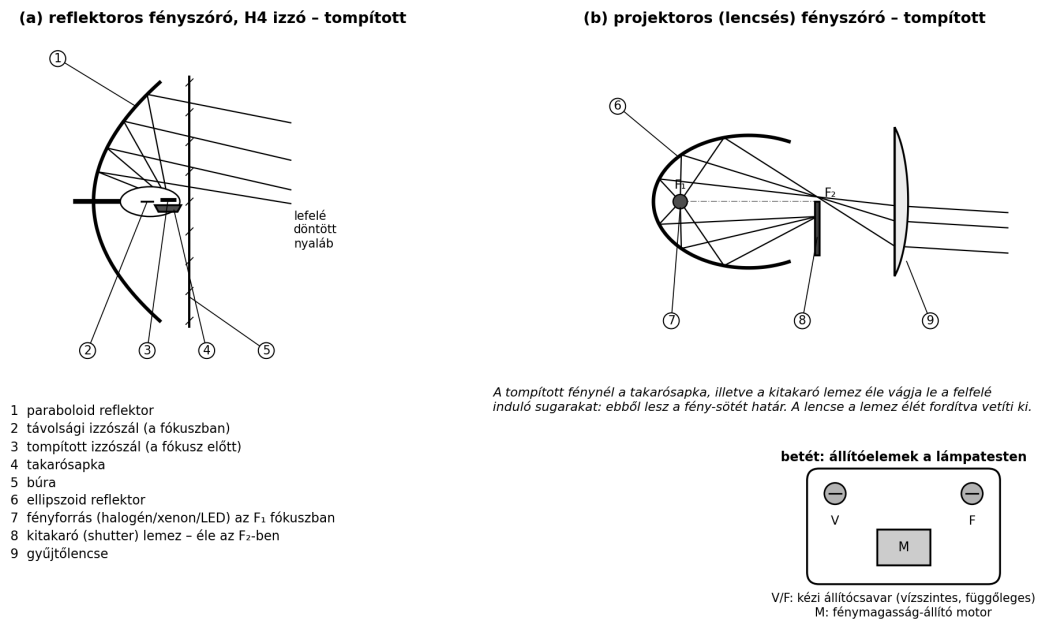


30.3. ábra. Relés tompított fényszórókör (elvi, alapállapotban nyitott) - Szemléltető tanulási rajz; a valós járművön a gyártói áramútrajz az irányadó. Az S1 fényszórókapcsoló a relé tekercsét vezérli, a K1 relé 30–87 munkaérintkezője kapcsolja az izzót.

A kapcsoló `S1` a műszerfalon a `30`-as állandó plusz ágat kapcsolja a `56b` kimenetre; a relé `85` kapcsán beérkező áram behúzza a `K1` relét, mert a `86` kapocs testre van kötve. A 85/86 polaritása gyártónként eltér (vö. A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz); védődiódás relénél a polaritás kötött. A relé `30`–`87` munkaérintkezője ezután zár, és a `F2` biztosítékon át áram folyik a tompított izzóhoz. A kapcsolási rajzon a testpontokat `ground` jel, a kapcsolási pontokat a `dots` jelöli. **Továbbvitt eredmény.** Ez a kapcsolási logika az Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés alfejezetben és a Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj alfejezetben a világítás diagnosztikájánál tér vissza.

30.1.6. Távolsági és tompított fényszórók

A tompított fényszóró az alapvető éjszakai világítás. A fény-sötét határ aszimmetrikus, hogy a szembejövő forgalmat ne vakítsa, ugyanakkor a saját oldalon lévő útpadkát még megvilágítsa. A távolsági fényszóró ezzel szemben szimmetrikus, nagy fényerősségű, ezért csak akkor használható, ha nem vakít el más közlekedőt.



30.4. ábra. Reflektoros fényszóró H4 izzóval és takarósapkával, valamint projektoros (lencsés) fényszóró kitakaró lemezzel – tompított fény sugármenete; betét: állítóelemek a lámpatesten

A reflektoros fényszóróban a tompított izzószál a fókusz előtt ég, és alatta a takarósapka csak a reflektor felső felét engedi megvilágítani, ezért a visszavert nyaláb lefelé dől. A projektoros fényszóróban az ellipszoid reflektor a fényt a második fókuszba gyűjti, ott áll a kitakaró lemez éle, és a gyűjtőlencse ezt az élet vetíti ki fény-sötét határként. A HTML-változatban a tompított és a távolsági sugármenet között lehet váltani.

A fényforrások fejlődése alapján négy fő típust különböztetünk meg.

- **Halogén fényszóró.** A volfrámszálas izzó búrájában halogén gáz van, ami a lepárolgó volfrámot részben visszaviszi az izzószálra, így megakadályozza a búra feketedését. A H4-izzó egy búrában két izzószálat tartalmaz: a tompított fény számára 55 W, a távolsági fény számára 60 W teljesítményűt, gyártói típustól függően (**ellenőrizendő:** gyártói adat). A H7-es izzók külön fényszóróba kerülnek, így a tompított és a távolsági fény optikája külön tervezhető.
- **Xenon (gázkisüléses) fényszóró.** A D1S, D2S, D3S, D4S jelű fényforrásokban nincs izzószál; a xenongázban létrejövő ívkisülés fénye világít. A fényforrás üzemi feszültsége nem 12 V, a gyújtáshoz rövid időre több tíz kilovolt (kb. 20–25 kV) szükséges, az üzemi feszültség pedig kb. 85 V váltakozó (négyszög) feszültség (**ellenőrizendő:** gyártói adat). A xenon fényszóró jellemzően projektoros, nagyobb fényáramú és jobb hatásfokú, mint a halogén. A rendszerhez automatikus fényszóró-tengelyállítás és fényszórómosó is tartozik, mert a nagyobb fényteljesítmény szennyezett búrával jobban szórja a vakító fényt.

Figyelem. A xenon fényszóró gyújtóegysége és vezetékei nagyfeszültség alatt állnak. A xenon lámpát csak feszültségmentesített járművön, a gyártói utasítás szerint szabad szerelni. Járó motorral vagy felkapcsolt fényszóróval a fényforrást kivenni **tilos**. A nagyfeszültségű részt közönséges multiméterrel mérni nem szabad; a méréshez megfelelő mérési kategóriájú műszer és kiképzés kell (**ellenőrizendő:** CAT III/IV, gyártói javítási utasítás).

- **LED-fényszóró.** A fénykibocsátó diódák félvezetőkből állnak, nincs izzószáluk. A LED-nek hűtőbordára, tápáram-szabályozó elektronikára és gyakran aktív hűtésre van szüksége.

A fényforrás nem cserélhető izzóként, hanem LED-modul vagy komplett fényszóróegység csere jellemző. A LED-fényszóró színhőmérséklete magas, élettartama hosszú, és a fényeloszlás precízen kialakítható.

- **Mátrix-LED fényszóró.** A tompított és távolsági funkció több LED-szegmensből áll. A mátrix-LED vezérlése az első kamera jelei alapján úgy oltja ki az egyes szegmenseket, hogy a megvilágított térrészben a szembejövő vagy az elöl haladó jármű környezete árnyékban maradjon. Így a távolsági fény úgy maradhat bekapcsolva, hogy nem vakít.

Fényszóró-magasságállítás. A fényszóró beállítása a jármű terhelésétől függően változhat, ezért a járművön kézi vagy automatikus szintezés van. A kézi állítás a műszerfali kapcsolóval az állítómotorokat mozgatja. A xenon és LED fényszóróknál automatikus, dinamikus szintezést alkalmaznak, amely a futómű magasságérzékelői alapján gyorsan utánállítja a fénysugarat (**ellenőrizendő:** gyártói rendszer és ECE-előírás). A beállítási eljárást mindig a gyártói javítási utasításból vesszük; a fényszóró-ellenőrző készüléken a lejtést százalékban adjuk meg.

30.1.7. Irányjelző és elakadásjelző

Az irányjelző a jármű oldalán borostyánsárga, villogó fénnyel jelzi a haladási szándékot. A hagyományos rendszerben az irányváltó-kapcsoló a villogóautomatát köti össze a választott oldal izzóival. A mechanikus vagy elektronikus villogóautomata a bekapcsolást követően megszakítja az áramkört, így hozza létre a villogást. A hagyományos villogóautomata terhelésfüggő, ezért ha egy izzó kiég, a villogási frekvencia megváltozik, általában megnő vagy folyamatosan világít. A LED-irányjelzőknél a vezérlő a fogyasztás változását nem érzékeli, ezért a gyártó LED-kompatibilis villogóautomatát, beépített terhelőellenállást vagy szoftveres beállítást alkalmaz (**ellenőrizendő:** gyártói rendszer).

Az **elakadásjelző** (vészvillogó) mindkét oldali irányjelzőt egyidejűleg villogtatja. A kapcsolója a jármű utasteréből, akár a gyújtás nélkül is működik, mert a jármű álló, veszélyhelyzeti jelzése nem függhet a gyújtástól.

30.1.8. A külső világítás többi eleme

A **helyzetjelző** a jármű helyzetét mutatja sötétben vagy álló helyzetben. Az első helyzetjelző fehér, a hátsó piros, az oldalsó helyzetjelző borostyánsárga lehet. A **féklámpa** a fékpedál lenyomására kapcsol, piros és a helyzetjelzőnél erősebb. A **ködlámpák** közül az első ködlámpa fehér vagy sárga, lapos és széles fénysugarával a ködben a közvetlen útfelületet világítja; a hátsó ködlámpa piros, intenzív, csak erősen csökkent látótávolságnál használható. A **tolatólámpa** hátramenetben fehér fényt ad. A **rendszámtábla-világítás** a rendszámtáblát egyenletesen, fehér fénnyel világítja meg.

30.1.9. Kidolgozott példák

Példa 1 – megvilágítás fényáramból. Egy munkalámpa fényárama $\Phi = 1400\,\mathrm{lm}$, és a fénye egyenletesen $A = 2{,}0\,\mathrm{m}^2$ felületre jut. A megvilágítás:

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{1400\,\mathrm{lm}}{2{,}0\,\mathrm{m}^2} = 700\,\mathrm{lx}$$

Ez megfelel egy jól megvilágított munkahelynek; ellenőrzésképpen az irodai világítás tipikusan 300–500 lx, a műhelyvilágítás ennél nagyobb is lehet.

Példa 2 – pontszerű fényszóró megvilágítása. Egy fényszóró fényerőssége a vizsgált irányban $I = 2400\,\text{cd}$. A mérőfal $r = 6{,}0\,\text{m}$ távolságban van, a beesés merőleges:

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{2400\,\text{cd}}{(6{,}0\,\text{m})^2} = \frac{2400}{36}\,\text{lx} \approx 66{,}7\,\text{lx}$$

Ha a mérőfej $\theta = 30^\circ$ szöget zár be a sugárzással, akkor a megvilágítás:

$$E = \frac{I\cos\theta}{r^2} = \frac{2400 \cdot \cos 30^\circ}{36} \approx \frac{2400 \cdot 0{,}866}{36}\,\text{lx} \approx 57{,}7\,\text{lx}$$

A példa jól mutatja, hogy a fényszórók mérésénél a mérőfej irányítása kritikus.

Példa 3 – áramfelvétel és biztosítékválasztás. Két tompított H7 izzó teljesítménye egyenként 55 W. A rendszer üzemi feszültsége a motorjárás idején $U = 14{,}2\,\text{V}$. Az összteljesítmény $P = 2 \cdot 55\,\text{W} = 110\,\text{W}$, az áram:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{110\,\text{W}}{14{,}2\,\text{V}} \approx 7{,}75\,\text{A}$$

Egy 10 A névleges biztosító elegendő, mert az áramkör tartós árama alatta marad a biztosító névleges értékének. A tényleges biztosítékot mindig a gyártói áramútrajz és a vezeték keresztmetszete alapján választjuk (**ellenőrizendő:** gyártói adat).

30.1.10. Minőségellenőrzés

A világítás ellenőrzése a műszaki vizsgára felkészítés része. Az ellenőrzőlista a következőket tartalmazza:

1. A gyújtás kikapcsolása után a fényforrások típusát és az E-jelölést ellenőrizzük.
2. Bekapcsoljuk a helyzetjelzőt, tompított fényt, távolsági fényt, ködlámpákat, irányjelzőt, elakadásjelzőt, féklámpát, tolatólámpát és a rendszámtábla-világítást.
3. Megfigyeljük, hogy minden lámpa a megfelelő színnel és fényerővel világít, az irányjelző frekvenciája kb. 60–120 villogás/perc tartományban van (**ellenőrizendő:** ECE-előírás).
4. Fényszóró-ellenőrző készülékkel mérjük a fény-sötét határ lejtését, a bal-jobb eltérést és a fényerősséget.
5. Ellenőrizzük a búrák párásodását, repedését, a rögzítőelemeket és a fényszóró-állítómotorok működését.
6. A relés körben megmérjük a feszültségesést: az izzó kapcsán mért feszültség a generátor feszültségéhez képest legfeljebb néhány tized volttal legyen kisebb, különben kontaktushibát vagy rossz vezetéket keresünk (**ellenőrizendő:** gyártói adat).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

30.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy személyautó a műszaki vizsgán a jobb oldali tompított fényszóró miatt bukik meg. Az ügyfél elmondja, hogy „maga cserélt LED-izzót”, mert az sokkal fehérebb. A szerelő először megnézi a fény-sötét határt a fényszóró-ellenőrzővel. A bal oldali fényszóró határa szabályos, a jobb oldalié magasra vet, és a fénye szórt. A lámpatest belső kialakítása halogén izzóhoz tervezett; a beépített utólagos LED-fényforrásnak nincs típusjóváhagyása ehhez a reflektorhoz. A szerelő visszaszereli a gyári H7-es halogén izzót, megtisztítja a búrát, beállítja a fényszóró-magasságot, majd ismét leméri a fényhatárt. A próbamérés már megfelelő, a jármű a vizsgán átmegy. **Tanulság:** a fényforrás típusa nem cserélhető tetszőlegesen; a reflektor és a fényforrás együtt alkot jóváhagyott optikai rendszert.

30.1.12. Tipikus hibák

1. **Utólagos xenon- vagy LED-betét jóváhagyott halogén fényszóróba.** Ez nem felel meg a típusjóváhagyásnak, mert a fényforrás mérete, pozíciója és fényeloszlása eltérő. A fény-sötét határ szétesik, a szórt fény vakít. Helyes gyakorlat: csak a lámpatesthez jóváhagyott (vagy kifejezetten ahhoz a fényszórótípushoz engedélyezett) fényforrást használunk.
2. **Az izzó búráját puszta kézzel fogják meg.** Az ujjlenyomatból származó zsír a forró kvarcüvegen beég, helyi túlmelegedést és idő előtti izzómeghibásodást okoz. Helyes gyakorlat: tiszta kesztyű vagy papírral fogás, illetve a búra letörlése alkohollal.
3. **A fényszórót rosszul terhelt járművön állítják be.** Ha a jármű üres vagy éppen ellenkezőleg meg van terhelve, a magasság- és fényhatár nem a valós üzemnek felel meg. Helyes gyakorlat: a gyártói beállítási feltételek betartása, például a megadott terhelés, üzemanyagszint és gumiabroncsnyomás mellett.
4. **A relé kihagyása vagy a 85/86 felcserélése.** A közvetlen kapcsolóérintkező a nagy áramtól beég; a felcserélt tekercskötés védődiódás relénél zárlatot vagy reléhibát okozhat. Helyes gyakorlat: gyártói áramútrajz szerinti bekötés.

30.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a fényáram mértékegysége a kandela? Indokold.
2. Jobb oldali forgalmú járművön a tompított fény-sötét határ melyik oldalon van magasabban? Miért?
3. Számítsd ki a megvilágítást, ha egy fényforrás fényerőssége 2 000 cd, a merőleges mérőfelület 4 m-re van.
4. Minek a kapocsjele az `56b`?
5. Miért kell relé a fényszóró munkaáramkörében?
6. Miért tilos járó motor mellett, felkapcsolt xenon fényszóróval a fényforrást kivenni?

30.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a fényáram, a fényerősség és a megvilágítás fogalmát, és add meg mértékegységüket!

2. feladat (A). Két távolsági fényszóró izzója egyenként 60 W. Az üzemi feszültség 13,8 V. Számítsd ki az összes áramfelvételt, és döntsd el, hogy egy 15 A-es biztosító alkalmas-e!

3. feladat (B). A relés fényszórókör rajzán azonosítsd a `30`, `87`, `85`, `86` kapcsokat! Magyarázd el, miért nem folyik a teljes izzóáram az S1 fényszórókapcsolón keresztül!

4. feladat (B). Egy fényszóró középpontja 0,70 m magasan van. A gyártói beállítás szerint a fény-sötét határ 10 m-en 1,0%-ot esik (**ellenőrizendő:** gyártói adat). Milyen magasan legyen a falon a fény-sötét határ? Indokold az aszimmetrikus fénysugár szerepét!

5. feladat (C). Egy relé tekercsénél a 85-ös kapocsra a fényszórókapcsoló kimenete, a 86-osra a test van kötve. Mi történik, ha a két kapcsot felcserélik? Milyen kockázatot jelent ez, ha a relé tekercse védődiódát tartalmaz?

6. feladat (D). Ügyfél panasza: a tompított fény nem világít, a távolsági fény viszont igen. A mérés szerint a K1 relé 30-as kapcsán 12,6 V van, a 87-esen 0 V, a 85-ös és a 86-os kapocs között 0 V, a fényszórókapcsoló 56b kimenetén 12 V. A rajz alapján mi a hiba, és hogyan javítod?

30.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A fényáram mértékegysége a lumen; a kandela a fényerősség mértékegysége.
2. Jobb oldali forgalomban a tompított fény határa a **jobb** oldalon magasabb, hogy a jobb oldali padkát és a táblákat jobban megvilágítsa; a bal oldal alacsonyabb, hogy a szembejövőt ne vakítsa.
3. $E = I/r^2 = 2000/16 = 125\,\text{lx}$.
4. A tompított fényszóró kapocsjele.
5. Mert az izzóáram több amper, és a nagy áram a relé munkaérintkezőjén folyik; a kapcsoló csak a relétekercs kis áramát kapcsolja, így kisebb lesz a feszültségesés és az érintkező terhelése.
6. Mert a xenon rendszer nagyfeszültséget állít elő; a fényforrás kivétele előtt a rendszert feszültségmentesíteni kell a gyártói utasítás szerint.

1. feladat (A). A fényáram Φ a fényforrás által kisugárzott, a szem érzékenységével súlyozott látható sugárzási teljesítmény, mértékegysége lumen (lm). A fényerősség I az adott irányban, kis térszögbe kisugárzott fényáram, mértékegysége kandela (cd). A megvilágítás $E = \Phi/A$, mértékegysége lux (lx), ahol $1\,\text{lx} = 1\,\text{lm/m}^2$.

2. feladat (A). Két izzó teljesítménye $P = 2 \cdot 60\,\text{W} = 120\,\text{W}$. Az áram:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{120\,\text{W}}{13{,}8\,\text{V}} \approx 8{,}70\,\text{A}$$

A 15 A biztosító alkalmas, mert a névleges árama nagyobb, mint az áramkör tartós árama. A tényleges választáshoz a gyártói adat és a vezeték keresztmetszete is szükséges.

3. feladat (B). A relé `30` kapcsa a plusz betáp, a `87` a munkaérintkező kimenet az izzó felé, a `85` és `86` a tekercs kapcsai. Az S1 fényszórókapcsoló a relé tekercsét kapcsolja, amelynek árama kicsi, néhány tized amper. A nagy izzóáram a `30`-as és `87`-es érintkezőn folyik, így a kapcsoló nem melegszik, és az érintkezők élettartama nő.

4. feladat (B). A fényszóró magassága $h = 0{,}70\,\text{m}$. A 10 m távolságon az 1,0%-os lejtés esése:

$$\Delta y = 0{,}010 \cdot 10\,\text{m} = 0{,}10\,\text{m} = 10\,\text{cm}$$

A fény-sötét határ magassága a falon:

$$h_{\text{fal}} = h - \Delta y = 0{,}70\,\text{m} - 0{,}10\,\text{m} = 0{,}60\,\text{m}$$

Az aszimmetrikus fényhatár azért szükséges, mert a jobb oldali forgalomban a bal oldal alacsonyabban fut, a szembejövő védelme érdekében, a jobb oldal magasabban, a padka és a táblák megvilágításához.

5. feladat (C). Egy közönséges, diódát nem tartalmazó relétekercsnél a felcserélés nem változtatja meg a mágneses hatást, a relé behúz. Ha azonban a tekercsen védődióda van, a dióda polaritása a gyártói bekötéshez kötött. A felcserélésnél a dióda nyitóirányba kerülhet a tápfeszültségre, ezáltal rövidzárat kapcsol, és a biztosító vagy a relé meghibásodhat. A bekötéshez mindig a gyártói kapcsolási rajzot kell használni.

6. feladat (D). A tünet alapján a relé nem húz be, mert a 30-as érintkezőn feszültség van, a 87-esen nincs, tehát a munkaérintkező nem zár. A fényszórókapcsoló 56b kimenetén 12 V van, a 85 és 86 kapocs között viszont 0 V: a tekercsen nem esik feszültség. Ez közötti 0 V kétféle hibát jelenthet: a 85-re nem jut tápfeszültség, vagy a 86 testkapcsolata szakadt (ilyenkor mindkét kapocs 12 V-on van, köztük 0 V). Döntő következő mérés a 85 és a test között: ha 0 V, a kapcsoló és a 85 közötti vezeték szakadt; ha 12 V, a 86 és a testpont közötti szakasz hibás. A feladat adataiból ez nem dönthető el, az 56b-n mért 12 V csak azt mutatja, hogy a kapcsoló kimenete rendben van. A megtalált szakadt vezetéket vagy csatlakozót javítjuk. Javítás után a kapcsolási rajz szerinti méréssel ellenőrizzük, hogy a tekercsen megjelenik a feszültség, és a relé 87-es kapcsán is megjelenik a 12 V.

30.1.16. Rövid összefoglaló

A járművilágítás fénytechnikai alapmennyiségei a fényáram (Φ, lumen), a fényerősség (I, kandela) és a megvilágítás (E, lux); a színhőmérséklet (T, kelvin) a fény színét jellemzi. A világítóberendezések a „látni és látszani” elvet szolgálják. A tompított fényszóró aszimmetrikus fény-sötét határral dolgozik: jobb oldali forgalomban a jobb oldal magasabban világít, a bal oldal alacsonyabban, a vakítás elkerülésére. A fényforrás lehet halogén, xenon, LED vagy mátrix-LED; a xenon rendszer nagyfeszültségű, csak feszültségmentesítés után szabad szerelni. A fényszórók fényforrása és a lámpatest együtt típusjóváhagyott rendszer, ezért utólagos xenon- vagy LED-betét halogén házba nem megengedett. A fényszóró beállítását fényszóró-ellenőrzővel, a gyártói terhelési körülmények között végezzük. A relés kapcsolási rajzon a `30` a betáp, `87` a munkaérintkező kimenet, `85/86` a tekercs; a kapcsoló csak a tekercset vezérli, a nagy áram a relén folyik. **Továbbvitt eredmény.** A kapcsolási jelölések és a fényszóró-ellenőrzés módszere az Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés alfejezetben, valamint a Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj alfejezetben a világítás hatósági vizsgálatánál tér vissza.

30.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB előírások (ECE R48, R112, R123 és a lámpákra vonatkozó előírások; számok, színek, fényerősségek ellenőrizendők), DIN 72552 kapocsjelölések (a `54` féklámpa-jelölés ellenőrizendő), gyártói javítási utasítások és áramútrajzok, a forgalomban tartás műszaki feltételeiről szóló 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM és a műszaki megvizsgálásról szóló 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet (**ellenőrizendő:** hatályos szöveg és módosítások), valamint fénytani alapismeretek. A színhőmérséklet-értékek, fényforrás-teljesítmények, a xenon üzemi és gyújtási feszültsége, az irányjelző frekvenciája és a fényszórólejtés példaértékei gyártói vagy hatályos ECE-adatok alapján ellenőrizendők.

30.2. Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés

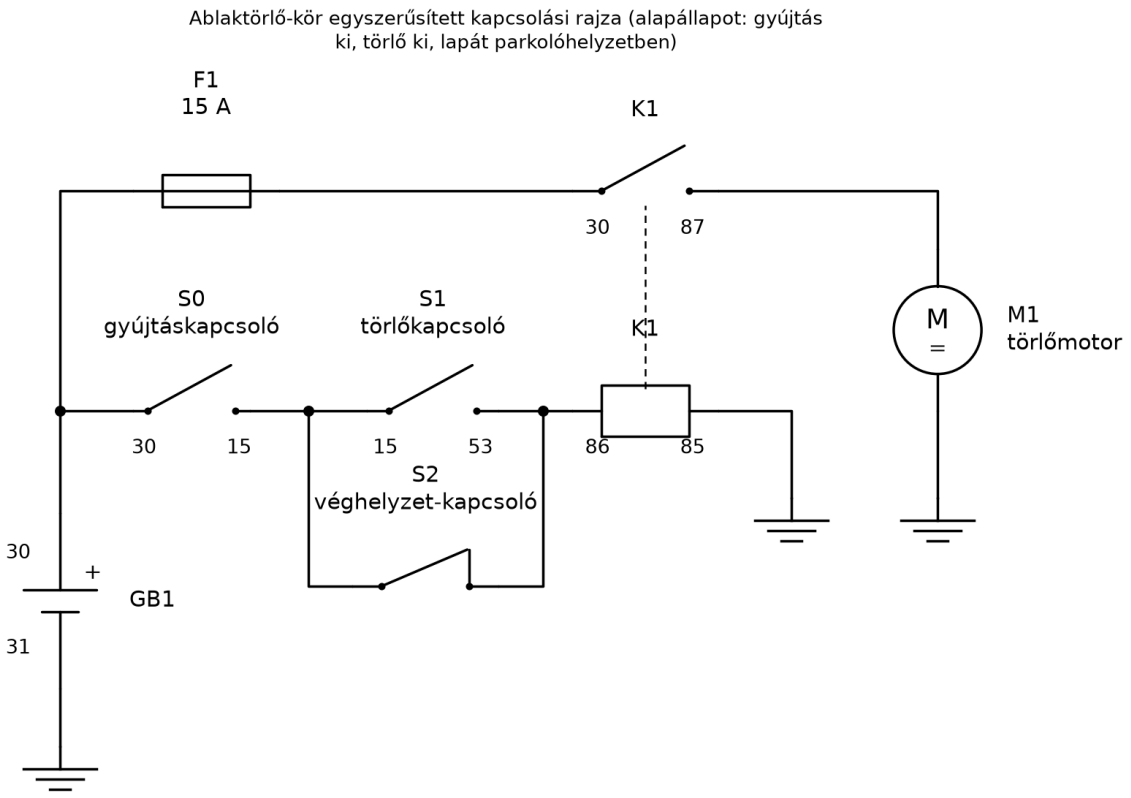
30.2.1. Motiváció

A műhelyben gyakori ügyfélpanasz, hogy az ablaktörlő nem kapcsol ki a véghelyzetben, a szintjelző lámpa tévesen jelez, vagy a rádió zúg–patrog, amikor a ventilátor bekapcsol. Az autószerelőnek ezeket a rendszereket nemcsak cserélnie kell, hanem meg kell értenie a működésüket, hogy a hibát célzottan megtalálja. Az egyéb fogyasztók, a komfortelektronika és a rádiózavar-szűrés együtt adják azt a tudást, amely nélkül a villamos hibakeresés találgatássá válik. Ebben az alfejezetben a kapcsolási rajzoktól a relén át a becsípődésgátlóig és a szűrőkondenzátorig jutunk el, mindig a „hogyan működik, hogyan romlik el, hogyan mérem meg?” kérdéssorral.

30.2.2. Szemléletes kép: az ablaktörlő-kör

Az ablaktörlő-kör kiválóan mutatja a relé, a kapcsoló, a motor és a visszacsatoló véghelyzet-kapcsoló együttműködését. Képzeljünk el egy hagyományos, nem CAN-vezérelt rendszert: a gyújtáskapcsoló 15-ös kivezetéséről kap áramot a törlőkapcsoló, amely a relét és azon keresztül a motort vezérli. A relé munkaérintkezője közvetlenül a biztosítékon át a 30-as állandó pluszból táplál, így a motor kapcsolási árama nem folyik át a kormányoszlopon lévő kapcsolón. Amikor a vezető kikapcsolja a törlőt, a kapcsoló nyit, de a relé addig tartva marad, amíg a lapát el nem éri az alaphelyzetet, mert a véghelyzet-kapcsoló ekkor bontja a relé tekercsének áramát.

Az alábbi ábra ezt egyszerűsítve mutatja; a kapcsolók alapállapotban nyitva vannak, a motortest a 31-es testpontra csatlakozik.



30.5. ábra. Ablaktörlő-kör egyszerűsített kapcsolási rajza (alapállapot: gyújtás ki, törlő ki, lapát parkolóhelyzetben) - Tanulási szemléltetés, nem gyártói áramútrajz. Kapocsjelölések: 30 állandó plusz, 15 gyújtáskapcsolás után, 31 test (DIN 72552, ellenőrizendő). Felső sor: a motor főárama 30 → F1 → K1 munkaérintkező (30–87) → M1 → test. Középső sor: 15 → törlőkapcsoló S1 → K1 tekercs (86–85) → test. Alsó sor: az S2 véghelyzet-kapcsoló a törlőkapcsolóval párhuzamos; nyugvó érintkezőjét a parkolóhelyzetben a csigakerék bütyke nyitja, máshol zárva tartja a relét.

A rajzon a **GB1** az akkumulátor, az **F1** a törlőmotor biztosítéka, a **K1** relé tekercse és munkaérintkezője szaggatott vonallal összekötve, az **M1** a törlőmotor. A felső sor a motor főáramköre a 30-as állandó pluszról, a középső sor a vezérlés: a gyújtáskapcsoló (**S0**) 15-ös kimenetéről a törlőkapcsoló (**S1**) adja a relé tekercsének áramát. Az alsó sorban az **S2** véghelyzet-kapcsoló a törlőkapcsolóval párhuzamosan köti a 15-ös ágat a tekercshez: ha a vezető kikapcsolja a törlőt, de a lapát még nincs alaphelyzetben, az S2 tartja meghúzva a relét; a parkolóhelyzetben a csigakerék bütyke nyitja. A gyújtáskapcsoló és a törlőkapcsoló nyitott, a lapát alaphelyzetben áll, tehát alapállapot.

30.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Egyéb fogyasztónak nevezzük a gépjármű villamos hálózatában azokat a berendezéseket, amelyek nem tartoznak a motor irányításához, a világításhoz, a töltéshez vagy az indításhoz, hanem a tisztítást, a kényelmet, a tájékoztatást és a biztonságot szolgálják (ablaktörlő, fényszórómosó, szintjelzők, kürt, komfortelektronika).

Definíció. Komfortelektronikának nevezzük azokat az elektronikus rendszereket, amelyek a jármű kényelmét és használhatóságát növelik: központi zár, elektromos ablakemelő, ülés- és

tükörállítás, kulcs nélküli nyitás, gyakran saját vezérlőegységgel (komfort-ECU, body computer) és adatbuszos kommunikációval.

Definíció. Rádiózavar az elektromágneses energia olyan kibocsátása, amely a rádióvevő készülékekben, a navigációs vagy kommunikációs rendszerekben nem kívánt jelet, zajt vagy működési hibát okoz. A járművön belüli zavarokat a gyújtás, a kefe nélküli és kefés motorok, a relék, a kapcsolóüzemű tápegységek és az érintkezők hozzák létre.

Összefüggés. Egy egyenáramú fogyasztó elektromos teljesítménye:

$$P = U \cdot I,$$

ahol P a teljesítmény wattban, U a kapocsfeszültség voltban, I a felvett áram amperben. A biztosítót a tartós áram 1,5–2-szeresére választjuk, hogy a bekapcsolási áramcsúcs ne csapja le, de zárlatnál gyorsan megszakítson. A választott biztosító nem lehet nagyobb a vezeték megengedett áramánál (vö. Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek; ellenőrizendő).

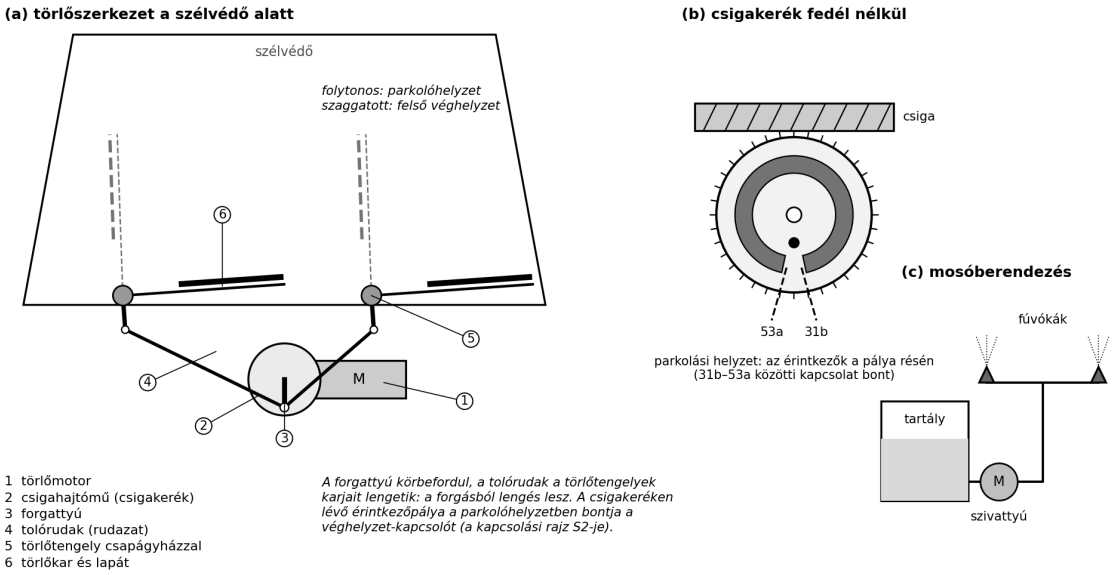
Továbbvitt eredmény. Az itt tárgyalt relés, visszacsatoló és ECU-vezérelt áramkörök felépítését használjuk a Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés alfejezetben a ventilátorfokozatok és a klímakompresszor vezérlésénél, valamint a Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő alfejezetben a biztonsági funkciók (ütközésérzékelő, gyújtókör, öndiagnosztika) megértéséhez. A rádiózavar-szűrés alapelveit a Jeladók és beavatkozók vizsgálata alfejezetben is alkalmazzuk az érzékelők jelhűségének megítélésekor.

30.2.4. Felépítés és működés

30.2.4.1. Ablak- és fényszórótisztító berendezések

Az **ablaktörlő rendszer** feladata az esővíz, hó, szennyeződés eltávolítása a szélvédőről. Részei: a villanymotor hajtóművel, a rúdszerkezet (pantográf), a lapátok, a kapcsoló, a szakaszos üzemű vezérlő és a véghelyzet-kapcsoló. A motor egyenáramú, általában állandó mágneses, 12 V-os, két- vagy háromsebességes. A lapátok alászorítását a hajtókar geometriája biztosítja.

A **véghelyzet-kapcsoló** a motor házában vagy a rúdszerkezeten elhelyezett csúszó vagy mikrokapcsoló. Amikor a vezető kikapcsolja a törlőkapcsolót, a relé tekercse csak akkor kapcsol le, ha a lapát az alaphelyzetben van – ellenkező esetben a kapcsoló zárva tartja a relé tekercsét, és a motor addig jár, amíg el nem éri a parkolópozíciót.



30.6. ábra. Az ablaktörlő-szerkezet: motor csigahajtóművel, forgattyú és tolórudak; a csigakerék a véghelyzet-kapcsoló érintkezőpályájával; a mosóberendezés

Az ábrán a motor csigája a csigakereket hajtja, a kerék tengelyén ülő forgattyú körbefordul, és a tolórudak a két törlőtengely karját lengetik. A csigakeréken lévő érintkezőpálya a parkolóhelyzetben megszakad, ezért ott bont a véghelyzet-kapcsoló. A HTML-változat lépésenként végigforgatja a forgattyút, és jelzi, mikor ér a lapát a parkolóhelyzetbe.

A **szakaszos üzem** (intervallum) egy elektronikus egység vagy a relébe épített RC-időzítő. Az időzítő periodikusan, például 2–10 másodpercenként behúzza a relét, így a motor egy-egy törlési ciklust végez. A modern járműveken ezt a funkciót a komfortvezérlő vagy a CAN-hálózaton érkező parancs valósítja meg; a legegyszerűbb megoldás a gyártótól függ.

Az **esőérzékelő** a szélvédő mögé szerelt optoelektronikus érzékelő; a szélvédő csapadék általi vízfilmje megváltoztatja az infravörös fény visszaverődését, és az érzékelő a jelméret alapján automatikusan vezérli a törlési sebességet. A rendszer kalibrálása és cseréje gyártói diagnosztikai műszerrel történik (ellenőrizendő: gyártói adat).

A **fényszórótisztító** a fényszórók üvegét tisztítja; nagy fényteljesítményű (xenon, LED) fényszórók esetén törvényileg előírt a tisztító-berendezés (ellenőrizendő: hatályos ECE-előírás). A rendszer lehet magasnyomású mosó, amely a fényszóró elé emelkedő fúvókával mossa le az üveget, vagy mechanikus törlő. Motivációja: a koszos fényszóró szétszórja a fényt és vakít.

Példa. Egy 12 V-os ablaktörlő motor normál üzemben 4 A-t vesz fel. Teljesítménye: $P = 12\,\mathrm{V} \cdot 4\,\mathrm{A} = 48\,\mathrm{W}$. A biztosító választása: $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot 4\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$, tehát a számított értéknél nagyobb legközelebbi szabványos érték, a 7,5 A-es biztosító felel meg, ha a vezeték bírja (ellenőrizendő: gyártói áramútrajz).

30.2.4.2. Szintjelzők, hangjelző, riasztó, indításgátló

Az **üzemanyagszint-jelző** leggyakrabban ellenállásos úszós érzékelő: a tartályban úszó úszó egy potenciométert mozgat, az ellenállásváltozást a műszeregység szintté alakítja. A modern rendszerekben a tartálypumpa egységébe épített érzékelő és a műszeregység közötti jel analóg vagy CAN-adat. A **olajnyomás- és olajszintjelző** a motor kenését figyeli: a nyomáskapcsoló

zárja a figyelmeztető lámpát, ha a nyomás egy küszöb alá esik (ellenőrizendő: gyártói érték). A **hűtőfolyadék-szintjelző** a kiegyenlítő tartályban úszókapcsolóval vagy elektródapárral dolgozik; a **fékfolyadék-szintjelző** a fékfolyadék-tartályban található, és fékbetétkopás vagy szivárgás miatti alacsony szintre figyelmeztet.

A **hangjelző (kürt)** egy elektromos rezgő hangszóró, amely 30–40 A bekapcsolási áramot is felvehet, ezért mindig relén keresztül kell táplálni. A kormánykerék gombja a relé tekercsét kapcsolja; a relé munkaérintkezője a 30-as pluszról táplálja a kürtöt.

A **riasztó** egy elektronikus védelmi rendszer: nyitásérzékelők, mozgás- és dőlésszenzorok, kürtjel, esetenként GPS-modul. A **indításgátló (immobilizer)** megakadályozza a motor indítását a megfelelő transzponder nélkül. A kulcsban lévő transzponder által küldött kódot az ECU ellenőrzi; ha nem egyezik, az indítómotor és a befecskendezés le van tiltva. A rendszer manipulálása vagy kiiktatása járművédelmi és biztosítási szempontból is jogellenes; az autószerelő csak a gyártói eljárás szerint, a jármű tulajdonosának igazolása mellett végezhet kulcsprogramozást.

30.2.4.3. Kényelmi berendezések

A **központi zár** az ajtózárak motoros vagy pneumatikus működtetése egy központi gombbal vagy távirányítóval. Az **elektromos ablakemelő** a motorral mozgatott mechanizmust hajtja. A **becsípődésgátló** az ablakemelő motor aktuális áramát vagy a pozíciót figyeli, és ha az ablak akadályba ütközik (például ujj), visszafordítja azt. Fontos biztonsági előírás, hogy automatikus felhúzásnál (comfort close) a becsípődésgátló működése gyártó által előírt (ellenőrizendő: hatályos ECE-előírás).

Az **ülések** elektromos állítása (előre-hátra, háttámla, deréktámasz, memória) több motort és érzékelőt használ, gyakran saját vezérlővel. A **tükrök** elektromos állítása mellett a fűthető és automatikusan besötétedő (elektrokróm) tükrök is komfortelektronikát igényelnek. A **kulcs nélküli nyitás** (keyless entry) és indítás (keyless go) a kulcs rádiójele és a jármű közötti kommunikáción alapul; az autó érzékeli a kulcs közelségét és engedélyezi a nyitást, indítást. A rendszer védelme elleni megoldások (reléerősítős támadás) miatt a gyártók változatos kódváltó algoritmusokat alkalmaznak; a javítás során az eredeti kulcsot és a gyártói diagnosztikát kell használni.

30.2.4.4. Rádiózavar-források és zavarmentesítés

A járműben a rádiózavarok fő forrásai: a gyújtórendszer (nagyfeszültségű impulzusok), a generátor (kefék, diódák), a kommutátoros motorok (ablaktörlő, ventilátor, fényszórómosó), a relék (induktív visszahatás), a kapcsolóüzemű tápegységek és DC/DC átalakítók, valamint az elektronikus vezérlők. A zavar terjedhet vezetéken (vezetett zavar) és sugárzással (sugárzott zavar). A vevőberendezésben, például a rádióban, a zavar feszültséget indukál a kapcsolási tranziensekből.

A **zavarmentesítés** eszközei:

- **Szűrőkondenzátor** a kommutátoros motorok és a relé tekercsek párhuzamos kötésében: a kondenzátor rövidre zárja a nagyfrekvenciás zavarjelet, amíg a hasznos egyenfeszültséget nem befolyásolja. Jellemző érték: $0{,}1 \ldots 0{,}5\,\mu\mathrm{F}$ a motor pólusai között, $0{,}1 \ldots 0{,}22\,\mu\mathrm{F}$ a relé tekercsével párhuzamosan (ellenőrizendő: alkalmazás szerinti adat).
- **Ferritgyöngy** a vezetéken: a nagyfrekvenciás áramot hővé alakítja anélkül, hogy az egyenfeszültséget lényegesen befolyásolná.
- **Árnyékolás** a vezérlődobozoknál és a vezetékeknél: a fémház és az árnyékolt vezeték csökkenti a sugárzást.

- **Testelés**: a karosszéria-felületek közötti átmeneti ellenállásnak kicsinek kell lennie; a hibás testpont közös impedanciát hoz létre, amely zavart és feszültségesést okoz. A testpontokat csillagpontos vagy gyűjtősínes rendszerben rögzítik.
- **Csavart érpár** a differenciális adatbuszoknál (pl. CAN), amely csökkenti a kapacitív és induktív csatolást.

Előírás. A járművek elektromágneses összeférhetőségét az ENSZ-EGB 10. előírása (ECE R10) és az EU-típusjóváhagyási keretrendelet szabályozza (ellenőrizendő: a hatályos előírások és módosítások). A jármű nem haladhatja meg a megengedett zavarszinteket, és a járművön lévő elektronikus rendszereknek is meg kell felelniük. A hazai műszaki vizsgán a rádiózavar-mentesség ellenőrzése nem minden kategóriában tételes, de a fedélzeti elektronika hibája nem okozhatja a műszaki vizsgabiztos által tapasztalt zavart (ellenőrizendő: hatályos vizsgálati gyakorlat).

30.2.5. Kidolgozott példák

Számítás 1. Egy relé tekercsének ellenállása $R = 60\,\Omega$, a fedélzeti feszültség $U = 12\,\mathrm{V}$. Mekkora áram folyik a tekercsen, és mekkora a tekercs teljesítménye?

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 60\,\Omega$. Keresett: I, P.

Képlet: $I = \frac{U}{R}$.

Behelyettesítés: $I = \frac{12\,\mathrm{V}}{60\,\Omega} = 0{,}2\,\mathrm{A}$.

Teljesítmény: $P = U \cdot I = 12\,\mathrm{V} \cdot 0{,}2\,\mathrm{A} = 2{,}4\,\mathrm{W}$.

Ellenőrzés: Az autóipari relék tekercsárama tipikusan 100–250 mA, a teljesítmény 2–3 W, tehát a kapott érték reális.

Számítás 2. Egy elektromos ablakemelő motorja a gyártói adat szerint 12 V-on maximum 8 A-t vesz fel. Válasszunk hozzá biztosítót és becsüljük meg a motor teljesítményét! A biztosító méretezési szabálya: $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot I_\mathrm{tartós}$.

Adott: $I_\mathrm{tartós} = 8\,\mathrm{A}$. Keresett: P, I_b.

Képlet: $P = U \cdot I$, $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot I_\mathrm{tartós}$.

Behelyettesítés: $P = 12\,\mathrm{V} \cdot 8\,\mathrm{A} = 96\,\mathrm{W}$; $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot 8\,\mathrm{A} = 12\,\mathrm{A}$.

Ellenőrzés: A 12 A-nél nagyobb legközelebbi szabványos érték a 15 A; ezt csak akkor választhatjuk, ha a vezeték terhelhetősége legalább 15 A (Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek szabálya; ellenőrizendő: gyártói adat). A motor 96 W-os teljesítménye rövid idejű terhelésre utal; az ablakemelő nem folyamatos üzemű.

30.2.6. Minőségellenőrzés

Az egyéb fogyasztók és komfortáramkörök ellenőrzéséhez a következőket mérjük:

- **Feszültség a fogyasztó csatlakozóján**: terheletlenül és terhelve. Terhelve a feszültségesés a vezetéken és a kapcsolókon nem haladhatja meg a gyártó által előírt értéket (jellemzően 0,5–1 V, ellenőrizendő).
- **Áramfelvétel**: lakatfogóval vagy soros mérésen, a gyártói adattal összehasonlítva (pl. ablaktörlő motor 4–7 A, elektromos ablakemelő 5–10 A, ellenőrizendő).

- **Kapcsoló és relé ellenállása**: a zárt érintkezők feszültségesése vagy ellenállása. Egy jó, zárt érintkező ellenállása néhány tized milliohm–néhány tíz milliohm; multiméterrel ez 0,1 Ω alatti értéknek látszik (a mérőzsinórok ellenállását le kell vonni). Megbízhatóbb a terhelés alatti feszültségesés: 0,2 V alatt (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Véghelyzet-kapcsoló**: a kapcsoló nyugvó érintkezőjének ellenállása a végét járó lapát alaphelyzetében 0 Ω közelében, míg a továbbforgott állapotban szakadás.
- **Szintjelzők**: a potenciométer ellenállása a szélső állásokban a gyártó által megadott tartományban (pl. üzemanyagszint-jelző 50–300 Ω közötti, ellenőrizendő).
- **Rádiózavar-szűrés**: a szűrőkondenzátor kapacitását multiméterrel vagy RLC mérővel, a testpont átmeneti ellenállását milliohm-mérővel ellenőrizzük.

30.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: Egy autó rádiója erős patrogást hallat, amikor a szélvédőmosó és a ventilátor együtt jár. A műszerfali feszültség rendben lévő, de a motor leállítása után a zavar is megszűnik.

Vizsgálat: A szerelő a rádió antennacsatlakozóját és a motortér testpontjait ellenőrzi. A feszültségesés a motortér és az akkumulátor negatív pólusa között 0,4 V, ami meghaladja a testpontokra vonatkozó, jellemzően 0,3 V-os irányértéket (vö. A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz; ellenőrizendő), és a ventilátormotor szénkeféi kopottak, a szikrázás erős. A szűrőkondenzátor a motoron kiszáradt, kapacitása a mérés szerint 0,02 μF a névleges 0,5 μF helyett.

Ok: A kopott kefék és a hibás szűrőkondenzátor miatt a kommutátor szikrái nagyfrekvenciás zavart sugároznak, amelyet az antennavezeték felvesz.

Javítás: A ventilátormotor szénkeféit kicserélik, a szűrőkondenzátort újjal pótolják, és a motortest testcsatlakozását megtisztítják és vasoxid ellen védő pasztával rögzítik. A javítás után a rádió zavartalan.

Tanulság: A rádiózavar gyakran mechanikai kopásból ered; a szűrőelem csak a tünetet csökkenti, de a kefecsere szünteti meg az okot. A hibakereséshez mindig a testáramkörökkel kezdünk.

30.2.8. Gyakorlati útmutató: az ablaktörlő-kör ellenőrzése

Cél: Az ablaktörlő rendszer működésének ellenőrzése és a hibás elem behatárolása.

Jármű- és adatazonosítás: Az alvázszám, a típus, a gyártó áramút rajza, a biztosíték- és relétábla kiosztása.

Szükséges eszközök: digitális multiméter, lakatfogó, próbalámpa (áramfelvételes), esetleg rendszerteszter, csatlakozótüskék.

Anyagok: csak a gyártó által előírt cserealkatrészek, relé, biztosíték.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkalépések:

1. Győződj meg róla, hogy a jármű nem esetleg CAN-vezérelt törlőrendszerű (a gyártói rajz ellenőrzése); ha igen, a vizsgálat a gyártó diagnosztikai eljárását igényli.
2. Ellenőrizd az akkumulátor feszültségét: $U > 12\,\mathrm{V}$ (ellenőrizendő: gyártói adat).

3. Keresd meg az ablaktörlő biztosítékát (pl. F1 15 A) és húzd ki, mérd át: a jó biztosíték ellenállása gyakorlatilag 0 Ω (a mérőzsinórok ellenállásával egyező); megbízhatóbb a terhelés alatti feszültségesés-mérés a biztosíték mérőpontjain.
4. Kapcsold a gyújtást 15-ös állásba, és ellenőrizd a törlőkapcsoló bemenetén a feszültséget a testhez képest: $U = 12\,\mathrm{V}$ körül.
5. Működtesd a törlőt, és lakatfogóval mérd a motor áramfelvételét. Lassú fokozatban egy egészséges motor 4–7 A-t vesz fel (ellenőrizendő: gyártói adat). Ha annyi sem, ellenőrizd a relét és a motort.
6. A motor működése közben mérd a motor csatlakozóján a feszültséget: a feszültségesés ne haladja meg az 0,5–1 V-ot.
7. Kapcsold ki a törlőt, és figyeld, hogy a lapát visszatér-e a véghelyzetbe. Ha nem, a véghelyzet-kapcsoló vagy a relé hibás. A kapcsolót multiméterrel, ellenállásméréssel ellenőrizd: alaphelyzetben 0 Ω, másként végtelen.
8. Ellenőrizd a relét: a tekercs 60–100 Ω ellenállású, az érintkezők nyugalmi állapotban szakadást mutatnak (ellenőrizendő: gyártói adat).

Ellenőrzési pontok: A biztosíték épsége, a gyújtáskapcsoló utáni feszültség, a relé átkapcsolása, a motor áramfelvétele, a véghelyzet-kapcsoló állapota.

Tipikus hibák: A törlőmotor közvetlen tesztelése a gyújtáskapcsoló megkerülésével; a véghelyzet-kapcsoló figyelmen kívül hagyása; a relé érintkezőinek mérése beépített állapotban, ami a kör többi részét is méri.

Dokumentálás: A munkalapon rögzítsük a mért feszültséget, áramot, ellenállásokat és a cserélt alkatrészeket.

30.2.9. Tipikus hibák

1. **Feszültségmérés csak terheletlenül.** A terheletlen csatlakozón 12 V mérhető, de a kapcsoló átmeneti ellenállása miatt terhelés alatt a feszültség leeshet. **Helyes gyakorlat:** mindig terhelés alatt is mérjük a feszültségesést.

2. **A biztosító értékének önkényes növelése.** Ha egy biztosító gyakran kiolvad, a hiba oka a megnövekedett áram vagy zárlat; a nagyobb biztosító betétele tűzveszélyes. **Helyes gyakorlat:** a gyártói előírás szerinti értéket használjuk, és megkeressük az áramnövekedés okát.

3. **A rádiózavar-szűrés elhagyása.** Csere után a szűrőkondenzátor nélkül a motor zavarja a fedélzeti elektronikát. **Helyes gyakorlat:** a szűrőelemeket mindig vissza kell szerelni, és a testpontot meg kell tisztítani.

4. **A véghelyzet-kapcsoló figyelmen kívül hagyása.** Az ablaktörlő nem áll meg a helyén, és a szerelő csak a relét cseréli, pedig a kapcsoló hibás. **Helyes gyakorlat:** a tünetből és a kapcsolási rajzból kiindulva a végét járó lapátnál ellenőrizzük a kapcsolót.

30.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A relé tekercse a gyújtáskapcsoló 30-as kivezetéséről kap áramot.
2. Igaz vagy hamis? A szakaszos ablaktörlő működéséhez az időzítő relének nincs szüksége visszacsatoló véghelyzet-kapcsolóra.
3. Igaz vagy hamis? A rádiózavarok fő forrásai közé tartozik a generátor és a kopott szénkefés motor.

4. Egy 12 V-ra kötött 40 Ω-os relétekercccsel párhuzamosan egy 0,5 A-t felvevő fogyasztó van. Mekkora a két ág együttes árama?
5. Mi a különbség a szűrőkondenzátor és a ferritgyöngy között a zavarmentesítésben?
6. Mi a helyes eljárás, ha egy biztosító kiolvad az ablakemelőnél?

30.2.11. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld a komfortelektronika fogalmát, és sorolj fel négy komfortfunkciót!

2. feladat (A) Egy 12 V-os elektromos tükör fűtése 3 A-t vesz fel. Mekkora a teljesítménye és mekkora biztosító szükséges a méretezési szabály szerint?

3. feladat (B) Egy törlőmotor kapcsaival párhuzamosan szűrőkondenzátort kötöttek. A motor 12 V-on 5 A-t vesz fel, a kondenzátor kapacitása 0,47 μF. Mekkora a kondenzátor reaktanciája 1 MHz-en, magyarázd, miért nem befolyásolja az egyenáramú működést, és miért csillapítja a zavart?

4. feladat (B) Az ablaktörlő-körben a relé tekercsének ellenállása 80 Ω, a gyújtáskapcsoló utáni feszültség 12 V. Mekkora a tekercs árama? Ha a kapcsoló érintkezőjén 0,4 V feszültségesés lép fel terhelés alatt, mekkora a tényleges áram?

5. feladat (C) Egy becsípődésgátlós ablakemelő motor hirtelen megáll, amikor az ablak felfelé halad a kerethez. A rendszer az áram növekedését érzékeli, és visszafordítja az ablakot. Magyarázd el, milyen fizikai elven működik a becsípődésgátló, és miért fontos a gyártói kalibrálás. Adj példát a tipikus hibás működésre.

6. feladat (D) Egy rádió zavart jelet ad, amikor a fényszórómosó bekapcsol. A szerelő először a szűrőkondenzátort cserélné. Milyen méréseket végeznél el a testpontokon és a motoron, mielőtt döntesz? Milyen eredmények utalnak a motorhibára, és milyenek a testelési hibára?

30.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A relé tekercsét a 15-ös (gyújtáskapcsolás utáni) kapocsról vagy a törlőkapcsoló kimenetéről táplálják; a 30-as a munkaérintkezőn keresztül a motort hajtja.
2. **Hamis.** A szakaszos üzemhez a véghelyzet-kapcsoló biztosítja, hogy a motor minden egyes ciklust teljesen befejezzen, és a lapát a parkolópozícióba érjen.
3. **Igaz.** A generátor, a kefés motorok, a gyújtás és a relék mind elektromágneses zavarforrások.
4. A tekercs árama $12/40 = 0{,}3\,\text{A}$, a fogyasztóé 0,5 A; a csomóponti törvény szerint az együttes áram $I = 0{,}3 + 0{,}5 = 0{,}8\,\text{A}$. Az egyik ág árama nem függ a másiktól.
5. A szűrőkondenzátor a nagyfrekvenciás zavarokat rövidre zárja a táppont és a test között, a ferritgyöngy pedig a vezetékre fűzve a nagyfrekvenciás áramot hővé alakítja, így az egyenfeszültséget nem csökkenti.
6. A biztosítót az előírt értékkel (nem nagyobbal) kell cserélni, majd meg kell mérni az ablakemelő motor áramfelvételét, ellenőrizni a mechanikai szorulást, a kapcsolókat és a vezetékezést. A hibát meg kell szüntetni, nem a biztosítékot „erősíteni”.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A) A komfortelektronika azokat az elektronikus rendszereket jelenti, amelyek a jármű kényelmét és használhatóságát növelik: központi zár, elektromos ablakemelő, elektromos ülés- és tükörállítás, kulcs nélküli nyitás, memóriafunkciók.

2. feladat (A) Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $I = 3\,\mathrm{A}$. Keresett: P, I_b.

Képlet: $P = U \cdot I$, $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot I$.

Behelyettesítés: $P = 12\,\mathrm{V} \cdot 3\,\mathrm{A} = 36\,\mathrm{W}$; $I_\mathrm{b} = 1{,}5 \cdot 3\,\mathrm{A} = 4{,}5\,\mathrm{A}$.

Ellenőrzés: A 4,5 A-nél nagyobb legközelebbi szabványos érték az 5 A, ha a vezeték bírja; a gyártói adat a mérvadó.

3. feladat (B) Adott: $C = 0{,}47\,\mu\mathrm{F} = 0{,}47 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$, $f = 1\,\mathrm{MHz} = 10^{6}\,\mathrm{Hz}$. Keresett: X_C.

Képlet: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$.

Behelyettesítés: $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{6} \cdot 0{,}47 \cdot 10^{-6}} \approx \frac{1}{2{,}95} \approx 0{,}34\,\Omega$.

Ellenőrzés: A kapacitív reaktancia 1 MHz-en igen kicsi, tehát a nagyfrekvenciás zavarokat rövidre zárja. Egyenáramon a kondenzátor szakadás, így a motor normál működését nem befolyásolja. A $0{,}47\,\mu\mathrm{F}$ érték jellemző az autóipari használatra (ellenőrizendő: alkalmazás szerinti adat).

4. feladat (B) Adott: $R = 80\,\Omega$, $U = 12\,\mathrm{V}$. Keresett: I a feszültségesés nélkül és 0,4 V eséssel.

Képlet: $I = \frac{U}{R}$.

Behelyettesítés: $I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{80\,\Omega} = 0{,}15\,\mathrm{A}$. Ha az érintkezőn 0,4 V esik, a tényleges tekercsfeszültség $U_\mathrm{val} = 12 - 0{,}4 = 11{,}6\,\mathrm{V}$, az áram $I_2 = \frac{11{,}6\,\mathrm{V}}{80\,\Omega} = 0{,}145\,\mathrm{A}$.

Ellenőrzés: A kismértékű csökkenés ellenére a relé még meghúz, de ha az esés nő, a relé bizonytalanná válhat. Ezért kritikus a kapcsoló érintkezők tisztasága.

5. feladat (C) A becsípődésgátló az ablakemelő motor üzemi áramát figyeli: amikor az ablak akadályba ütközik, a motor forgatónyomatéka és így az áram is megnő. Az elektronika érzékeli az áramküszöböt, és a motort visszafordítja. A gyártói kalibrálás azért fontos, mert a pontos áramküszöb a mechanikai súrlódástól, a hőmérséklettől és a beszáradt tömítésektől függ; ha túl alacsony, az ablak minden megszorulásnál visszafordul, ha túl magas, megsértheti az ujjat. Tipikus hiba: a mechanizmus kenése nélkül az áram megnő, és a rendszer téves visszafordulást produkál.

6. feladat (D) A mérések: (1) feszültségesés a motor testpontja és az akkumulátor negatív pólusa között, terheletlenül és terhelve; (2) az átmeneti ellenállás a kábelcsatlakozókon; (3) a motor áramfelvétele; (4) a szűrőkondenzátor kapacitása; (5) a motor szénkefék állapota (kopás). A motorhibára utal a megnövekedett áramfelvétel és szikrázás; testelési hibára a 0,3 V feletti feszültségesés (A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz; ellenőrizendő) és a melegedő csatlakozó. A kondenzátorcsere önmagában nem szünteti meg a kopott kefe okozta zavart.

30.2.13. Rövid összefoglaló

Az egyéb fogyasztók – ablaktörlő, fényszórómosó, kürt, szintjelzők – relés, kapcsolós és gyakran ECU-vezérelt áramkörökben működnek. Az ablaktörlő-körben a relé a 30-as pluszról táplálja a motort, míg a relé tekercsét a kapcsoló és a véghelyzet-kapcsoló vezérli, így a lapát mindig a parkolóhelyzetbe áll. A komfortelektronika (központi zár, ablakemelő, ülés, tükör, keyless) saját vezérlőkkel és biztonsági funkciókkal rendelkezik; a becsípődésgátló árammérésen alapul. A rádiózavarok forrásai a gyújtás, a generátor, a kefés motorok, a relék és a kapcsolóüzemű elektronika. A zavarmentesítés eszközei a szűrőkondenzátor, a ferritgyöngy, az árnyékolás, a csavart érpár és a kifogástalan testelés; a megfelelőséget az ENSZ-EGB 10. előírása és a típusjóváhagyás szabályozza (ellenőrizendő). **Továbbvitt eredmény:** a relés és ECU-vezérelt

áramkörök, a feszültségesés-mérés, a testpont-ellenőrzés és a zavarszűrés ismerete közvetlenül szükséges a Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés és a Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő alfejezetekben, valamint a Jeladók és beavatkozók vizsgálata alfejezetben.

30.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- ENSZ-EGB 10. előírás (rádiózavar-mentesség, EMC) – a pontos szám és a hatályos módosítás ellenőrizendő.
- A DIN 72552 kapocsjelölések: 30, 15, 31, 53, 53a, 53e – ellenőrizendő a gyártói rajz szerint.
- MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjelek – ellenőrizendő a használt ábrán.
- A fényszórótisztító kötelező volta xenon/LED fényszóróknál: hatályos ECE-előírás ellenőrizendő.
- A becsípődésgátló követelménye az automatikus felhúzásnál: hatályos ECE-előírás ellenőrizendő.
- Minden gyártói áram- és feszültségérték (biztosító, reléellenállás, motoráram) tanulási példa; a javításhoz a gyártói adat a mérvadó.
- A hazai műszaki vizsgára vonatkozó gyakorlat ellenőrizendő.

A megadott értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

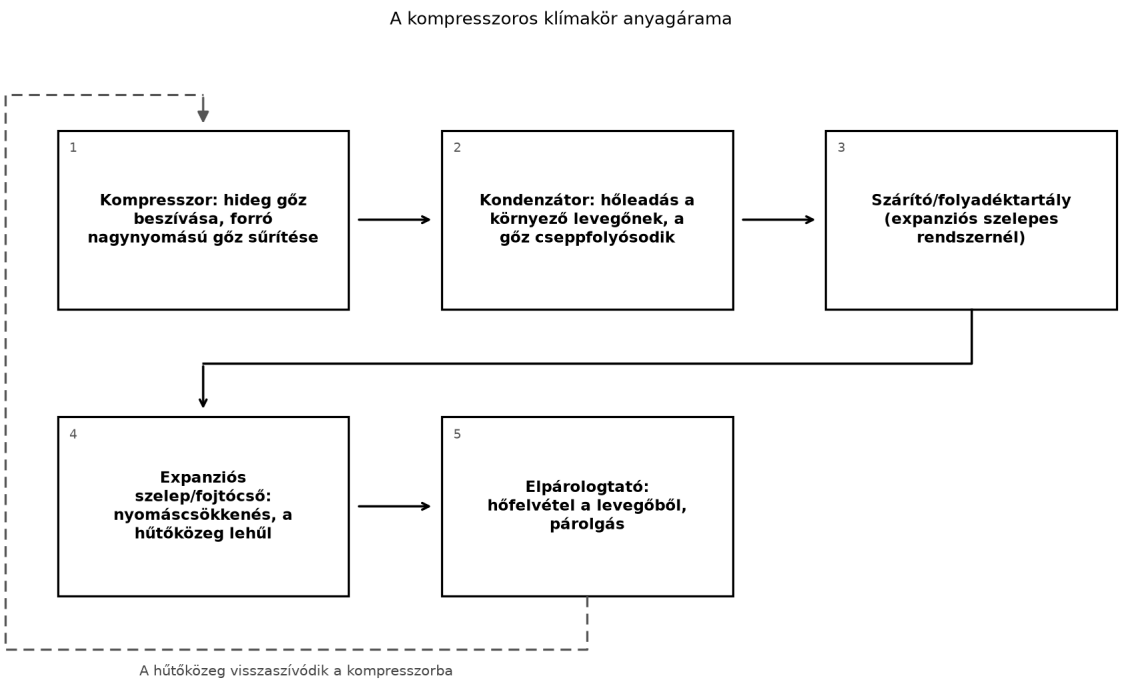
30.3. Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés

30.3.1. Motiváció

Az ügyfél gyakran úgy fogalmaz: „nem hűt a klíma”, „párásodik az ablak”, „zavaró szaga van a fűtésnek”, vagy „a klíma bekapcsolásakor furcsa hangot hallok”. Autószerelőként ezek mögött többféle hiba állhat: a hűtőközeg elfogyott, a kompresszor nem kapcsol be, a pollenszűrő eltömődött, vagy a szabályozás nem engedi a kompresszort. A fűtés, a szellőzés és a klíma egy rendszert alkot, amely a hőmérsékletet, a páratartalmat és a levegőtisztaságot együtt szabályozza. Ezt a rendszert akkor tudod szervizelni, ha érted a hűtőközeg körét, a levegőoldali áramlást és a vezérlést.

30.3.2. Szemléletes kép

Képzeld el, hogy a motor hűtőrendszerét ismered a(z) A motor hűtése alfejezetből. Ott a hűtőfolyadék kering zárt körben, és a hűtő adja le a hőt a levegőnek. Az utastéri klímakör ehhez hasonló zárt kör, de nem vizet, hanem kis forráspontú hűtőközeget keringet, és az utastér oldalán, az elpárologtatóban hőt vesz fel a levegőből (így hűti), a felvett hőt pedig a kondenzátorban adja le a környezetnek. A következő folyamatábra a klímakör anyagáramát mutatja.



30.7. ábra. A kompresszoros klímakör anyagárama - Szemléltető folyamatábra; az expanziós eszköz típusa a rendszertől függ (termosztatikus expanziós szelep vagy fojtócső).

A hűtőkörön kívül ott van a levegőoldali rendszer is: a ventilátor, a pollenszűrő, a fűtő hőcserélője, valamint a keverő- és elosztócsappantyúk. Ha a klíma nem hűt, először gyakran a hűtőközeg nyomását és a levegő hőmérsékletét mérjük meg.

30.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Az **utastéri klímaberendezés** olyan rendszer, amely a jármű utasterének levegő-hőmérsékletét, páratartalmát, tisztaságát és elosztását szabályozza. Részei a fűtőrendszer, a szellőző- és levegőelosztó részek, valamint a hűtőközeges hűtőkör.

Definíció. A **hűtőközeg** olyan anyag, amely a klímakörben alacsony forráspontja miatt az elpárologtatóban már kis nyomáson és alacsony hőmérsékleten elpárolog, közben hőt von el a levegőből, a kondenzátorban pedig magasabb nyomáson cseppfolyósodik, és hőt ad le.

Összefüggés. A levegő lehűtéséhez szükséges hőteljesítmény közelítőleg:

$$\dot{Q} = \dot{m}\, c_p\, \Delta T,$$

ahol $\dot{Q}$ a hűtőteljesítmény (W vagy kW), $\dot{m}$ a levegő tömegárama (kg/s), c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője (kb. $1{,}0\,\mathrm{kJ/(kg\cdot K)}$), ΔT a hőmérséklet-csökkenés (K). A pontosabb számításnál a levegő nedvességtartalmát és a páralecsapódás rejtett hőjét is figyelembe kell venni.

30.3.4. Fűtés és szellőzés felépítése

A levegőoldali rendszer központi eleme a műszerfal mögött elhelyezkedő **légkezelő egység** (HVAC-ház). Az utastéri ventilátor beszívja a friss levegőt vagy a belső keringtetett levegőt. A frisslevegő-bemeneten a pollenszűrő fogja meg a port, pollent és egyéb részecskéket. Ezért ha a belső levegő kellemetlen szagú, vagy a szélvédő lassabban párátlanodik, gyakran a pollenszűrő eltömődött.

A beszívott levegő ezután a **fűtő hőcserélőjén** halad át, amelyet a motor hűtőfolyadéka fűt. A forró hűtőfolyadék a motor hűtőköréből jön (lásd A motor hűtése), és a fűtő hőcserélőjében adja le a hő egy részét a levegőnek. A levegő hőmérsékletét a **keverőcsappantyú** állítja be: ha a csappantyú a hőcserélő fölé irányítja a levegőt, nagyobb a fűtés; ha a hőcserélőt megkerülő oldalra, hidegebb lesz a levegő. Az elosztócsappantyúk a lábtérre, a szélvédőre és a középső befúvókra irányítják a levegőt.

Kiegészítő fűtés. Hideg motornál, hibrid vagy elektromos járműnél a motor hűtőfolyadéka nem elég meleg, ezért a légkezelő egységbe beépített **elektromos kiegészítő fűtés** (gyakran PTC-ellenállású fűtőelem) gondoskodik az azonnali meleg levegőről. Dízelmotoros járműveken korábban a tüzelőanyaggal működő kiegészítő fűtők is elterjedtek; ezeket gyártó specifikáció szerint kell kezelni.

30.3.5. A kompresszoros hűtőkör felépítése és működése

A hűtőkör fő elemei a kompresszor, a kondenzátor, a szárító/folyadéktartály (expanziós szelepes rendszerben), az expanziós eszköz és az elpárologtató.

Kompresszor. Feladata a hűtőközeg gőzének beszívása és összenyomása, így a hűtőközeg nyomása és hőmérséklete megnő. A magasabb nyomás lehetővé teszi, hogy a hűtőközeg a kondenzátorban a környezeti levegőnél magasabb hőmérsékleten is cseppfolyósodjon. A kompresszort hagyományosan a motorból szíjhajtás hajtotta, és elektromágneses tengelykapcsoló csatlakoztatta. Korszerű rendszereken **szabályozott kompressort** használnak, amely folyamatosan forog, de belső változtatható lökettérfogatú vagy belső szelepes szabályozással igazítja a teljesítményt. Hibrid és elektromos járműveken, illetve stop-start rendszerekben **nagyfeszültségű vagy 12 V-os elektromos kompresszor** működik.

HV-biztonság. A nagyfeszültségű elektromos kompresszor a jármű HV-rendszerének része: a narancssárga kábelekhez és a kompresszorhoz csak HV-jogosultsággal, a gyártói feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése után szabad hozzányúlni (ellenőrizendő: gyártói eljárás, jogosultsági szint). Az ilyen kompresszorban az elektromos motor a hűtőközeg–olaj keverékben fut, ezért ilyen rendszerbe csak a gyártó által előírt, villamosan szigetelő kompresszorolaj tölthető; PAG-olajjal szennyezett szervizállomás szigetelési hibát és áramütésveszélyt okozhat, ezért külön szervizállomást vagy öblítést kell használni (ellenőrizendő: gyártói előírás).

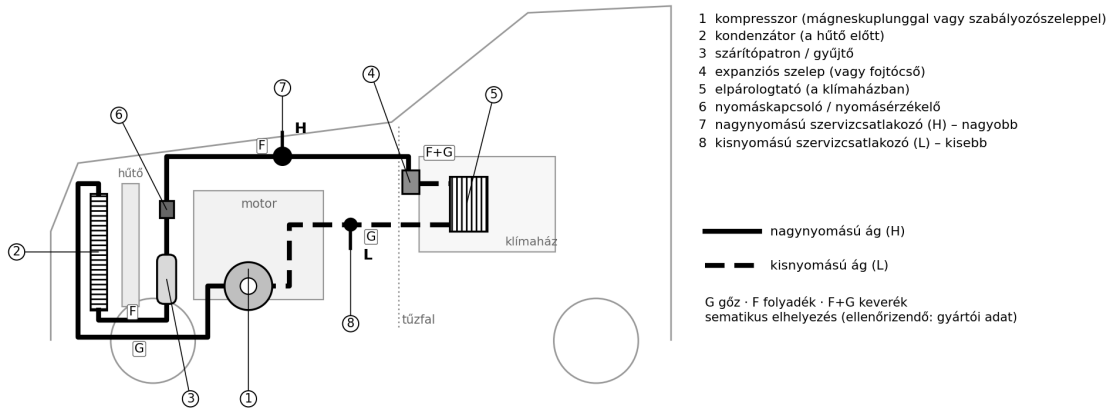
A kompresszor a hűtőközeg-gőzt a **kondenzátorba** nyomja. A kondenzátor a hűtőhöz hasonló hűtőborda, általában a hűtő előtt helyezkedik el. A forró, nagynyomású gőz hőt ad le a rajta átáramló levegőnek, lehűl, és cseppfolyósodik: a gőz halmazállapot-változása **kondenzáció**.

A kondenzátor után a **szárító/folyadéktartály** fogja meg a nedvességet, és tárolja a folyadékot. Ez fontos, mert a hűtőkörbe beszivárgó nedvesség savat képezhet, és az expanziós szelepben megfagyva eltömődést okoz. Fojtócsöves rendszerben a kondenzátor után nincs külön nagynyomású szárító, hanem az elpárologtató után egy **gyűjtőtartály** (angolul accumulator; nem az indítóakkumulátor) található, amely a visszatérő hűtőközegből választja le a folyadékot.

A folyékony hűtőközeg ezután az **expanziós szelepbe** vagy a **fojtócsőbe** jut. Itt a hűtőközeg nyomása hirtelen csökken, a folyadék kitágul, lehűl, és részben elpárolog, így alacsony hőmérsékletű folyadék-gőz keverék jön létre. A termosztatikus expanziós szelep a hűtőközeg utánpárolgását szabályozza, és megakadályozza, hogy folyadék jusson a kompresszorba.

Az **elpárologtató** a hűtőlevegő oldalán helyezkedik el. Az alacsony nyomású, hideg hűtőközeg itt elpárolog, és nagy mennyiségű hőt von el a rajta áthaladó levegőből. A levegő lehűl, a levegőben lévő pára pedig kicsapódik az elpárologtató bordáin. A lecsapódott vizet el kell vezetni; ezért a jármű alatt a klíma üzemelésekor kis vízcsepegés tapasztalható. Az elpárologtatott hűtőközeg gőze visszaszívódik a kompresszorba, és a kör zárul.

A hűtőkörben tehát a hűtőközeg négy jellemző állapotváltozáson megy át: **sűrítés** (kompresszor), **kondenzáció** (kondenzátor), **fojtás/nyomáscsökkenés** (expanziós eszköz) és **párolgás** (elpárologtató). A hőt a levegőből az elpárologtatónál veszi fel, és a kondenzátornál adja le a környezetnek.



30.8. ábra. A klímaberendezés hűtőkörének elemei a járműben, a nagy- (H) és a kisnyomású (L) szervizcsatlakozóval

Az ábrán a nagynyomású ág (kompresszor → kondenzátor → szárítópatron → expanziós szelep) vastag folytonos, a kisnyomású ág (expanziós szelep → elpárologtató → kompresszor) vastag szaggatott vonal; a betűk a halmazállapotot jelölik. A nagynyomású szervizcsatlakozó (H) a nagyobb, a kisnyomású (L) a kisebb méretű, így a tömlők nem cserélhetők fel. A HTML-változatban az elemekre mutatva megjelenik a nyomásszint és a halmazállapot, és az áramlás iránya animálható.

30.3.6. Hűtőközegek és olajok

A gépjármű-klímaberendezésekben leggyakrabban **R134a** (tetrafluor-etán) hűtőközeget használtak. Ennek az anyagnak azonban magas a globális felmelegedési potenciálja (GWP, az R134a-é kb. 1430). A járművek klímaberendezéseiről szóló 2006/40/EK (MAC) irányelv a 150-nél nagyobb GWP-jű hűtőközeget tiltja az új személygépkocsikban (új típusokra 2011-től, minden új járműre 2017-től; ellenőrizendő: hatályos irányelv és alkalmazási dátumok), ezért az új járművekben a gyártók **R1234yf**-re tértek át. Az R1234yf alacsonyabb GWP-értékű, de enyhén gyúlékony, ezért a szervizberendezésnek és a szivárgásvizsgálatnak erre alkalmasnak kell lennie. A **R744** (szén-dioxid) rendszerekben nagyon magas nyomáson dolgozik, ezért szerkezeti és szervizelési követelményeik eltérőek.

A kompresszor kenésére a hűtőközeggel keveredő, speciális **kompresszorolajat** használnak, például PAG- vagy POE-alapú olajat. A hűtőközeg és az olaj típusa nem keverhető szabadon: R134a-rendszerbe való olajat nem önthetünk R1234yf-rendszerbe, és megfordítva.

Előírás. A fluortartalmú üvegházhatású gázok kezelésére, így a gépjármű-klímaberendezések szervizelésére is, az Európai Unió **F-gáz rendelete** ((EU) 2024/573; ellenőrizendő) és a hozzá kapcsolódó magyar végrehajtási jogszabályok vonatkoznak, amelyek a kezelést, a képesítést, a szivárgásellenőrzést és a nyilvántartást szabályozzák. A hűtőközeg légkörbe engedése tilos; a szerviztevékenységhez a hűtőközeg kezelésére jogosító képzés és az előírt szervizberendezés szükséges (ellenőrizendő: hatályos rendeletek pontos száma, képzési és nyilvántartási követelmények).

30.3.7. Automatikus klímaszabályozás

A kézi állítású klímánál a vezető maga választja a hőmérsékletet, a ventilátor-fokozatot és a levegőelosztást. Az **automatikus klímaszabályozás** viszont visszacsatolt szabályozókör, amely a kívánt hőmérsékletet érzékelők jelei alapján tartja be. A rendszer jellemző érzékelői:

- **utastéri hőmérséklet-érzékelő** (kis ventilátor szívja a levegőt a jeladóhoz);
- **külső hőmérséklet-érzékelő**;
- **napsugárzás-érzékelő** (a napsütés hőterhelésének figyelembevételére);
- **elpárologtató-hőmérséklet-érzékelő** (a lefagyás megakadályozására);
- **nyomásérzékelő** a hűtőkörben (a rendszer védelmére).

A vezérlőegység az érzékelők jeleiből számítja a szükséges befújt levegő hőmérsékletét, és úgy állítja a keverőcsappantyút, a ventilátort, a kompresszort és a fűtőszelepet, hogy a belső hőmérséklet a beállított értékhez közelítsen. A korszerű rendszereken a motorvezérlővel is kommunikál, például a kompresszor terhelését a motor alapjárat-szabályozásához.

30.3.8. Minőségellenőrzés

A klímarendszer ellenőrzésekor a következőket vizsgáljuk:

- **Nyomásoldali értékek:** járó motor mellett, maximális hűtésen, elegendő légáramlással az alacsony oldali nyomás tipikusan 1,5–2,5 bar, a magas oldali nyomás a környezettől függően kb. 10–18 bar (ellenőrizendő: gyártói adat). Az értékek R1234yf esetén hasonló tartományban vannak, de a gyártói diagramot kell használni.
- **Elpárologtató utáni levegő hőmérséklete:** kifújónál mért hőmérséklet jellemzően 4–10°C (ellenőrizendő: gyártói előírás).
- **Töltet mennyisége:** a gyártói adattáblán megadott hűtőközeg-tömeget mérleggel kell ellenőrizni.
- **Szivárgás:** tömítettség ellenőrzése vákuummal, nitrogénnel vagy elektronikus szivárgáskeresővel, illetve UV-festékkel.

Ellenőrzőlista klímaszerviz előtt:

1. Jármű azonosítása, a gyártói hűtőközegtípus és töltetmennyiség leolvasása.
2. Hűtőközeg-nyomás és hőmérséklet rögzítése járó motor mellett.
3. A kompresszor kapcsolásának meghallgatása/megfigyelése.
4. A ventilátor és a csappantyúk működésének ellenőrzése.
5. A pollenszűrő állapotának vizsgálata.

30.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy a klíma csak meleg levegőt fúj, és a kompresszor nem kapcsol be. A műhelyben a járművet beindítjuk, a klímát maximális hűtésre állítjuk, a ventilátort közepes fokozatra. A kompresszor tengelykapcsolója nem húz be. A rendszerteszterrel kiolvassuk a klímavezérlő hibakódját, de nincs hiba. Ezután a szervizcsatlakozókra nyomásmérőket kötünk: az alacsony oldali nyomás csupán 0,3 bar, a magas oldali is alacsony. A nyomáskapcsoló emiatt letiltja a kompresszort, hogy ne szárazon sérüljön. Következtetés: hűtőközeg-szivárgás.

UV-lámpával és szivárgáskereső festék nyomaival a kondenzátor egyik csatlakozó O-gyűrűjénél enyhe olajos, fényes elszíneződést találunk. A rendszert a szervizberendezéssel lefejtjük, a maradék hűtőközeget visszanyerjük, a sérült O-gyűrűt kicseréljük. Vákuumozás után a vákuumot 10–15 percig figyeljük, majd a gyártó szerinti mennyiségű hűtőközeget és kompresszorolajat töltjük be. Ellenőrzésképpen újra elindítjuk a klímát: a nyomások normális tartományba kerülnek, az elpárologtató után a kifújt levegő 6°C. Az ügyfélnek elmondjuk, hogy szivárgás javítva, a rendszer szabályosan feltöltve.

30.3.10. Gyakorlati útmutató

Cél: a klímaberendezés hűtőkörének szivárgásvizsgálata, lefejtése, vákuumozása és feltöltése.

Jármű- és adatazonosítás: típus, alvázszám, a hűtőközeg típusa és töltetmennyisége a gyártói adattábláról.

Szükséges szerszámok és anyagok: klímaszerviz-állomás, hűtőközeg-palack (járműhöz való), kompresszorolaj, O-gyűrűk, UV-festék, elektronikus szivárgáskereső, nyomásmérő, védőkesztyű, védőszemüveg, gyűjtőedény.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

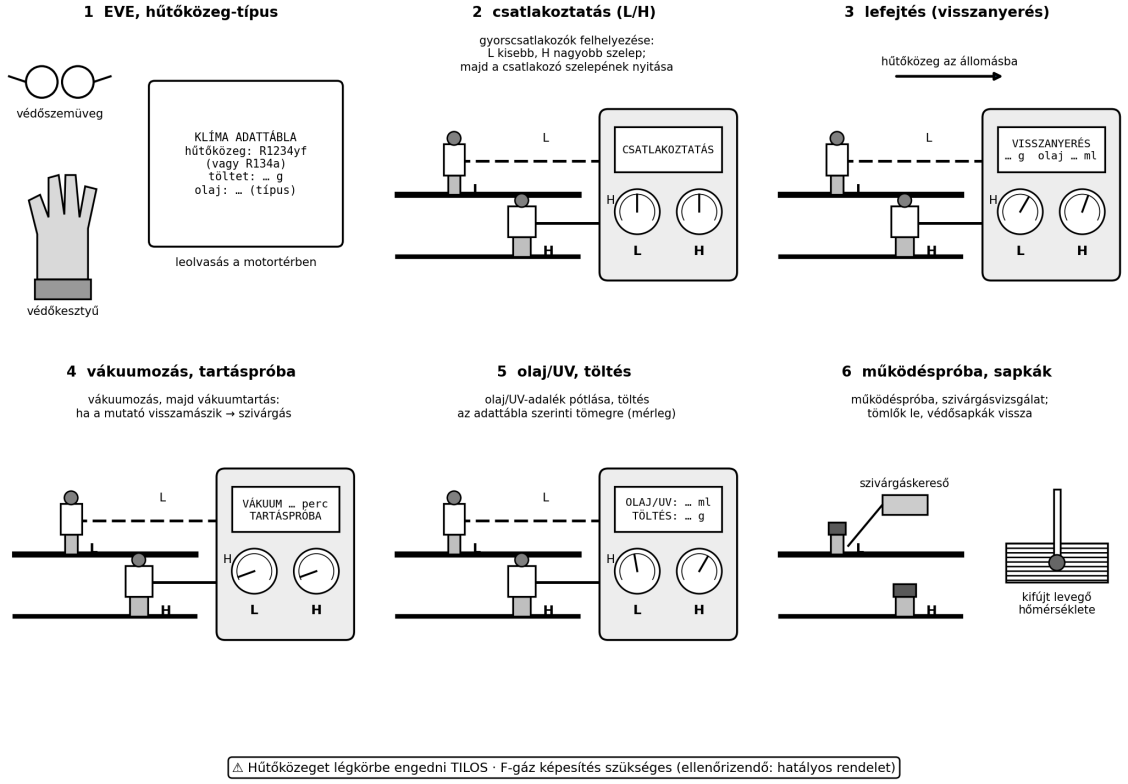
Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések:

- A hűtőközeg fagysérülést okozhat; védőkesztyű és védőszemüveg kötelező.
- Az R1234yf enyhén gyúlékony; a munkaterületen nyílt lángot és szikrát kerülni kell.
- A hűtőközeget légkörbe engedni tilos; lefejtés csak zárt visszanyerő berendezéssel.
- A pollenszűrő és az olajos szűrők veszélyes hulladékként kezelendők.

Munkalépések:

1. Ellenőrizd a jármű klíma-rendszerének hűtőközegtípusát és töltetmennyiségét; a készülék csatlakozója legyen kompatibilis (R134a/R1234yf csatlakozók eltérnek). HV-kompresszoros járműnél a munka HV-jogosultsághoz kötött.
2. A klímát járó motor mellett, maximális hűtésen járassuk 2–3 percig, és mérjük a nyomásokat, a kifújt levegő hőmérsékletét, valamint ellenőrizzük a kompresszor bekapcsolását.
3. Kapcsoljuk le a motort, és csatlakoztassuk a szervizállomás tömlőit a gyártó által előírt nyomásoldali csatlakozókhoz.
4. A visszanyerő üzemmódban fejtsük le a hűtőközeget, és mérjük a kinyert mennyiséget és olajat.
5. Végezzünk szivárgásvizsgálatot: vákuumozás legalább 15–20 percig (ellenőrizendő: gyártói előírás), a vákuum megtartásának ellenőrzése; szükség esetén nitrogénnel vagy elektronikus szivárgáskeresővel keressünk szivárgást.
6. Ha szivárgást találunk, javítsuk ki (például O-gyűrű csere), majd új vákuumpróbát végezzünk.

7. Pótoljuk a lefejtett kompresszorolajat a gyártói előírás szerint, szükség szerint UV-festékkel.
8. Töltsük be a gyártói adattáblán szereplő pontos mennyiségű hűtőközeget a szervizállomás mérlegével.
9. Indítsuk be a motort, kapcsoljuk be a klímát, és mérjük a nyomásokat és a kifújt hőmérsékletet; a nyomások a gyártói tartományban legyenek, a kompresszor kapcsoljon be.
10. A csatlakozók levétele után ellenőrizzük a szelepek zárását és a sapkák visszahelyezését.



30.9. ábra. Klímaszerviz-állomás csatlakoztatása és a lefejtés–vákuumozás–töltés képsora

A képsor a munkalépéseket hat képkockába vonja össze: védőeszköz és adattábla (1. lépés), a kék L és a piros H gyorscsatlakozó felhelyezése (3.), lefejtés (4.), vákuumozás és tartáspróba (5–6.), olaj/UV-adalék pótlása és töltés tömegre (7–8.), végül működéspróba és a védősapkák visszahelyezése (9–10.). A HTML-változat lépésenként lejátszható, minden lépésnél az ellenőrzési ponttal.

Ellenőrzési pontok: a kifújt levegő hőmérséklete a gyártói tartományban, az alacsony/magas oldali nyomás a gyártói diagramon belül, nincs szivárgás, a kompresszor nem csúszik, a ventilátor megfelelően indul.

30.3.11. Tipikus hibák

1. **Szivárgás utántöltése javítás nélkül.** A legtöbb klímaszerviz-hiba abból adódik, hogy csak a hűtőközeget töltik utána, a szivárgást nem javítják. A rendszer néhány hét múlva ismét üres lesz, és a környezetet is terheli. Helyes gyakorlat: először tömítettséget ellenőrizni, majd javítani, végül tölteni.
2. **Hűtőközegek keverése.** Az R134a és az R1234yf, illetve a hozzájuk tartozó olajok nem keverhetők. A csatlakozók és a szervizberendezés színe és kialakítása eltérő, ezért ha

rossz palackot csatlakoztatunk, a kémiai összeférhetetlenség mellett a típusjóváhagyást is elvesztjük.

3. **Vákuumozás kihagyása.** Ha a rendszerbe levegő vagy nedvesség jut, az expanziós szelepnél jégdugót okozhat, a kompresszor savas korrózióját gyorsítja, és a hűtőteljesítményt rontja.
4. **Túltöltés vagy alultöltés.** A túltöltés a magas oldali nyomást megnöveli, a biztonsági szelep nyitását okozhatja; az alultöltés rossz hűtést és a kompresszor kenésének romlását eredményezi.
5. **Nagynyomású oldal megbontása üzem közben.** Járó kompresszornál a rendszer nagynyomású oldalán akár 15–20 bar nyomás is lehet, ezért a tömlőket kizárólag leállított motor és megfelelően nyomásmentesített rendszer mellett szabad lecsatlakoztatni.

30.3.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A kondenzátorban a hűtőközeg elpárolog, és hőt von el a levegőből.
2. **Mi a kompresszor feladata a hűtőkörben?**
3. **Miért kell a pollenszűrőt rendszeresen cserélni?**
4. **Számítás:** Mekkora hűtőteljesítmény, ha a levegő tömegárama 0,10 kg/s, fajhője 1,0 kJ/(kg · K), és a levegő 12 K-nel hűl? Adja meg kW-ban.
5. **Mi a hiba ebben az eljárásban?** A szerelő a klíma nem megfelelő hűtése miatt egyszerűen ráköt egy utántöltő palackot, és addig tölti a hűtőközeget, amíg a magas oldali nyomás el nem éri a 25 bar-t.
6. **Ábraelemzés:** Melyik ponton lesz a hűtőközeg halmazállapota folyadék, és melyiken gőz a fenti folyamatábrán?

30.3.13. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a kompresszoros klímakör fő elemeit a hűtőközeg útjának sorrendjében, és nevezd meg mindegyiknél a halmazállapotot vagy a nyomásviszonyt.

2. feladat (A) Melyik hűtőközeg miért terjedt el az új gépjárművekben? Említsd az R134a és az R1234yf közötti alapvető különbséget.

3. feladat (B) Számítsd ki a szükséges hűtőteljesítményt, ha a levegő tömegárama 0,15 kg/s, a levegő hőmérséklete az elpárologtató után 5 °C, előtte 28 °C, és a levegő fajhője 1,0 kJ/(kg · K). Az eredményt kW-ban add meg.

4. feladat (B) A gyártói adat szerint a klíma töltet 0,450 kg R1234yf. A szervizpalack mérlege a töltés előtt 9,900 kg, a töltés után 9,420 kg. Mekkora hűtőközeget töltöttek be? Helyes-e a mennyiség? Ha nem, mi lehet az eltérés oka?

5. feladat (C) Magyarázd el, hogy az automatikus klímaszabályozás hogyan akadályozza meg az elpárologtató lefagyását. Mely érzékelő jeleit használja, és milyen beavatkozást végez?

6. feladat (D) Ügyfél panasza: a klíma eleinte hűt, majd 10–15 perc múlva gyengül, és a kompresszor leáll. A nyomásmérés: alacsony oldal 3,0 bar, magas oldal 26 bar. A kondenzátor előtti légáramlás látszólag rendben, de a ventilátor csak alacsony fordulaton forog. Mi lehet a valószínű ok, és milyen lépésekkel javítanád?

30.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A kondenzátorban a hűtőközeg kondenzál (cseppfolyósodik), és hőt ad le; az elpárologtatóban történik a párolgás, ahol hőt vesz fel.
2. A kompresszor beszívja a hűtőközeg alacsony nyomású gőzét, összesűríti, magas nyomású és magas hőmérsékletű gőzzé alakítja, így a kondenzátorban a hűtőközeg magasabb hőmérsékleten tud hőt leadni.
3. A pollenszűrő a levegő tisztaságát biztosítja; ha eltömődik, csökken a légáramlás, párásodik az ablak, és a klíma teljesítménye romlik. A cserét a gyártói karbantartási ütem szerint kell végezni.
4. $P = \dot{m}\, c_p\, \Delta T = 0{,}10 \cdot 1000 \cdot 12 = 1200\,\mathrm{W} = 1{,}2\,\mathrm{kW}$.
5. Ez az eljárás veszélyes és hibás. A 25 bar túl magas lehet, a hűtőközeg hozzáadása szivárgás esetén rövid távú megoldás, és a pontos töltetmennyiséget mérleggel kell betartani. A szivárgás megszüntetése után kell a rendszert vákuumozni és a gyártói mennyiséggel feltölteni.
6. A kondenzátor kimeneténél (a szárító/folyadéktartály felé) a hűtőközeg folyadékhalmazállapotú; az elpárologtatóban és a kompresszor szívóoldalán gőz állapotú, az expanziós eszköz után folyadék-gőz keverék.

Feladatok – megoldások

1. feladat megoldása. A sorrend: kompresszor (beszívott gőz, kimeneti forró nagynyomású gőz) → kondenzátor (magas nyomás, gőz→folyadék) → szárító/folyadéktartály (folyadék) → expanziós szelep/fojtócső (nyomáscsökkenés, folyadék-gőz keverék) → elpárologtató (alacsony nyomás, folyadék→gőz, hőfelvétel) → vissza a kompresszorba (alacsony nyomású gőz).

2. feladat megoldása. Az R134a magas GWP-értékű (kb. 1430), ezért a 2006/40/EK (MAC) irányelv új személygépkocsikban a 150-nél nagyobb GWP-jű hűtőközeget tiltja (ellenőrizendő: hatályos irányelv), a kezelését pedig az F-gáz rendelet szabályozza. Az új járművekben elterjedt R1234yf alacsonyabb GWP-jű, ezért környezetbarátabb, viszont enyhén gyúlékony. A hűtőközegek és olajaik nem keverhetők.

3. feladat megoldása. $\Delta T = 28 - 5 = 23\,\mathrm{K}$. $P = \dot{m} c_p \Delta T = 0{,}15 \cdot 1000 \cdot 23 = 3450\,\mathrm{W} = 3{,}45\,\mathrm{kW}$.

4. feladat megoldása. Betöltött tömeg: $m = 9{,}900 - 9{,}420 = 0{,}480\,\mathrm{kg}$. Ez 0,030 kg-mal több az előírt 0,450 kg-nál. A túltöltés hibás; a szervizberendezésben maradó tömlőhossz, a mérleg hibája, vagy a rendszerben maradt hűtőközeg okozhatja. Újra kell végezni a lefejtést, vákuumozást és pontos töltést.

5. feladat megoldása. Az automatikus klímavezérlő az elpárologtató-hőmérséklet-érzékelő jelét figyeli. Ha a hőmérséklet 0 °C közelébe csökken, a szabályzó csökkenti a kompresszor teljesítményét, vagy kikapcsolja a kompresszort, amíg a hőmérséklet meg nem emelkedik. Emellett a nyomásérzékelővel is védi a rendszert.

6. feladat megoldása. A magas oldali nyomás túl magas, az alacsony oldali is emelkedett, ami a kondenzátor elégtelen hűtésére utal. Ha a ventilátor csak alacsony fordulaton forog, a kondenzátor nem tud elegendő hőt leadni, ezért a nyomás megnő, és a nyomáskapcsoló leállítja a kompresszort. Javítás: a ventilátor vezérlésének, reléjének és motorjának ellenőrzése, szükség esetén a ventilátor javítása/cseréje, a kondenzátor bordák tisztítása, majd a rendszer ellenőrzése.

30.3.15. Rövid összefoglaló

Az utastéri klímaberendezés a fűtést, a szellőzést és a hűtést együtt szabályozza. A levegőoldali rendszerben a ventilátor, a pollenszűrő, a fűtő hőcserélője, valamint a csappantyúk dolgoznak. A kompresszoros hűtőkör zárt rendszer: a kompresszor sűríti a hűtőközeg gőzét, a kondenzátorban a gőz cseppfolyósodik, a szárító megköti a nedvességet, az expanziós szelep vagy fojtócső csökkenti a nyomást, és az elpárologtatóban a hideg hűtőközeg hőt von el a levegőből, majd a gőz visszajut a kompresszorba. A hűtőközegek közül az R134a helyett egyre inkább az alacsony GWP-jű R1234yf terjed; az R744 nagynyomású rendszer. A hűtőközeg kezeléséhez az F-gáz szabályozás szerinti képesítés szükséges, a hűtőközeg légkörbe engedése tilos. Az automatikus klímaszabályozás érzékelőkkel tartja a beállított hőmérsékletet. **Továbbvitt eredmény.** A klímakör felépítését, a hűtőközegeket, a nyomásmérést és a klímaszerviz lépéseit az Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezetben használjuk fel.

30.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: járműgyártói javítási utasítások és klímaszerviz-adatok, hűtőközeg-gyártói táblázatok, F-gáz rendelettel kapcsolatos uniós és hazai jogszabályok, klímaszerviz-berendezések gyártói kézikönyvei. Ellenőrizendő: az R134a telítési nyomás-táblázat értékei, az alacsony és magas oldali nyomás tartományai, a vákuumozás időtartama, a töltetmennyiségek, a hűtőközegek GWP-értékei, valamint az F-gáz szabályozás hatályos rendeletszámai és képzési követelményei.

30.4. Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő

30.4.1. Motiváció

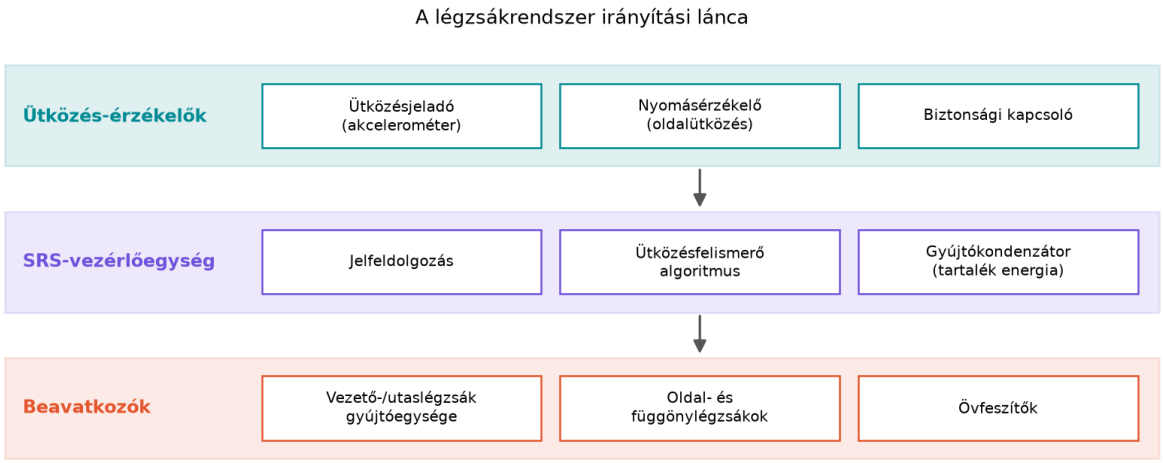
Egyre több autójavítási munka érinti a belső teret: kopott kormánygomb, zörgő utasoldali műszerfal, elakadt ülésállító, vagy éppen a kormánykerékbe szerelt multimédia-gombok cseréje. Ha a szerelő ekkor véletlenül megsért egy légzsákvezetéket, az a műszerfalon megjelenő, folyamatosan világító légzsák-visszajelző lámpához (SRS-lámpa, *Supplemental Restraint System*) vezethet, és a jármű a következő hatósági műszaki vizsgán elbukhat. Ennél súlyosabb következmény, hogy egy hirtelen ütközésnél a rendszer nem, vagy rossz időben nyílhat ki, ami életveszélyes.

Ebben az alfejezetben a passzív biztonsági elektronika – a légzsákok és az övfeszítők – rendszerét tanuljuk meg: hogyan érzékeli a balesetet, hogyan működnek a pirotechnikai egységek, és milyen szigorú munkavédelmi szabályokkal kell ezeken az alkatrészeken dolgozni.

30.4.2. Szemléletes kép

Képzeljük el egy autó utasterét ütközés előtt és ütközés közben: a vezető előtt a kormánykerék közepén egy légzsákmodul van, az utas előtt a műszerfalban, a tetőkeretben függönylégzsákok, az ülésekben oldallégzsákok, és a biztonsági övek zárjában vagy felcsévélőjében egy feszítő. A központi vezérlőegység, az SRS-ECU, az utastér középső alagútjában vagy az ülés alatt ül, és ütközéskor néhány ezredmásodperc alatt el kell döntenie, hogy begyújtsa-e a megfelelő pirotechnikai tölteteket.

Az alábbi rétegábra a légzsákrendszer irányítási láncát mutatja: az ütközésérzékelők jelét a vezérlőegység feldolgozza, majd beavatkozókat, azaz gyújtóegységeket aktivál.



30.10. ábra. A légzsákrendszer irányítási lánca - Az érzékelők jelei alapján az SRS-ECU dönt a gyújtóegységek aktiválásáról (egyszerűsített szemléltető ábra).

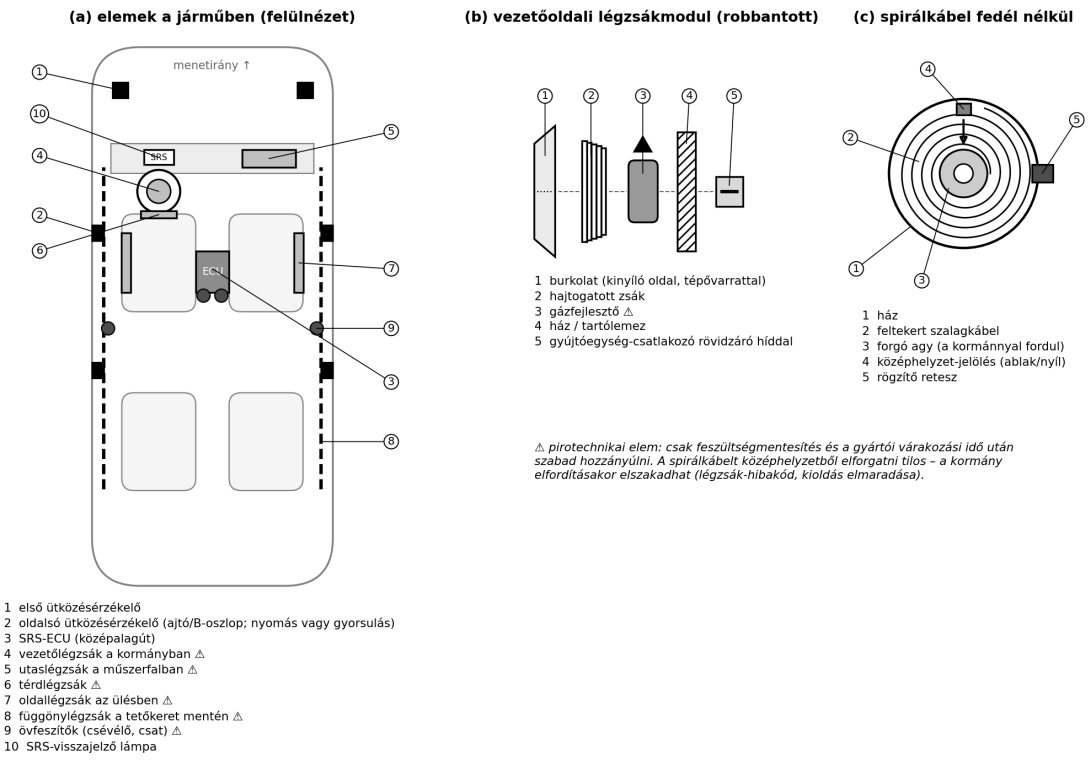
30.4.3. A rendszer felépítése és a gyújtóegység fogalma

Definíció. A passzív biztonsági rendszer (légzsákrendszer, *Supplemental Restraint System*, SRS) olyan járműrendszer, amelynek feladata, hogy baleset esetén a jármű utasait a belső térrészben megtartsa, és a karosszéria kemény részeivel (kormány, műszerfal, üveg, oldalajtó) való ütközést megakadályozza vagy csillapítsa. „Passzív”, mert a vezetőnek nem kell előzetesen tevékenykednie az aktiválásához.

Összefüggés. A légzsák nem helyettesíti a biztonsági övet; a mai rendszerekben az öv és a légzsák együtt, összehangoltan működik. Az övfeszítő az ütközés első tizedmásodperceiben feszesre húzza az övet, hogy a test még a légzsák felfúvódása előtt ne mozdulhasson túlzottan előre.

Definíció. A gyújtóegység (squib; műhelyi nevén „pattanópatron” vagy „gyutacs”) olyan, elektromosan indítható pirotechnikai beavatkozó, amely egy fém- vagy műanyag házban lévő kis ellenállású izzógyújtót és egy gyors égésű hajtóanyagot tartalmaz. Amikor a vezérlőegység meghatározott nagyságú áramot vezet át rajta, a gyújtószál felhevül, a hajtóanyag gázt fejleszt, és a hozzá kapcsolt szerkezetet (légzsákot, övfeszítő dugattyút) működteti.

Definíció. A kormánykerék-spirálkábel (clock spring; forgókapcsoló) egy lapos, spirálban feltekert, műanyagba ágyazott több erű vezetékcsík, amely a kormánykerék elfordulása közben is folyamatos villamos kapcsolatot tart a kormányon elhelyezett eszközök (légzsák, kürt, multimédia-gombok, fűtés) és a kormányoszlopban lévő rögzített huzalozás között. Előfeszítéssel szerelik, és csak a gyártó által megadott fordulatszám-tartományban (balra és jobbra a középhelyzettől) fordulhat el; a rossz pozícióban rögzített spirálkábel a kormány elfordításakor elszakadhat.



30.11. ábra. A légzsákrendszer elemei a járműben (felülnézet), a vezetőoldali légzsákmodul robbantott rajza és a kormánykerék-spirálkábel fedél nélkül

Az (a) rajz a rétegábra elemeit térben mutatja: elöl és oldalt az ütközésérzékelők, a középalagútban az SRS-ECU, a kormányban, a műszerfalban, az ülésekben és a tetőkeret mentén a légzsákok, a csévélőknél és a csatoknál az övfeszítők. A (b) rajz a vezetőoldali modul rétegeit, a (c) a spirálkábel feltekert szalagvezetékét és a középhelyzet-jelölést mutatja. A HTML-változatban az érzékelők, az ECU és a beavatkozók rétege külön ki-be kapcsolható.

30.4.4. Felépítés és működés

A rendszer fő részei:

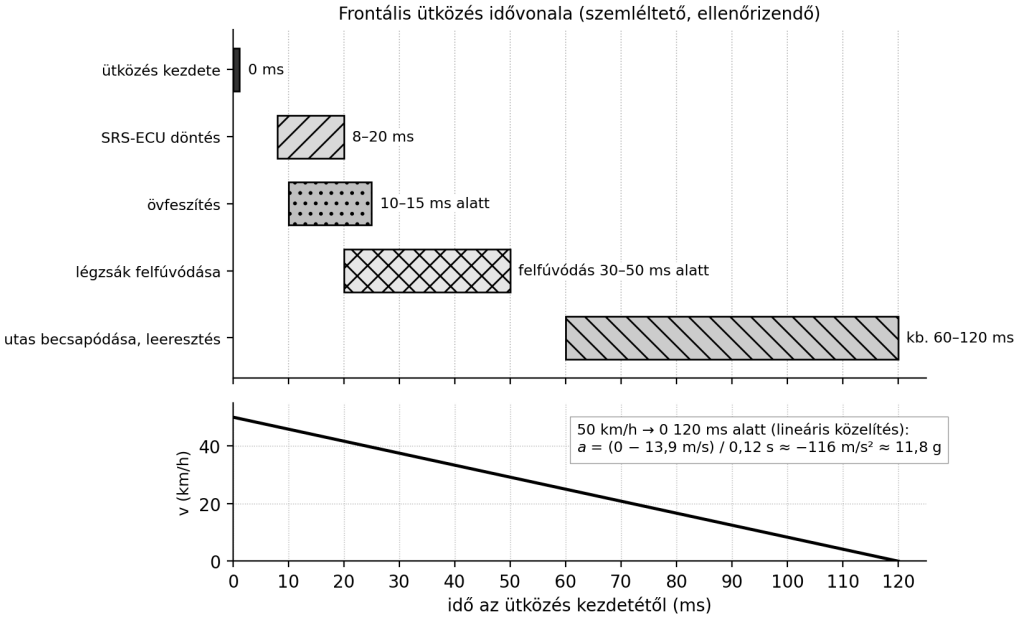
1. **Ütközésérzékelők:** Jellemzően mikroelektromechanikai (MEMS) gyorsulásérzékelők, amelyek a jármű lassulását mérik. Sok rendszerben az SRS-ECU belsejében is van egy fő érzékelőcsoport, emellett a jármű elején, az oldalajtókban vagy a B-C-oszlopokban kiegészítő nyomás- vagy gyorsulásérzékelők találhatók. Az oldalütközést gyakran a bepréselő ajtóban hirtelen megnövő légnyomásból érzékelik, mert ez gyorsabban jelez, mint a központi gyorsulásjel.
2. **SRS-vezérlőegység (ECU):** Folyamatosan kiértékeli az érzékelők jeleit. Amikor a számított lassulás és a jel lefutása egy előre meghatározott ütközési kritériumot túllép, meghatározott sorrendben begyújtja az érintett egységeket. Tartalmaz egy pufferkondenzátort is, amely baleset közbeni akkumulátor-lekapcsolódás esetén is biztosítja a gyújtáshoz szükséges néhány száz wattnyi impulzust.
3. **Beavatkozók:**
   - **Első légzsákok (vezető, utas):** Kétfokozatú gyújtóval ellátott nitrogéngáz-fejlesztővel működnek. Frontális ütközésnél 30–50 ms alatt felfúvódnak, majd a

zsákban lévő szellőzőnyílásokon a gáz szabályozottan távozik, hogy a becsapódó test ne pattanjon vissza. A töltet égése után a gáz nitrogén, vízgőz és szilárd maradék (a zsák belső felületén por vagy bevonat) lehet.

- **Oldal- és függönylégzsákok:** Az ajtók és az ülések közé, illetve az ajtóablakhoz fúvódnak fel, így védik a medencét, a mellkast és a fejet. A függönylégzsák az oldalablak mentén kifeszül, és megakadályozza a fej kinyúlását vagy az üveg érintését.
- **Térdlégzsák:** A műszerfal alatt elhelyezett kis zsák, amely a térd és a lábszár becsapódását csillapítja, és a test alsó pontjának megfogásával segíti, hogy a felsőtest megfelelő szögben érkezzen a fő zsákra.
- **Övfeszítők:** A biztonsági öv csatjánál vagy a felcsévélőnél pirotechnikai dugattyú vagy forgódugattyús hajtás feszíti meg az övet 10-15 ms alatt, eltávolítva a test előtti lazaságot. Vannak reverzibilis, villanymotoros övfeszítők is (a biztonsági és vezetőtámogató rendszereknél), de a baleseti pirotechnikai feszítők egyszer használatosak.
- **Övszíjerő-határolók:** Az övfeszítővel együtt dolgozó mechanikai csavaró elem vagy a nyelvben lévő deformálódó lemez. A feszítés után kismértékben engedi az övet, hogy a test lassuljon, de a bordákat ne érje túl nagy visszatartó erő.

Működési sorrend frontális ütközésben:

1. Az ütközéskor a jármű lassulni kezd; az érzékelők jelei meredeken emelkednek.
2. Az SRS-ECU kb. 8–20 ms alatt felismeri az ütközés jellegét és dönt az aktiválásról.
3. Az övfeszítők először begyújtanak, és meghúzzák az öveket.
4. A vezető- és utaslégzsák gyújtóegysége begyújt; a zsák a kormánykerék- vagy műszerfaltakaró felrepedése után kifúvódik.
5. A zsák a becsapódó testet ellenőrzött erővel lassítja, majd a szellőzőkön leenged.



30.12. ábra. A frontális ütközés idővonala: döntés, övfeszítés, légzsák-felfúvódás, becsapódás és leeresztés, alatta a jármű sebessége 50 km/h-ról 0-ra 120 ms alatt (szemléltető)

Az idővonalon látszik, hogy a teljes folyamat nagyjából egy tizedmásodperc: a döntés kb. 8–20 ms alatt születik, az övfeszítő a légzsák előtt működik, a zsák 30–50 ms alatt fúvódik fel, és az utas csak ezután érkezik bele. A sebességgörbe a kidolgozott példa lineáris közelítése (50 km/h

→ 0 120 ms alatt, kb. 116 m/s²). A HTML-változat lépésenként lejátssza az eseményeket egy sematikus utas–öv–légzsák rajzzal.

Rendszer önellenőrzése és hibajelzés. Induláskor az SRS-ECU belső öntesztet futtat: ellenőrzi a gyújtóegységek bekötését, az érzékelők és a saját reléinek ellenállásait. A műszercsoportban lévő légzsák-visszajelző lámpa 3–7 másodpercig világít, majd elalszik. Ha menet közben újra kigyullad, a vezérlőegység hibát tárolt, és a rendszer egyes funkcióit letiltják.

Utasoldali légzsák kikapcsolása. Tilos. Menetiránynak háttal beszerelt gyerekülést bekapcsolt első utaslégzsák elé szerelni – a kioldó légzsák a gyermeket halálosan megsebesítheti. Ha ilyen gyerekülést mégis az első utasülésen kell szállítani, az utasoldali légzsákot a gyártó által előírt módon ki kell kapcsolni (ellenőrizendő: kezelési útmutató és hatályos előírás, ECE R16/R94). Ennek megoldása típustól függően: - kulccsal működtetett kapcsoló a műszerfalon vagy az ajtó mellett; - a diagnosztikai csatlakozón keresztül, gyártói rendszerteszterrel végzett kódolás; - automatikus felismerés (a gyárilag szerelt, azonosított gyerekülés jelenléte esetén).

A kikapcsolt állapotot külön visszajelző lámpa jelzi; felnőtt utas szállításakor a légzsákot vissza kell kapcsolni, és a gyártói előírást be kell tartani **(ellenőrizendő: a gyártói utasítás szerint)**.

30.4.5. Előírások

Előírás. Az utasvédelmi rendszerekre és a légzsákokra vonatkozó ENSZ-EGB (UNECE) előírások különböző vizsgálati feltételeket írnak elő; például: - a frontális ütközés elleni védelemre és az első légzsákokra vonatkozó követelmények ENSZ-EGB előírásban szerepelnek (a feladathoz jelzett, ellenőrizendő: ECE R94/R16), - az oldalütközés elleni védelemre és a megfelelő vizsgálatra vonatkozó előírások szintén ENSZ-EGB dokumentumban találhatók (ellenőrizendő: ECE R95), - a biztonsági övek és az övfeszítővel egybeépített rendszerek jóváhagyási követelményei külön előírásban szerepelnek (ellenőrizendő: ECE R16).

Szabály. Légzsák- és övfeszítő-rendszeren végzett munka előtt a gyártó javítási utasításában megadott sorrendet kell követni: gyújtás kikapcsolása, a kulcs eltávolítása, az akkumulátor negatív pólusának lekötése, és a megadott várakozási idő betartása. A várakozási időt a gyártó azért írja elő, mert a vezérlőegységen belüli kondenzátorokban még energia maradhat, és a rendszernek időre van szüksége az önmentesítéshez. A várakozási idő a gyártói előírás szerint (jellemzően 1–10 perc; ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

30.4.6. Kidolgozott példák

Számítás. Mennyi az átlagos lassulás, ha egy jármű 50 km/h kezdeti sebességről 0,12 másodperc alatt áll meg egy ütközésnél? A légzsákrendszer gyújtási döntése miatt ezt a nagyságrendet kell érzékelni.

Adott: $v_0 = 50\,\mathrm{km/h} = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$, $v_1 = 0$, $t = 0{,}12\,\mathrm{s}$. Keresett: a. Képlet: $a = \frac{v_1 - v_0}{t}$. Behelyettesítés: $a = \frac{0 - 13{,}9}{0{,}12} = -116\,\mathrm{m/s^2}$. Ellenőrzés: A negatív előjel lassulást jelent; $116\,\mathrm{m/s^2} \approx 11{,}8\,g$, ami a valós frontális ütközések jellemző csúcslassulásának megfelelő nagyságrend. Ezért kell az érzékelőnek és a döntési algoritmusnak 10 ms-os időskálán dolgoznia. ∎

Példa. Egy autóban a gyújtás ráadása után az SRS-lámpa ötször felvillan, majd folyamatosan világít. Ez a gyakorlatban tárolt hibakódot jelez. A rendszerteszter csatlakoztatása után a hibakód például a vezetőoldali övfeszítő áramkörének szakadását mutatja. A hiba oka lehet terhelt csatlakozó az ülés alatt, sérült vezeték vagy hibás övfeszítő. Először a gyártói útmutató szerint meg kell keresni a csatlakozót, feszültségmentesítés után ellenőrizni az érintkezést, majd a szigetelést, és csak ezután a komponenst.

30.4.7. Minőségellenőrzés

A légzsákrendszer ellenőrzésekor az alábbi pontokat járjuk végig:

- **Rendszerteszterrel:** A hibakód memóriát kiolvassuk, a gyújtóegységek előírt ellenállásait csak a gyártói diagnosztikai lépés szerint, célműszerrel vizsgáljuk. A teszt közben figyeljük az élő adatokat (például az utasoldali jelenlét-érzékelő állapotát).
- **Szemrevételezéssel:** A légzsákmodulokon ne legyen repedés, égésnyom, erős karcolás; a takarófedél ne legyen cserélve vagy ragasztva. A kormány, a műszerfal és az ülések kárpitján ne legyen olyan javítás, ami a nyílási irányt módosíthatja.
- **Csatlakozók:** A pirotechnikai egységek csatlakozóin sok esetben rövidre záró sönt van, ami a szétválasztáskor véd az elektrosztatikus feltöltődés ellen. A csatlakozót mindig a gyártói módon, a biztosító retesszel együtt csatlakoztassuk vissza.

Ellenőrzőlista légzsákhiba felvételekor:

1. SRS-visszajelző lámpa viselkedése indításkor.
2. Hibakód kiolvasása és a hibatípus (szakadás, zárlat, belső hiba) azonosítása.
3. Feszültségmentesítés után érintett csatlakozók állapota.
4. A gyújtóegység burkolatának, kábelkötegének és tartólemezének sérülése.
5. A gyártó által előírt célműszeres mérés elvégzése.

30.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy használt autónál a vevő azt panaszolja, hogy az ülés takarítása után a légzsák-lámpa folyamatosan ég. A szerelő a rendszerteszterrel kiolvassa a hibát: az utasoldali oldallégzsák gyújtóegysége szakadást jelez. Műhelyi vizsgálat során az ülés alatt megtalálják a narancssárga csatlakozót, amely nincs teljesen összepattintva. A csatlakozó kioldásához a munkalap szerint előbb a gyújtást kikapcsolják, az akkumulátorsarut lekötik, és a gyártói várakozási időt betartják. A csatlakozót szemrevételezéssel ellenőrzik, visszapattintják, visszacsatlakoztatják az akkumulátort, majd a hibakódot törlik. Az SRS-lámpa elalszik, a rendszer ismét rendelkezésre áll. A tanulság: a légzsákrendszer nemcsak pirotechnikából áll, a hibák jelentős része egyszerű csatlakozóhiba, de a munkát mindig a pirotechnikai biztonsági szabályokkal kezdjük.

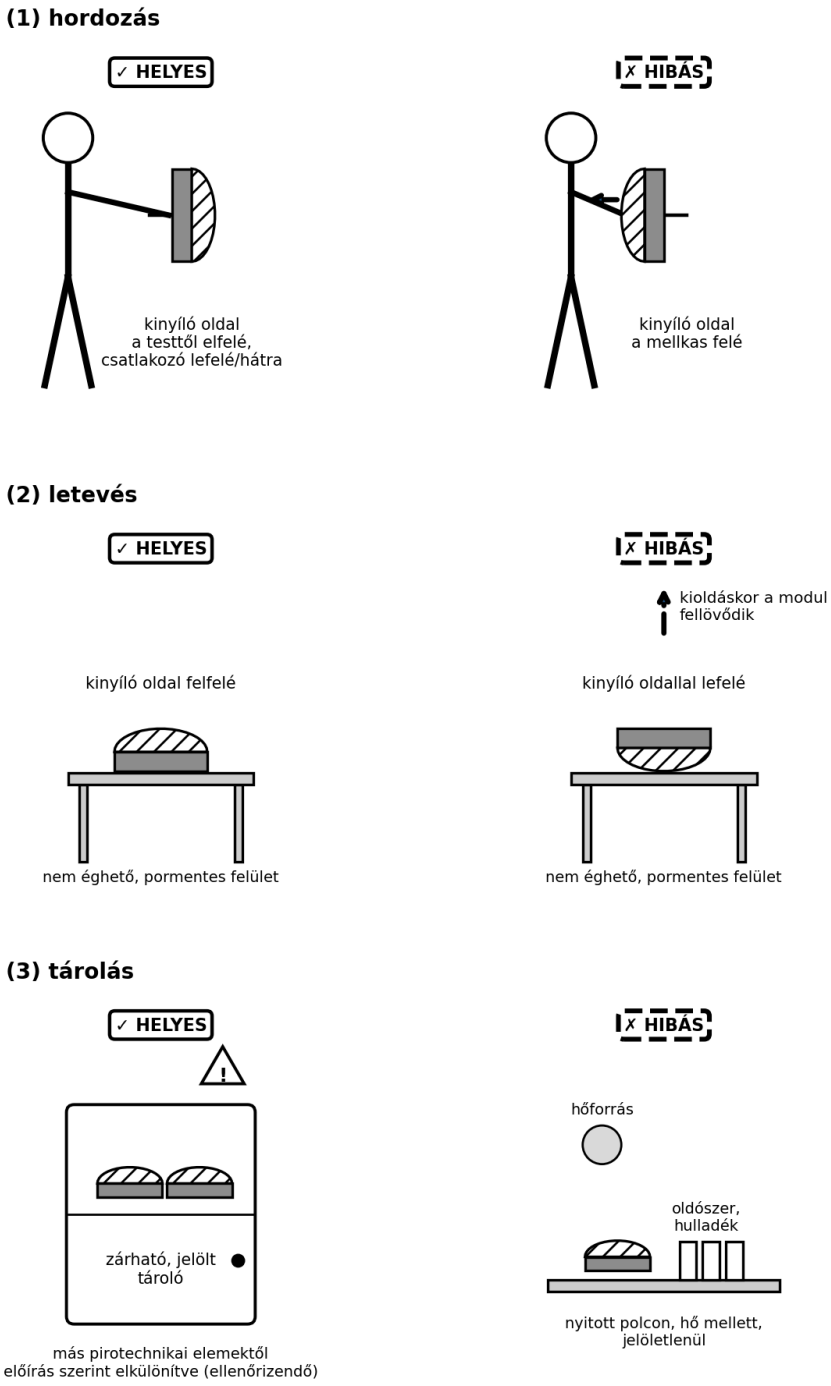
30.4.9. Gyakorlati útmutató

Feladat: Vezetőoldali légzsákmodul ellenőrzése és cseréje (tanműhelyi, oktatói felügyelettel).

1. **Járműazonosítás:** Jegyezzük fel az alvázszámot, és ellenőrizzük, hogy a beszerelt alkatrész a megfelelő típusszámú legyen.
2. **Előkészítés:** Szükséges szerszámok: Torx-kulcskészlet, nyomatékkulcs, elemlámpa, műanyag feszítőszerszám, szigetelőkesztyű (ahol a gyártó előírja), rendszerteszter, a gyártói javítási utasítás.
3. **Feszültségmentesítés:** A kormányt egyenesbe állítjuk. Gyújtás ki, kulcs eltávolítása. Az akkumulátor negatív (test) saruját lekötjük. Betartjuk a gyártói várakozási időt (jellemzően 1–10 perc; ellenőrizendő: gyártói javítási adat).
4. **Légzsák kioldása:** A kormánykerék hátoldalán lévő rugós reteszeket a gyártói módon, a kormány mögött nyomjuk el, majd a légzsákmodult a kormány tengelyétől elválasztva óvatosan kiemeljük. Eközben a modult soha ne tartsuk magunk felé fordítva.

5. **Csatlakozó bontása:** A gyújtóegység csatlakozóját a retesz kioldásával húzzuk szét; a modult a kinyíló oldalával felfelé, pormentes, nem éghető felületre helyezzük. Hordozáskor a modul kinyíló oldalát tartsuk a testtől elfelé; tárolni a gyártói előírás szerint, zárt, száraz helyen, hőforrástól, statikus feltöltődéstől és elektromos tértől távol szabad.

Környezetvédelem. A ki nem oldott légzsákmodul és övfeszítő pirotechnikai eszköz: kommunális vagy fémhulladékba tenni tilos; a gyártói eljárás szerint (szükség esetén szakszerű kioldás után) kell veszélyes hulladékként átadni (ellenőrizendő: hatályos hulladék- és robbanóanyag-szabályozás).



30.13. ábra. A kiszerelt, ki nem oldott légzsákmodul hordozása, letevése és tárolása: helyes és hibás helyzet

Az ábra a 4–5. lépés fogását mutatja: hordozáskor a kinyíló (burkolati) oldal a testtől elfelé néz, letételkor felfelé; a fordított helyzetben véletlen kioldáskor a zsák a test felé lövell, illetve a modul fellövődik. A HTML-változatban a helyes és a hibás helyzet között lehet váltani. 6. **Új modul beszerelése:** Az új modult a gyártói csavarokkal, előírt nyomatékkal rögzítjük (ellenőrizendő: gyártói nyomaték). A csatlakozót a biztosító retesz hallható kattanásáig nyomjuk. 7. **Visszaszerelés:** A modult az eredeti pozícióba visszapattintjuk; a kormánykerék-spirálkábelt

ne forgassuk el a helyéről. 8. **Villamos visszakapcsolás:** A negatív akkumulátorsaru visszaszerelése után a gyújtást ráadjuk a lehető legtávolabbról, úgy, hogy az utastérben ne tartózkodjunk a légzsák közvetlen közelében. Az SRS-lámpa működését megfigyeljük, majd rendszerteszterrel töröljük a hibakódot. 9. **Dokumentálás:** A munkalapon rögzítjük a cserélt modul azonosítóját, a meghúzási nyomatékot és a próbaindítás eredményét.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

30.4.10. Tipikus hibák

1. **Ellenállásmérés közvetlenül a gyújtóegységen. Tilos.** A hagyományos multiméter ohmfokozatához belső elem is tartozik, és a mérőáram elvileg begyújthatja a gyújtóegységet, vagy hibás értéket adhat. A gyártók olyan diagnosztikai eljárásokat írnak elő, amelyekkel a mérés az SRS-ECU-n keresztül, meghatározott eszközzel történik.
2. **Nem tisztelik a várakozási időt.** A gyújtás kikapcsolása és az akkumulátor lekötése után a rendszer energiája még a pufferkondenzátorban maradhat. Ha azonnal a légzsákcsatlakozóhoz nyúlunk, egy véletlen statikus kisülés elvileg begyújthatja a modult.
3. **A spirálkábelt rosszul igazítják.** A rosszul központozott spirálkábel a kormány teljes elfordításakor megfeszül és elszakad, ami a kormánygombok és a légzsák meghibásodásához vezet. A spirálkábel beszerelésekor a gyártó által megadott középhelyzetet kell beállítani (ellenőrizendő: a gyártói beállítási eljárás).
4. **A légzsákmodult erővel, feszítővassal veszik ki.** A modul kiszereléséhez mindig a gyári szerelési pozícióban lévő rugós reteszt vagy csavart kell oldani; a műanyag rugókat feszítővassal letörve a modul rögzítése bizonytalanná válik, és a zsák rossz irányba nyílhat.

30.4.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az utasoldali légzsákot mindig kikapcsolhatom, ha a gyerekülést menetirányba fordítva szerelik be. Indokold!
2. **Mi a szerepe a kormánykerék-spirálkábelnek?** Mi történik, ha nincs a gyártói középhelyzetben?
3. **Melyik művelet tilos közvetlenül a gyújtóegységen?** Mi a veszély?
4. **Miért kell várakozási időt tartani az akkumulátor lekötése után?** Mi ennek a feltétele?
5. **Mit jelez, ha az SRS-lámpa a gyújtás ráadása után 3 másodpercig világít, majd elalszik?**
6. **Hányadik lépésben csatlakoztatjuk vissza az akkumulátort a légzsákmodul cseréjekor?**

30.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a légzsákrendszer fő részeit az ütközésérzékelőtől a beavatkozóig!

2. feladat (A). Mi a különbség a pirotechnikai övfeszítő és az övszíjerő-határoló között?

3. feladat (B). Vázold lépésenként, hogyan feszültségmentesítesz egy légzsákrendszert az utasoldali modul cseréje előtt!

4. feladat (B). Rajzold le vagy írd le szövegesen a légzsákrendszer blokkdiagramját, amelyben szerepel a spirálkábel, a vezetőoldali légzsák, az SRS-ECU, a gyújtóegység és az ütközésérzékelő!

5. feladat (C). Egy frontális ütközésnél a jármű 60 km/h kezdeti sebességről 0,1 s alatt áll meg. Számítsd ki a lassulást m/s²-ben és g-ben! Miért fontos az SRS-ECU-nak néhány ezredmásodperc alatt döntenie?

6. feladat (D). Egy autóban az SRS-lámpa világít. A rendszerteszter a „vezetős légzsák gyújtóegység szakadás” hibáját írja ki. Melyik héten található meghibásodásokat ellenőriznéd, és milyen sorrendben? Mi az első biztonsági lépés a műszerfal mögötti csatlakozóhoz nyúlás előtt?

30.4.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A gyerekülést általában háttal szerelik a legkisebb gyerekeknél; a menetirányba fordított gyerekülésnél az utasoldali légzsákot nem kell kikapcsolni, sőt, annak védelme fontos. A gyárilag megadott esetben kikapcsolható, de mindig a gyártói utasítás a mérvadó.
2. A spirálkábel a kormánykerék elfordulása közben tartja a villamos kapcsolatot a kormányba épített légzsák és a helyhez kötött kábelköteg között. Ha rossz helyzetben szerelik, a kormány elfordításakor a vezetékcsík elszakad, és a légzsák, a duda vagy a multimédia-gombok kimaradnak.
3. **Tilos** a gyújtóegységen ellenállásmérővel közvetlenül mérni, mert a mérőáram elvileg begyújthatja. Csak a gyártói diagnosztikai eljárásban megadott módszert használhatjuk.
4. Várakozási idő kell, mert az SRS-ECU pufferkondenzátorában tárolt energia a lekötés után is begyújthatná a rendszert. A várakozási idő után a feszültség biztonságos szintre csökken.
5. Ez a normál önellenőrzés jele; a rendszer üzemképes. Ha menet közben ismét kigyulladna, az hibát jelent.
6. A légzsákmodul visszaszerelése és a csatlakozó vissza pattintása után.

1. feladat (A) megoldása. A légzsákrendszer fő részei: ütközésérzékelők (gyorsulás- és nyomásjeladók), SRS-vezérlőegység (ECU), gyújtóegységek (squib), légzsákmodulok, övfeszítők, övszíjerő-határolók, kormánykerék-spirálkábel, valamint az SRS-visszajelző lámpa.

2. feladat (A) megoldása. A pirotechnikai övfeszítő egy gázfejlesztővel vagy dugattyúval az ütközés elején meghúzza az övet, hogy a test ne mozduljon előre. Az övszíjerő-határoló ezzel szemben a feszítés után egy kicsit engedi az övet, hogy a bordákat ne terhelje túl nagy erő; a kettő együtt szabályozza a visszatartást.

3. feladat (B) megoldása. Feszültségmentesítés lépései: 1. Gyújtás ki, kulcs eltávolítása. 2. Az akkumulátor negatív (test) pólusának lekötése. 3. A gyártói várakozási idő betartása (pl. jellemzően 1–10 perc; ellenőrizendő: gyártói javítási adat). 4. A pirotechnikai csatlakozók elválasztása, a rövidre záró sönt figyelembevételével. 5. A légzsákmodul gyártói reteszeinek oldása, a modul kinyíló oldalával felfelé tárolva.

4. feladat (B) megoldása. A blokkdiagram szöveges leírása: Az ütközésérzékelő jele az SRS-ECU-hoz érkezik. Az SRS-ECU a kormánykerék-spirálkábellel ellátott vezetéken keresztül áramot vezet a vezetőoldali légzsák gyújtóegységére. A gyújtóegység begyújt, és a modul kinyílik. Az SRS-visszajelző lámpa a vezérlőegységtől kap jelet. Az ábrán az SRS-ECU külön csatlakozója köti össze a gyújtóegységgel.

5. feladat (C) megoldása. Adott: $v_0 = 60\,\text{km/h} = 16{,}7\,\text{m/s}$, $v_1 = 0$, $t = 0{,}1\,\text{s}$. Képlet: $a = \frac{v_1 - v_0}{t}$. Behelyettesítés: $a = \frac{0-16{,}7}{0{,}1} = -167\,\text{m/s}^2$. Ez $167/9{,}81 \approx 17{,}0\,g$. Az SRS-ECU-nak azért kell néhány ezredmásodperc alatt döntenie, mert ekkora lassulásnál 10 ms késés is azt jelentheti, hogy a zsák már nem a test elé fúvódik fel, hanem a test a kormányhoz csapódik.

6. feladat (D) megoldása. Először a legvalószínűbb hibaforrásokat ellenőrizzük: a kormány alatti spirálkábel csatlakozóját, a kormányoszlopban futó vezetéket, valamint a kormánykerék hátoldalán lévő modul csatlakozóját. Az első biztonsági lépés a műszerfal mögötti csatlakozóhoz nyúlás előtt a gyújtás kikapcsolása és az akkumulátor negatív pólusának lekötése, majd a gyártói várakozási idő betartása. Ezt követően ellenőrizzük a lehetséges csatlakozókat, majd a gyártói útmutatás szerint a gyújtóegység ellenállását célszerszámmal.

30.4.14. Rövid összefoglaló

A légzsákrendszer passzív biztonsági egység, amely az ütközésérzékelők jeleiből felismeri a balesetet, és pirotechnikai gyújtóegységekkel légzsákot vagy övfeszítőt indít. A vezérlőegység önmagát ellenőrzi; az SRS-lámpa normál esetben néhány másodperc után elalszik, hiba esetén folyamatosan világít. A gyújtóegység robbanékony alkatrész, ezért közvetlenül ellenállásmérővel **tilos** mérni. Javítás előtt gyújtás ki, akkumulátor negatív pólusa le, és a gyártói várakozási idő betartása kötelező. A kormánykerék-spirálkábel a kormány elfordulása közben tartja a kapcsolatot, ezért csak a gyártói középhelyzetből szabad beszerelni. A rendszer biztonságos kezelését az Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezetben fogjuk alkalmazni.

Továbbvitt eredmény. A légzsákrendszeren kizárólag feszültségmentesített állapotban, a gyártói várakozási idő betartása után, pirotechnikai egységen közvetlen mérés nélkül dolgozunk. Ez a módszertan alapozza meg a későbbi Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezetben található biztonsági eljárásokat.

30.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt működési elvek a járművek általános légzsáktechnikájának tananyaga. A konkrét ENSZ-EGB előírások (ECE R94, R95, R16), a várakozási idő, a meghúzási nyomatékok és a diagnosztikai teszteszközök pontos adatai gyártónként és típusonként eltérnek, ezért a kiadás előtt ellenőrizendők. A munkavégzésre minden esetben a gyártói javítási utasítás és a hatályos munkavédelmi előírás a mérvadó.

31 Elektronikus motorirányítás

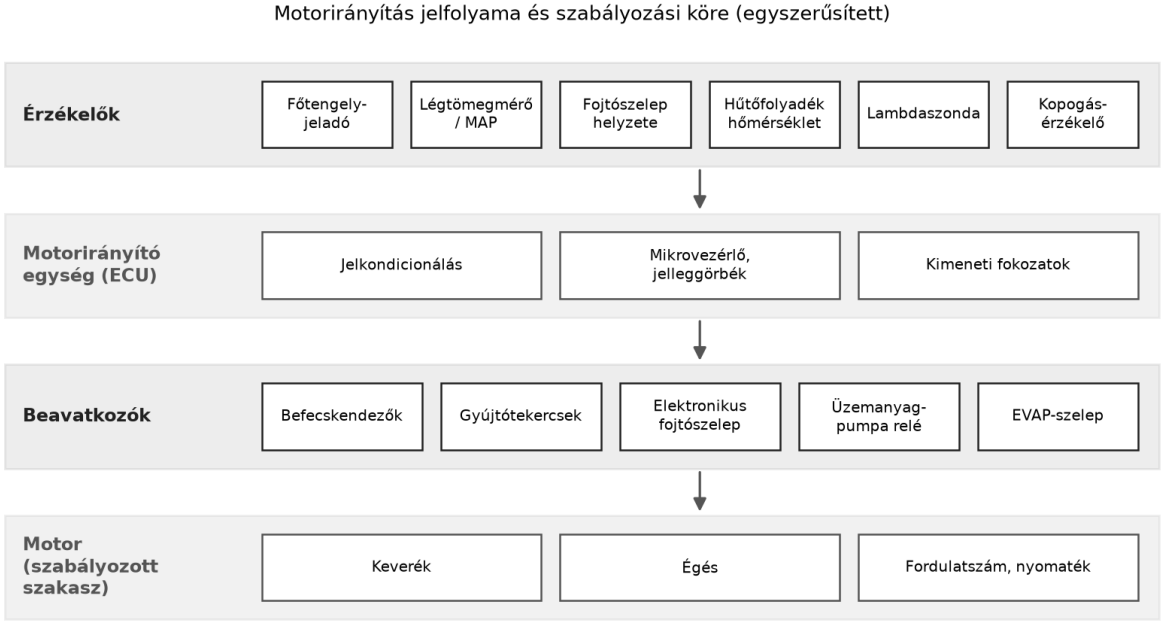
31.1. A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek

31.1.1. Motiváció: mikor kell motorirányítási ismeret a műhelyben?

Ügyfél panasza: „reggel nehezen indul, alapjáraton remeg, a motorhiba-lámpa világít, és mintha többet fogyasztana". A rendszerteszter P0171-es, P0300-as vagy P0118-as hibakódot mutat. Ilyenkor haszontalan csak a kódot törölni, vagy találomra alkatrészt cserélni. Meg kell értenünk, hogyan dolgozza fel a motorirányító egység (ECU, Engine Control Unit) az érzékelők jeleit, hogyan ismeri fel az üzemállapotot, és hogyan vezérli a befecskendezést, gyújtást és a járulékos rendszereket. E nélkül a diagnosztikai élő adatokat sem tudjuk értelmezni, és a javítás vaktában történő alkatrészcsere lesz.

31.1.2. Szemléletes kép: a motorirányítás jelfolyama

A motorirányítás lelke a **jelfolyam**: az érzékelők mérik a motor pillanatnyi állapotát, az ECU a jeleket feldolgozza, és a beavatkozókat úgy vezérli, hogy az üzemállapotnak megfelelő keverék és gyújtás jöjjön létre. Az alábbi rétegábra a jellemző felosztást mutatja:



31.1. ábra. Motorirányítás jelfolyama és szabályozási köre (egyszerűsített) - Szemléltető ábra; a konkrét érzékelők és beavatkozók gyártó- és típusfüggőek. A motor állapotát ismét az érzékelők mérik – ez zárja a szabályozási kört.

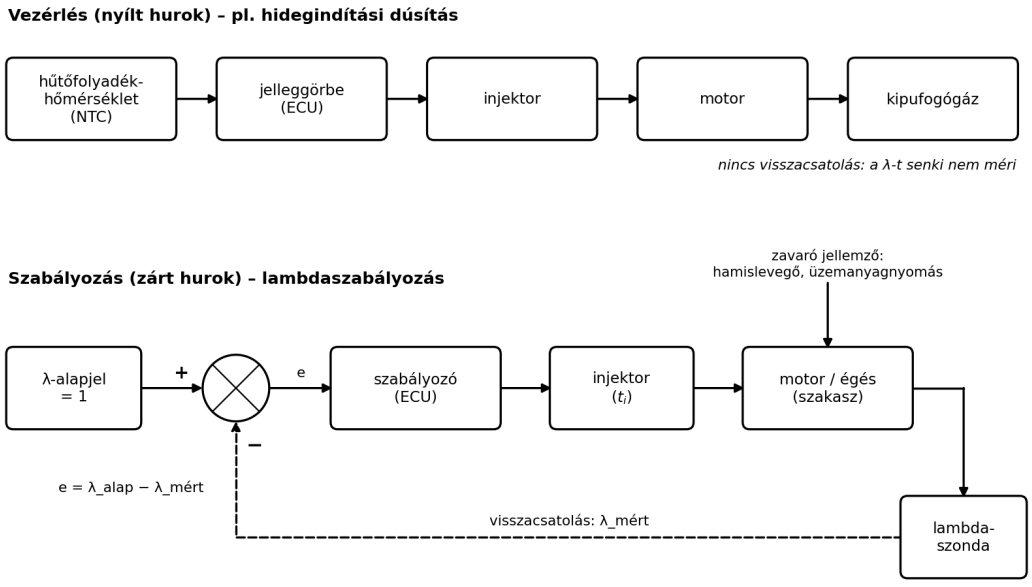
Az ábra felső rétege az **érzékelőket** mutatja: ezek szolgáltatják a nyers jeleket. A középső réteg az **ECU**, ahol a jelek feldolgozása és a döntések megszületnek. A harmadik réteg a **beavatkozókat** tartalmazza: ezek hajtják végre a parancsokat. A legalsó réteg maga a **motor**, a szabályozott szakasz: itt alakul ki a keverék, az égés és a fordulatszám. A nyilak a jelfolyam irányát jelzik: a beavatkozók felől nincs közvetlen visszacsatolás, a motor állapotát ismét az érzékelők mérik – ez zárja a szabályozási kört.

31.1.3. Alapfogalmak és definíciók

A motorirányítás megértéséhez először két alapvető irányítási módot kell megkülönböztetnünk.

Definíció. Vezérlés (nyílt hurok, open loop). Olyan irányítási folyamat, amelyben a kimenetet közvetlenül a bemeneti jelek alapján, előre meghatározott jelleggörbék vagy program szerint állítják be, anélkül hogy a kimeneti jellemzőt mérnék és hasonlítanák össze a kívánt értékkel. Példa: hidegindításkor az ECU a hűtőfolyadék-hőmérséklet alapján dús keveréket állít be, de nem méri közvetlenül az égés λ-ját.

Definíció. Szabályozás (zárt hurok, closed loop). Olyan irányítás, amelyben a kimenő jellemzőt (például a kipufogógáz oxigéntartalmát, a fordulatszámot, a kopogást) mérik, és ezt a mért értéket összehasonlítják a kívánt alapértékkel. Az eltérés (hibajel) alapján a vezérlő módosítja a beavatkozó jelet. Példa: a lambdaszabályozás, amelyben az elő-katalizátor lambdaszonda jeléből az ECU folyamatosan korrigálja a befecskendezési mennyiséget.



31.2. ábra. Nyílt hurkú vezérlés (hidegindítási dúsítás) és zárt hurkú lambdaszabályozás hatásvázlata

A felső sávban a jel csak előre halad: a hőmérséklet alapján számolt befecskendezés eredményét senki nem méri. Az alsó sávban az összegző a $\lambda = 1$ alapjelből és a lambdaszonda által mért értékből képzi az $e = \lambda_{\text{alap}} - \lambda_{\text{mért}}$ hibajelet, a szabályozó ebből módosítja a befecskendezési időt, a szaggatott visszacsatoló ág pedig bezárja a kört. A zavaró jellemző (hamislevegő, üzemanyagnyomás) a szakaszra hat. A HTML-változat lépésenként végigvezet a jelúton, az

utolsó lépés pedig megmutatja, hogy hamislevegőnél a szabályozás növeli a befecskendezési időt, a vezérlés nem korrigál.

Definíció. Motorirányító egység (ECU). Elektronikus vezérlőegység, amely a motorérzékelők jeleit fogadja, azokat feldolgozza, és a motor beavatkozóit (befecskendezők, gyújtótekercsek, fojtószelep-állító, relék, szelepek) vezérli.

A motorirányítás **jelfolyama** tehát három lépésből áll: `érzékelők → ECU → beavatkozók`. A zárt szabályozási körökben ezt kiegészíti a motor (szabályozott szakasz) és a visszavezető érzékelő. A vezérlési ág nyitott, a szabályozási ág zárt hurkot alkot.

Továbbvitt eredmény. Ez a jelfolyam a kiindulópontja a Érzékelők és jeladók alfejezetnek, ahol az egyes jelek típusait és karakterisztikáit elemezzük, és a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD alfejezetnek, ahol a hibakódok, élő adatok és a fagyott keret (freeze frame) értelmezése éppen ezen a jelfolyamon alapul.

31.1.4. A keverékképzés feltételei és a motorirányítás feladatai

A belső égésű motorban a keverékképzésnek több, egymásnak részben ellentmondó követelményt kell teljesítenie:

- **Indíthatóság:** hideg motoron a benzin rosszul párolog, ezért dús keverék és nagyobb befecskendezési idő szükséges.
- **Károsanyag-kibocsátás:** a háromutas katalizátor csak $\lambda \approx 1$ körül működik hatékonyan, ezért a fő üzemi tartományban az ECU lambdaszabályozással tartja a keveréket (lásd Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás).
- **Teljesítmény és égésvédelem:** teljes terhelésen dúsabb keverékre van szükség ($\lambda \approx 0{,}85 \dots 0{,}9$) a maximális teljesítmény és az égéstér hűtése érdekében.
- **Gazdaságosság:** részterhelésen a legjobb fogyasztást a lehető legkisebb tüzelőanyag-többlettel, de még biztonságos égés mellett érjük el.
- **Tranziens viselkedés:** gyorsításkor a szívócsőben lerakódott tüzelőanyag-film kompenzálása miatt átmeneti dúsítás szükséges.

Az ECU tehát nem egyszerűen „több vagy kevesebb benzint” adagol, hanem minden pillanatban azonosítja az üzemállapotot, kiszámítja a szükséges levegő–tüzelőanyag arányt és gyújtási szöget, majd a beavatkozókat ennek megfelelően vezérli. A befecskendezési idő alapegyenlete:

$$t_i = \frac{m_B}{\dot{m}_B},$$

ahol t_i a befecskendezési idő (ms), m_B a szükséges tüzelőanyag-tömeg (g), $\dot{m}_B$ az injektor tényleges tömegárama (g/s). A szükséges tüzelőanyag-tömeg a hengertöltésből és a megcélzott légviszonyból adódik:

$$m_B = \frac{m_L}{\lambda \cdot L_{st}},$$

ahol m_L a hengerbe jutó levegő tömege (g), λ a légviszony, $L_{st} \approx 14{,}7$ a benzin sztöchiometrikus levegőigénye (kg levegő / kg tüzelőanyag). Ezt a számítást az Szívócső-befecskendezés alfejezetben alapoztuk meg.

31.1.5. A vezérlőegység felépítése

A motorvezérlő ECU felépítése funkcionálisan négy fő egységre bontható.

1. Bemeneti szakasz – jelkondicionálás. A bejövő jelek három nagy csoportba sorolhatók:

- **Analóg jelek:** hőmérséklet-érzékelők (NTC), légtömegmérő, szívócsőnyomás, lambda-szonda. Ezeket az ECU analóg–digitális átalakítója (A/D) digitalizálja, gyakran előerősítés és szűrés után.
- **Digitális jelek:** kapcsolók, fojtószelep-alapálláskapcsoló, Hall-jeladó jele, indítási engedély. E jelek logikai 0/1 szintűek.
- **Frekvencia- vagy impulzusjelek:** induktív fordulatszám-jeladó, kerékfordulatszám-jeladó, kopogásérzékelő (rezgésjel). Az ECU a jelfrekvenciát vagy a jel időbeli lefutását értékeli.

A bemeneti szakasznak védelmet kell nyújtania a túlfeszültség, a fordított polaritás és az elektromágneses zavarok ellen.

2. Mikrovezérlő és memória. A digitalizált jeleket a mikrovezérlő dolgozza fel. A memória szerepe:

- **ROM vagy Flash:** a program és az alapjelleggörbék (lookup table-ek) tárolása.
- **RAM:** a futó számítások és az aktuális mért értékek ideiglenes tárolása.
- **EEPROM:** az adaptációs értékek, tanult jellemzők, hibakódok és a járműspecifikus adatok tartós tárolása.

A **jelleggörbe** (térkép, map) lényege: a vezérlő nem minden egyes pontot számol ki analitikusan, hanem előre betárolt táblázatokból interpolál. Például a befecskendezési alapmennyiséget a légtömeg és a fordulatszám kétdimenziós táblázatából, a gyújtási szöget a fordulatszám és a terhelés függvényében tárolt gyújtási térképből veszi.

3. Kimeneti fokozatok. Az ECU a beavatkozókat teljesítményfokozatokon keresztül vezérli:

- **Földelő kapcsolás:** befecskendezők és gyújtótekercsek esetén az ECU a test felé kapcsolja az áramkört (a plusz a gyújtáskapcsolás után, kapocs `15` feszültségén van).
- **H-híd:** elektronikus fojtószelep-állító, EGR-szelep, turbógeometria-mozgató esetén mindkét irányú mozgatást tesz lehetővé.
- **PWM (impulzusszélesség-moduláció):** arányos beavatkozók, például alapjárati levegőszelep, ventilátor-fordulatszám vagy fojtószelep-rásegítés vezérlésére.

4. Kommunikációs interfész. Az ECU a jármű többi vezérlőjével adatbuszon (például CAN) kommunikál, a diagnosztikai műszerrel pedig a diagnosztikai csatlakozón keresztül tart kapcsolatot.

Vészüzem (limp home). Ha az ECU a kritikus bemeneti jelekben hibát észlel, vagy a rendszerben olyan állapot lép fel, amely a motor károsodását okozhatná, a motorirányítás **vészüzemi programra** vált. Ilyenkor a vezérlő rögzített alapértékekkel dolgozik, gyakran letiltja a szabályozási funkciókat, csökkenti a teljesítményt és a fordulatszámot, hogy a járművel biztonságosan el lehessen jutni a szervizbe. A vészüzem célja a további károsodás megelőzése, nem a teljesítmény fenntartása.

Előírás. A motorirányító rendszereknek teljesíteniük kell a mindenkori uniós típusjóváhagyási és fedélzeti diagnosztikai (EOBD) követelményeket, beleértve a károsanyag-kibocsátás és a hibakódok elérhetőségének előírásait is (ellenőrizendő: az aktuális EU-rendelet és ECE-előírások). A kibocsátáscsökkentő rendszerek (katalizátor, lambda-szabályozás, EVAP) eltávolítása vagy manipulálása tilos.

31.1.6. Üzemállapotok vezérlése és szabályozása

Az ECU a motor **üzemállapotát** a mért jelekből azonosítja. A leggyakoribb üzemállapotok és azok kezelési stratégiája a következő.

Hidegindítás. A hűtőfolyadék-hőmérséklet alacsony, a fordulatszám akár 300–500 1/min az indítás pillanatában. Az ECU dús keveréket ($\lambda < 1$), nagyobb befecskendezési időt és emelt alapjárati fordulatszámot állít be. A gyújtási szöget gyakran késlelteti, hogy a katalizátor gyorsabban elérje az üzemi hőmérsékletet. Ez tipikus **vezérlés**, mert a lambdaszonda még hideg, és a katalizátor sem tudja ellátni feladatát.

Bemelegedés. A hőmérséklet növekedésével a dúsítás fokozatosan csökken, majd amint a lambdaszonda és a katalizátor eléri az üzemi feltételeket, az ECU átvált **lambdaszabályozásra** (zárt hurok). A bemelegedés tehát átmenet a nyílt hurokról a zárt hurokra.

Alapjárat. A fojtószelep alaphelyzetben van, a fordulatszámot az ECU **alapjárat-szabályozással** tartja. A zárt hurkú szabályozás a kívánt alapjárati fordulatszámot a hűtőfolyadék-hőmérséklet, a klíma, a villamos fogyasztók és a sebesség függvényében határozza meg, a tényleges fordulatszámot a főtengely-jeladóból méri. Eltérés esetén a levegő- vagy gyújtásoldali beavatkozással korrigál.

Részterhelés. Ez a legnagyobb üzemidőtartam. A motorvezérlő λ=1 szerinti keveréket és gazdaságos gyújtási szöget állít be. A lambdaszabályozás zárt hurokban működik, a katalizátor maximális konverziós hatásfokot biztosít. A befecskendezési mennyiséget a légtömeg vagy a szívócsőnyomás alapján számított hengertöltés és a λ=1 kívánt érték határozza meg.

Teljes terhelés. A fojtószelep teljesen nyitott, a fordulatszám és a terhelés magas. A maximális teljesítmény eléréséhez az ECU dús keverékre vált ($\lambda \approx 0{,}85 \ldots 0{,}9$), és a gyújtási szöget a maximális nyomatékhoz, illetve a kopogáshatárhoz igazítja. A lambda-szabályozás ilyenkor felfüggesztődik, mert a kívánt λ nem 1, és a szonda jelét nem lehet közvetlenül a keverékhez felhasználni.

Gyorsítás (tranziens üzemállapot). A fojtószelep hirtelen nyitásakor a levegő tömege azonnal megnő, de a szívócső falán lerakódott benzinfilm lassabban követi a változást. Emiatt átmeneti **dúsítást** alkalmaz az ECU, hogy a hengerbe érkező keverék ne legyen szegény. A kompenzáció mértéke hőmérséklet-, fordulatszám- és terhelésfüggő.

Motorfék. A vezető felengedi a gázpedált, a fojtószelep zár. Az ECU leállítja a befecskendezést (deceleration fuel cut-off), így csökken a fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás. Újabb gázadáskor vagy a fordulatszám alapjárat közelébe esésekor a befecskendezés zökkenőmentesen visszakapcsol.

Kopogásszabályozás. A kopogásérzékelő rezgésjeléből az ECU felismeri a kopogást. Ez **zárt szabályozási hurok**, amely kopogáskor a gyújtási szöget fokozatosan késlelteti, amíg a kopogás megszűnik, majd lassan visszatér az optimális szög felé. Ezzel a motor a lehető legjobb hatásfokkal üzemel a kopogáshatáron, anélkül hogy károsodna.

31.1.7. Történeti pillantás: elektronikus vezérlésű karburátor

A mai motorirányítás megértéséhez érdemes megemlíteni a múltbeli átmeneti rendszert. Az **elektronikus vezérlésű karburátor** (például az 1980-as évek bizonyos Bosch Ecotronic rendszerei; ellenőrizendő: pontos elnevezés és évjárat) a karburátoros alapadagolást megtartotta, de a hidegindítást, az alapjárati levegőt és a gázpedál-állás szerinti korrekciót már elektronikusan vezérelte. A fő adagolás azonban továbbra is mechanikus volt, így a pontossága messze elmaradt

a későbbi befecskendező rendszerektől. A rendszer ma már ritka, de régi járművön a működés elve hasonló: elektronikus korrekció egy mechanikus alaprendszeren.

31.1.8. Integrált motorirányító rendszerek: Motronic és EDC

A modern motorirányításban a befecskendezést és a gyújtást közös vezérlőegység, illetve koordinált rendszer irányítja.

Motronic típusú benzinrendszerek. A Bosch Motronic (rendszermegnevezés) a szívócső-befecskendezést és a gyújtást egyetlen ECU-ban egyesíti. A közös vezérlés előnye, hogy a befecskendezési idő és a gyújtási szög ugyanabban a jelleggörberendszerben, ugyanazon mért jelek alapján határozható meg. A Motronic rendszerekben a befecskendezés lehet hengerenkénti (MPi), később közvetlen befecskendezés (MED), a gyújtás pedig teljesen elektronikus. Az ECU a lambda-szabályozást, az alapjárat-szabályozást, a kopogásszabályozást, a EVAP-vezérlést és az indításgátlóval való kommunikációt is kezeli. A mai benzinmotoros rendszerek az ebből az elvből fejlődtek tovább.

EDC típusú dízelrendszerek. Az EDC (Electronic Diesel Control) gyűjtőfogalom a dízelmotorok elektronikus irányítására. A történeti fejlődésben több generációt különböztetünk meg:

- **Soros adagolószivattyú elektronikus szabályozás:** a szivattyú mechanikus alapadagolását elektronikus állítómotorok szabályozták a jelleggörbék szerint.
- **Elosztós befecskendezőszivattyú:** az elektronika a szivattyú belső adagoló elemét és az injektálási időzítést vezérelte, pontosabb légszámítással.
- **PDE (pumpa–fúvóka, Pumpe-Düse, egységbefecskendező):** hengerenként egy-egy, a bütyök által működtetett befecskendezőegység, amelyet az EDC elektronikusan váltott mágnesszeleppel vezérel.
- **Common Rail EDC:** a ma leggyakoribb rendszer. A nagynyomású szivattyú a közös nyomócsőbe (rail) szállít, a nyomást az ECU szabályozza (nyomásszabályzó vagy nyomáskorlátozó szeleppel), az injektorok pedig elektronikusan, nagy sebességgel nyitják a befecskendezést. Az EDC itt a légtömeg, a boostnyomás, az EGR, a turbógeometria és a részecskeszűrő-regeneráció vezérlését is koordinálja.

A dízelmotorokban nincs gyújtás, ezért az EDC fő feladata a befecskendezési mennyiség, a befecskendezési időpont, a többszöri elő- és utóbefecskendezés, a nyomás és a levegőellátás vezérlése. A common rail rendszerben a mágnesszelepes befecskendezőket az ECU emelt (boost) feszültséggel, jellemzően több tíz volttal és több tíz amperes csúcsárammal nyitja, majd kisebb tartóárammal tartja nyitva; a piezoinjektorokat 100–200 V körüli feszültséggel működteti (ellenőrizendő: gyártói adat). Ezért az ECU kimeneti fokozatai nagy áram- és feszültségtűrésűek, és járó motornál az injektorcsatlakozót nem bontjuk, nem érintjük. (A „HV” jelölés a könyvben az elektromos hajtás nagyfeszültségű rendszerét jelenti, nem ezt.)

Figyelem. A common rail dízelrendszer nagynyomású oldalán üzemi nyomás akár 1600–2500 bar is lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A nagynyomású csöveket és befecskendezőket járó motor mellett, illetve nyomás alatt **tilos** megbontani. A sugár bőrbe hatolva súlyos, akár végleges sérülést okoz. Bármilyen szerelés előtt a rendszer nyomásmentesítése a gyártói javítási utasítás szerint kötelező.

31.1.9. Kidolgozott példák

1. példa – Üzemállapot-felismerés mérési adatokból. Az ECU a következő jeleket méri:

- Hűtőfolyadék-hőmérséklet: 20 °C;
- főtengely-fordulatszám: 1200 1/min;
- fojtószelepállás: 0% (alapállás);
- gázpedál: nincs lenyomva;
- járműsebesség: 0 km/h;
- a lambda-szonda jele még nem aktív.

Melyik üzemállapotban van a motor?
A fojtószelep zárt, a fordulatszám az alapjáratinál kissé magasabb, a jármű áll, a szonda hideg. Ez a **hidegindítás utáni emelt alapjárat** (bemelegedési szakasz). Az ECU dús keveréket és emelt alapjárati fordulatszámot alkalmaz; ez még nyílt hurkú vezérlés. A hőmérséklet emelkedésével a fordulatszám csökken, a lambdaszabályozás bekapcsol.

2. példa – Befecskendezési idő durva becslése. Adott egy 4 hengeres, szívócső-befecskendezéses Otto-motor. Alapjáraton az ECU által számított hengerenkénti levegőtöltés $m_L = 0{,}12$ g ciklusonként. A cél légviszony $\lambda = 1{,}0$, a benzin sztöchiometrikus levegőigénye $L_{st} = 14{,}7$. Az injektor statikus tömegárama $\dot{m}_B = 2{,}4$ g/s. Mennyi a szükséges befecskendezési idő?

Megoldás. A szükséges tüzelőanyag-tömeg:

$$m_B = \frac{m_L}{\lambda \cdot L_{st}} = \frac{0{,}12 \text{ g}}{1{,}0 \cdot 14{,}7} \approx 0{,}00816 \text{ g}.$$

A befecskendezési idő:

$$t_i = \frac{m_B}{\dot{m}_B} = \frac{0{,}00816 \text{ g}}{2{,}4 \text{ g/s}} \approx 0{,}0034 \text{ s} = 3{,}4 \text{ ms}.$$

A kapott 3,4 ms nagyságrendileg reális alapjárati befecskendezési idő (szívócső-befecskendezésnél jellemzően 2–4 ms; ellenőrizendő: gyártói adat). Alapjáraton a szívócső nyomása kicsi, ezért egy 0,5 l-es hengerbe csak kb. 0,1–0,15 g levegő jut; teljes töltésnél kb. 0,55–0,6 g, és ott a befecskendezési idő is többszöröse. A pontos érték minden motornál gyártói adat. A példa tanulási célú; az injektor átfolyása nyomásfüggő.

31.1.10. Minőségellenőrzés a műhelyben

A motorirányítás ellenőrzésekor a **rendszerteszter** a legfontosabb eszköz. A vizsgálati sorrend:

1. **Hibakód-tároló kiolvasása:** az ECU által tárolt hibakódok, valamint a fagyott keret (freeze frame) adatok megadják, melyik jelfolyam szakaszon észlelt hibát a rendszer.
2. **Élő adatok megtekintése:** hűtőfolyadék-hőmérséklet, légtömeg vagy szívócsőnyomás, fordulatszám, fojtószelepállás, lambda-jel, befecskendezési idő, gyújtási szög, alapjárati szabályozó állás. A mért értékeket a gyártói ésszerű tartományokhoz hasonlítjuk (például hideg motornál a hűtőfolyadék-hőmérséklet megközelíti a környezeti hőmérsékletet, alapjáraton a lambda-szabályozási faktor 0,9–1,1 körül ingadozik; ellenőrizendő: gyártói adat).

3. **Beavatkozó tesztek:** a diagnosztikai műszerrel aktiválhatjuk a befecskendezőket, a gyújtótekercseket, az EVAP-szelepet, az alapjárat-szabályozót, és hallható/látható visszaigazolást kapunk.
4. **Vészüzem ellenőrzése:** ha az ECU vészüzembe váltott, a hibakódot meg kell szüntetni, majd az adaptációs értékek visszaállítása után próbaúttal ellenőrizni a rendszert.

31.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy benzinüzemű autó reggelente nehezen indul, alapjáraton remeg, és a kipufogóból enyhe benzinszag érződik. A rendszerteszter P0118 hibakódot mutat: „hűtőfolyadék-hőmérséklet szenzor jel áramkör – magas bemenet”. Az élő adatoknál a mért hűtőfolyadék-hőmérséklet $-40\,^{\circ}\mathrm{C}$, miközben a motorház és a környezet hőmérséklete $+20\,^{\circ}\mathrm{C}$. A műszer szerint a szonda hideg.

Hibakeresési lánc. A tünet és a kód alapján a lehetséges okok: szakadt vezeték a szenzor és az ECU között, rossz csatlakozó, vagy maga a szenzor belső szakadása. Az ECU a hibás jelet rendkívül hidegnek értelmezi, ezért **hidegindítási dúsítást** alkalmaz, ami magas fogyasztást és rossz égést okoz. A hibakeresés során a szenzor csatlakozójánál a referenciafeszültség (jellemzően 5 V) és a jelvezeték folytonosságát mérjük, majd a szenzor ellenállását hőmérsékletfüggően. A mért ellenállás végtelen, ami belső szakadást jelez. A szenzort cseréljük, a hibakódot töröljük, a readiness teszteket lefuttatjuk, és próbaúttal ellenőrizzük, hogy a hőmérséklet-jel követi a motorhőmérsékletet. A tanulság: a motorirányítás egyszerű NTC-hibája is teljesen felboríthatja a keverékképzést, mert az ECU a hidegindítási stratégiát alkalmazza a valós meleg motornál.

31.1.12. Tipikus hibák

1. **Vezérlés és szabályozás összekeverése.** Gyakori hiba, hogy a szerelő minden elektronikus beavatkozást „szabályozásnak” nevez. A hidegindítási dúsítás például **nyílt hurkú vezérlés**, mert nincs mérési visszacsatolás az égés λ-jára. Az ECU itt a hőmérséklet-jel alapján, jelleggörbéből adja a többlet benzint. A lambdaszabályozás ezzel szemben zárt hurok, mert a szonda jele alapján folyamatosan korrigál.
2. **Csak a hibakódra hagyatkozás.** A hibakód nem azonos a hibás alkatrésszel; csak a hibás áramkörre vagy rendszerre utal. P0171 (keverék szegény) esetén sokan azonnal lambdaszondát cserélnek, pedig a hiba lehet szívóoldali hamislevegő, alacsony üzemanyagnyomás vagy hibás légtömegmérő is. Mindig kell élő adat és célzott mérés.
3. **A tápellátás és a test ellenőrzésének kihagyása.** Mielőtt az ECU-t cserélnénk, mindig mérni kell a `30` (állandó plusz), `15` (gyújtás utáni plusz) és `31` (test) kapcsok feszültségét, illetve a földelési pontok átmeneti ellenállását. A rossz test sok furcsa, kódszerűen nehezen értelmezhető hibát okoz.
4. **Nyomás alatt megbontott üzemanyagrendszer.** Benzinbefecskendezésnél a rendszerben maradéknyomás lehet, a common rail dízel nagynyomású oldalán pedig életveszélyes nyomás. A rendszer nyomásmentesítése a gyártói utasítás szerint kötelező; a befecskendező csövek megbontása nyomás alatt tilos.
5. **Vészüzem feloldása hibakód-törléssel.** Ha az ECU vészüzembe váltott, a hibakód törlése önmagában nem oldja meg az okot, és ha a hiba továbbra is fennáll, a vészüzem visszatér. Mindig a kiváltó hibát kell javítani, majd az adaptációkat újra tanítani.

31.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A motorirányítás minden üzemállapotban zárt hurkú szabályozást alkalmaz. Indokold röviden.

2. Sorold fel az ECU jelbeviteli típusait, mindegyikre egy példával.
3. Mi a különbség a Motronic és az EDC között?
4. Mit jelent a **limp home** üzemmód?
5. Hidegindításkor dús vagy szegény keveréket állít be az ECU, és ez vezérlés vagy szabályozás?
6. Miért alkalmaz az ECU teljes terhelésnél dúsítást?

31.1.14. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a **vezérlést** és a **szabályozást**, és adj mindegyikre egy példát a motorirányításból.

2. feladat (A)
Sorold fel az ECU négy fő funkcionális egységét, és írd le mindegyiknek egy jellemző alkatrészét vagy feladatát.

3. feladat (B)
Egy motor hidegindításakor a hűtőfolyadék-hőmérséklet $-10\,^{\circ}\mathrm{C}$. Az alap befecskendezési idő 8,0 ms, a hidegindítási korrekciós tényező a jelleggörbéből +40%. Mennyi a korrigált befecskendezési idő? (A számítás egyszerű, de a korrekció értéke tanulási példa, a valóságban a pontos jelleggörbe gyártói adat.)

4. feladat (B)
Egy 4 hengeres Otto-motor alapjáraton 800 1/min fordulatszámon jár. Az ECU által számított hengerenkénti levegőtöltés 0,12 g, a cél légviszony $\lambda = 1{,}0$, a benzin sztöchiometrikus levegőigénye 14,7. Az injektor statikus tömegárama 2,0 g/s. Számítsd ki a befecskendezési időt ms-ban.

5. feladat (C)
Magyarázd el, miért alkalmaz az ECU teljes terhelésnél dúsítást ($\lambda \approx 0{,}85 \ldots 0{,}9$), és mi történik akkor, ha ez a dúsítás hibásan elmarad. Milyen műszerrel lehet a valós λ-t ellenőrizni ebben az üzemállapotban?

6. feladat (D)
Egy autó hidegindítás után állandóan magas alapjárati fordulatszámon jár, a kipufogóból fekete füst áramlik. A diagnosztikai műszer P0118 hibakódot mutat, az élő adatokban a hűtőfolyadék-hőmérséklet $-40\,^{\circ}\mathrm{C}$ (környezeti hőmérséklet $+25\,^{\circ}\mathrm{C}$). Határozd meg a hibakeresési láncot: tünet, hipotézis, mérés, ok, javítás, ellenőrzés, megelőzés.

31.1.15. Megoldások

31.1.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A hidegindítás és a bemelegedés egy része nyílt hurkú **vezérlés**, mert a lambda-szonda hideg, és nincs visszacsatolás. A lambda-szabályozás, az alapjárat-szabályozás és a kopogásszabályozás viszont zárt hurkú.
2. **Analóg jelek:** hűtőfolyadék-hőmérséklet (NTC), légtömeg. **Digitális jelek:** fojtószelep-alapálláskapcsoló, gyújtáskapcsolás. **Frekvencia/impulzusjelek:** főtengely-fordulatszám, kopogásérzékelő.
3. A **Motronic** a benzinmotorok integrált befecskendezés- és gyújtásirányítása; az **EDC** a dízelmotorok elektronikus befecskendezés-irányítása (soros, elosztós, PDE, common rail). A fő különbség a gyújtás megléte, illetve a dízelnél a nagynyomású befecskendezési stratégia.
4. A **limp home** (vészüzem) rögzített alapértékekkel dolgozó, csökkentett teljesítményű üzemmód, amely a jármű biztonságos szervizbe juttatását és a motor további károsodásának megelőzését szolgálja.

5. Hidegindításkor **dús** keveréket állít be, és ez **vezérlés** (nyílt hurok), mert a lambdaszonda még nem működik.
6. Teljes terhelésen a maximális teljesítmény, az égés biztonsághoz és az égéstér hűtéséhez dúsabb keverékre van szükség; a $\lambda < 1$ csökkenti az égés hőmérsékletét és megelőzi a kopogást.

31.1.15.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A)
Vezérlés: a kimenetet a bemeneti jelek alapján, visszacsatolás nélkül állítja be. Példa: hidegindítási dúsítás a hőmérséklet függvényében.
Szabályozás: a kimenetet mérik, összehasonlítják az alapértékkel, és az eltérés alapján korrigálnak. Példa: lambdaszabályozás, ahol az elő-katalizátor szonda jeléből az ECU a befecskendezési időt módosítja.

2. feladat (A)
1. **Bemeneti szakasz:** jelkondicionálás, A/D átalakítás, zavarvédelem.
2. **Mikrovezérlő és memória:** jelleggörbék, program, adaptációk, hibakódok tárolása (ROM/Flash, RAM, EEPROM).
3. **Kimeneti fokozatok:** tranzisztoros kapcsolók, H-hidak, PWM-meghajtók a beavatkozókhoz.
4. **Kommunikációs interfész:** diagnosztikai és adatbusz-kapcsolatok (CAN, LIN, diagnosztikai vonal).

3. feladat (B)
Adott: $t_{i,\text{alap}} = 8{,}0$ ms, korrekció $+40\% = 1{,}40$.
Keresett: $t_{i,\text{korrigált}}$.

$$t_{i,\text{korrigált}} = t_{i,\text{alap}} \cdot (1 + 0{,}40) = 8{,}0 \text{ ms} \cdot 1{,}40 = 11{,}2 \text{ ms}.$$

Ellenőrzés: a korrigált idő nagyobb, mint az alap, ami hidegindításkor dúsítást jelent. Az érték tanulási példa; a pontos korrekció gyártói jelleggörbéből származik.

4. feladat (B)
Adott: $m_L = 0{,}12$ g, $\lambda = 1{,}0$, $L_{st} = 14{,}7$, $\dot{m}_B = 2{,}0$ g/s.
Keresett: t_i.

$$m_B = \frac{m_L}{\lambda \cdot L_{st}} = \frac{0{,}12 \text{ g}}{1{,}0 \cdot 14{,}7} \approx 0{,}00816 \text{ g}.$$

$$t_i = \frac{m_B}{\dot{m}_B} = \frac{0{,}00816 \text{ g}}{2{,}0 \text{ g/s}} \approx 0{,}0041 \text{ s} = 4{,}1 \text{ ms}.$$

Ellenőrzés: az eredmény nagyságrendileg reális alapjárati befecskendezési idő (jellemzően 2–4 ms, ellenőrizendő: gyártói adat); a pontos érték gyártói adat.

5. feladat (C)
Teljes terhelésen a motor maximális teljesítményét akarjuk elérni. A dús keverék ($\lambda < 1$) javítja a lángterjedést, hűti az égéstér belső felületeit (a párolgó benzin hőt von el), és csökkenti a kopogás esélyét. Ha a dúsítás hibásan elmarad, a motor kopoghat, a keverék szegénnyé válik, az égés hőmérséklete és a NOx-kibocsátás nő, a teljesítmény csökken, és súlyos esetben dugattyú- vagy gyújtógyertya-károsodás léphet fel. A valós λ-t **szélessávú lambdaszondával**, illetve a

kipufogógáz elemzőjével mérhetjük; a diagnosztikai műszer élő adataiban a befecskendezési időt és a λ-értéket követhetjük.

6. feladat (D)
Tünet: hidegindítás után magas alapjárat, fekete füst, P0118 kód, a mért hűtőfolyadék-hőmérséklet irreálisan alacsony (−40 °C).
Hipotézis: a hűtőfolyadék-hőmérséklet szenzor áramköre szakadt, vagy a szenzor belső szakadása miatt az ECU hideg motort feltételez, és folyamatos hidegindítási dúsítást alkalmaz.
Mérés: a szenzor csatlakozójánál ellenőrizzük az 5 V referenciafeszültséget és a testfolytonosságot. A szenzor ellenállását multiméterrel mérjük: ha végtelen, belső szakadás van.
Ok: szakadt NTC szenzor.
Javítás: hűtőfolyadék-hőmérséklet-szenzor cseréje, a csatlakozó és a vezetékek ellenőrzése, majd a hibakód törlése és az adaptációk visszaállítása.
Ellenőrzés: a motort bemelegítjük, és az élő adatban figyeljük, hogy a hőmérséklet jel közelíti a valós hőfokot; próbaúttal meggyőződünk az alapjárat normalizálódásáról.
Megelőzés: a szenzor csatlakozóját tiszta, korróziómentes állapotban tartjuk; a hűtőfolyadék-cserénél ügyelünk a megfelelő légtelenítésre.

31.1.16. Rövid összefoglaló

A motorirányítás a `érzékelők → ECU → beavatkozók` jelfolyamra épül. A **vezérlés** nyílt hurkú, a **szabályozás** zárt hurkú, mérési visszacsatolással. Az ECU bemeneti szakasza fogadja az analóg, digitális és frekvenciajeleket; a mikrovezérlő a tárolt jelleggörbékből interpolál, a kimeneti fokozatok kapcsolják a befecskendezőket, gyújtótekercseket, reléket. Az üzemállapotok (hidegindítás, bemelegedés, alapjárat, részterhelés, teljes terhelés, gyorsítás, motorfék) eltérő stratégiát igényelnek; a lambdaszabályozás, az alapjárat- és kopogásszabályozás zárt hurkok. Vészüzem esetén az ECU rögzített alapértékekkel, csökkentett teljesítménnyel üzemel. A Motronic típusú rendszerek a benzinmotor befecskendezését és gyújtását egyesítik, az EDC a dízelbefecskendezést vezérli a soros/elosztós, PDE és common rail változatokban.

Továbbvitt eredmény. Az itt bemutatott motorirányítási jelfolyam, a vezérlés/szabályozás megkülönböztetése és az üzemállapot-kezelés alapozza meg az Érzékelők és jeladók részletes tárgyalását, valamint a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD hibakód-, élő adat- és fagyott keret elemzését. A befecskendezési idő számításánál az $m_B = m_L/(\lambda L_{st})$ és $t_i = m_B/\dot{m}_B$ összefüggéseket használjuk; a pontos értékek mindig gyártói jelleggörbéből származnak. A nagynyomású dízelrendszereken csak nyomásmentesítés után, gyártói utasítás szerint szabad dolgozni.

31.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: befecskendezési idő, jelleggörbe-tartományok, hőmérsékleti korrekciók, kopogásszabályozási paraméterek, vészüzemi viselkedés – ellenőrizendő.
- Az említett rendszernevek (Motronic, MED, EDC, PDE, Ecotronic) csak rendszertípusként szerepelnek; a pontos generáció, évjárat és kivitel gyártói dokumentációból ellenőrizendő.
- A common rail nyomástartomány (1600–2500 bar) tájékoztató jellegű, a pontos érték típusfüggő (ellenőrizendő: gyártói adat).
- A sztöchiometrikus levegőigény benzinre $L_{st} \approx 14{,}7$ kg levegő/kg tüzelőanyag (tömegarány), közelítő érték; etanoltartalmú benzinnél kisebb (ellenőrizendő).
- Az EOBD és a típusjóváhagyás jogi követelményei az Európai Unióban a mindenkori rendeletek szerint változnak (ellenőrizendő: aktuális EU-szabályozás).

- A hűtőfolyadék-hőmérséklet-szenzor karakterisztikája, az 5 V referenciafeszültség és a hidegindítási dúsítás jelleggörbéje gyártófüggő, a műhelyben a gyártói adat az irányadó.

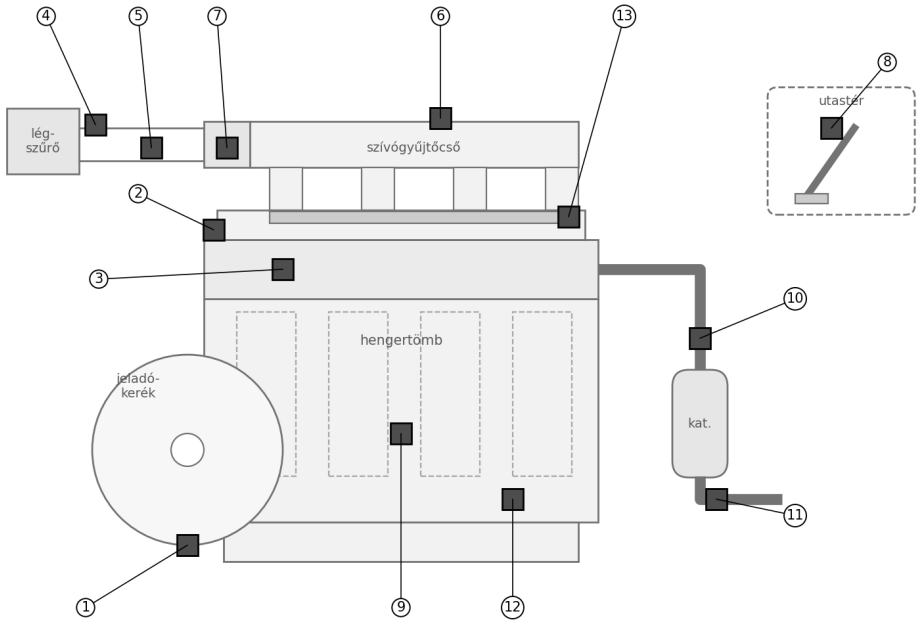
31.2. Érzékelők és jeladók

31.2.1. Motiváció

Egy hideg reggelen a benzinmotor nehezen indul, alapjáraton remeg, és a rendszerteszter hibakódot tárol: a motorfordulatszám-jeladó jele hiányzik. Egy másik autón a műszerfalon világít a motorszimbólum, és a diagnosztikai műszer élőadat-listájában a hűtőfolyadék-hőmérséklet érzékelő értéke $-40\,^{\circ}\mathrm{C}$-ot mutat, miközben a motor meleg. A szerelő ezekben az esetekben nem a szoftverben keresi a hibát, hanem az érzékelők bekötését, tápfeszültségét, testét és jelalakját vizsgálja. Az elektronikus motorirányítás „szemét és fülét” érzékelők és jeladók alkotják: ha az ECU téves vagy hiányzó jelet kap, a befecskendezés, a gyújtás és a keverékképzés rossz lesz, esetleg a motor leáll. Ebben az alfejezetben a motorirányítás leggyakoribb érzékelőit vesszük végig úgy, hogy a jelalakot multiméterrel és oszcilloszkóppal is ellenőrizni tudd.

31.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy motortér-rajzot, amelyen az érzékelők a motorirányítási rendszer „érzékszerveiként” vannak megjelölve: a főtengely jeladó a lendkerék fogaskoszorújánál, a vezérműtengely-jeladó a vezérműfedélnél, a fojtószelep- és gázpedál-érzékelő a szívócső és a pedálbox felőli oldalon, az NTC hőmérséklet-érzékelők a hűtőrendszer csöveiben, a MAP vagy HFM a szívócsőben vagy a légszűrő után, a kopogásérzékelő a hengertömb oldalán, a lambdaszonda pedig a kipufogócsőben. Mindegyiknek az a feladata, hogy a fizikai mennyiséget – fordulatszám, hőmérséklet, nyomás, légtömeg, rezgés, oxigénkoncentráció – a motorvezérlő számára elektromos jellé alakítsa. A jelet az ECU feldolgozza, és a beavatkozókat (injektor, gyújtótekercs, fojtószelep, EGR-szelep) szabályozza.



31.3. ábra. Érzékelőtérkép: a motorirányítás érzékelőinek helye egy négyhengeres benzinmotoron (sematikus oldalnézet)

Az ábra a fenti leírást rajzban mutatja: a szívóágon a beszívottlevegő-hőmérséklet-érzékelő, a légtömegmérő, a fojtószelep-egység és a szívócsőnyomás-érzékelő, a motoron a főtengely- és a vezérműtengely-jeladó, a hűtőfolyadék-NTC, a kopogásérzékelő, az olajnyomás-kapcsoló és a rail nyomásérzékelő, a kipufogóágon a katalizátor előtti és utáni lambdaszonda ül; a gázpedál-érzékelő az utastérben van. A HTML-változatban az érzékelőre mutatva megjelenik a neve és a jeltípusa.

31.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Az **érzékelő** (sensor) olyan eszköz, amely egy fizikai vagy kémiai mennyiséget mérhető, általában villamos jellé alakít. A **jeladó** (pickup, transmitter) a motorirányításban sokszor ugyanazt jelenti, de gyakran a fordulatszám- és helyzetjeladókra használjuk; a jele nem folytonos mennyiséget hordoz, hanem foganként vagy pozíciójelként impulzusokat ad.

Definíció. A **passzív érzékelő** saját tápfeszültség nélkül működik, a jelet maga a fizikai hatás hozza létre (pl. induktív jeladó, piezoelektromos kopogásérzékelő). Az **aktív érzékelő** külső tápfeszültséget kap, és a jelét ebből állítja elő (pl. Hall-jeladó, MAP, HFM). Az **NTC** és a potenciométer ún. passzív, parametrikus érzékelő: nem kelt jelet és nincs saját elektronikája, hanem az ellenállása változik; az ECU referenciafeszültséggel (felhúzó ellenálláson át) teszi mérhetővé. A gyakorlatban aktív érzékelőnél mindig ellenőrizni kell a tápfeszültséget, a testet és

a jelvezetéket; kétvezetékes NTC-n tápfeszültség helyett a jelvezeték üresjárási feszültségét (kb. 5 V) és a testet mérjük.

Összefüggés. Az ECU analóg bemenetein a mérési tartományt gyakran feszültségosztóval alakítják ki. Egy felhúzó ellenállással (R_{fel}) sorba kötött NTC érzékelőn a jel:

$$U_{\text{jel}} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_{\text{NTC}}}{R_{\text{fel}} + R_{\text{NTC}}}$$

A képlet mutatja, hogy a hőmérséklet növekedésével az NTC ellenállása csökken, ezért a jel is csökken. Ezt használjuk a hőmérséklet-érzékelőknél.

Összefüggés. A fogaskerék-alapú fordulatszám-jeladó frekvenciája:

$$f = \frac{n \cdot z}{60},$$

ahol n a fordulatszám (1/min), z a számlált fogak/impulzusok száma egy fordulatra. Például egy 60−2 fogazású fogaskeréknél $z = 58$ fogas impulzus fordulatonként.

31.2.4. Felépítés és működés

31.2.4.1. Fordulatszám- és helyzetjeladók

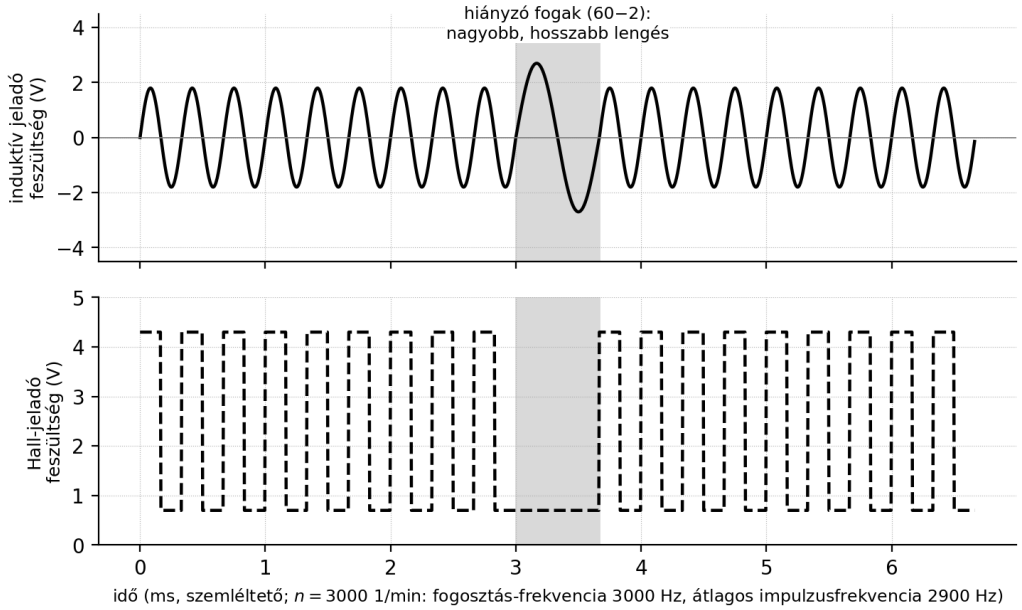
A motorirányítás leggyakrabban a főtengelyen elhelyezett fogaskerékről vagy impulzuskerékről kapja a fordulatszámjelet és a szinkronpozíciót. A fogazás gyakori típusa a **60−2** fog, azaz 60 fognyi helyből kettő fog hiányzik; a hiányzó fogak helyét az ECU szinkronreferenciaként használja. A jeladó lehet **induktív** (passzív, kétvezetékes) vagy **Hall-elvű** (aktív, tápfeszültséggel).

Az **induktív jeladó** egy lágyvasmagos tekercs, amely a forgó fogaskerék előtt helyezkedik el. A fog elhaladásakor a mágneses fluxus megváltozik, ezért a tekercsben feszültség indukálódik. A jel körülbelül szinuszszerű, amplitúdója a fordulatszámmal nő, ezért alacsony fordulatszámnál (indítózásnál) kisebb, magas fordulatszámon nagyobb. A hiányzó fogaknál a jel egy periódust kihagy. A tipikus mérési érték oszcilloszkóppal: néhány száz millivolt indítózásnál, több volt járó motornál; a pontos érték gyártófüggő **(ellenőrizendő: gyártói jelalak- és mérési adat)**. Az induktív jeladó előnye az egyszerű felépítés; hátránya, hogy a jel amplitúdója fordulatszám-függő, a légrésre érzékeny, és a polaritása fontos.

A **Hall-jeladó** egy Hall-elemet és jelformáló elektronikát tartalmazó aktív érzékelő. A fogaskerék fogainak elhaladásakor a mágneses tér megváltozik, az elektronika pedig tiszta, négyszögjelű kimenetet ad, amelynek amplitúdója közel a tápfeszültséghez (gyakran 5 V vagy 12 V logika), és alacsony fordulatszámon is megbízható. A Hall-jeladó jellemzően három vezetékes: tápfeszültség (például 5 V), test és jel. A **magnetorezisztív** jeladó a mágneses tértől függő ellenállásváltozást használja, és szintén aktív, digitális vagy analóg jelet adó érzékelő. A kerékfordulatszám-jeladók hasonló elven működnek, de jellemzően az ABS/ESP kerékfordulatszám-jeleit szolgáltatják; ezeket a fékrendszernél tárgyaljuk.

A **vezérműtengely-jeladó** feladata a hengerazonosítás: a motorirányításnak tudnia kell, hogy a szívó ütem vagy a kompresszió ütem következik-e, különösen a hengerenkénti befecskendezésnél és a szelektív gyújtásnál. A vezérműtengely-jeladó sokszor félfordulatos vagy egyfordulatos fázisjelet

ad; a motorvezérlő a főtengely és a vezérműtengely jeleit együtt értékeli. Ha a vezérműtengely-jel hiányzik, a motor sok esetben nem indul, vagy csak vészüzemmódban jár.



31.4. ábra. Induktív és Hall-jeladó jelalakja 60−2 fogazású jeladókeréken, $n = 3000$ 1/min (szemléltető, számított jel)

Az ábra felső részén az induktív jeladó jele 0 V körül szimmetrikusan leng (oszcilloszkópon negatív félhullám is látszik), a hiányzó fogaknál pedig nagyobb amplitúdójú, hosszabb lengést ad – a szerelő ezt a szinkronrést keresi. Az alsó rész a Hall-jeladó négyszögjele, amely a résnél kimarad. A fogosztás-frekvencia $f = 60 \cdot n/60$ (3000 1/min-nél 3000 Hz); az ECU által számolt átlagos impulzusfrekvencia a ténylegesen meglévő $z = 58$ foggal $f = 58 \cdot n/60$ (2900 Hz), ahogy a 2. példa is számol. Az interaktív változatban a fordulatszám és a jeladó típusa állítható, és élőben látszik mindkét frekvencia.

31.2.4.2. Fojtószelep- és gázpedál-érzékelők

A **fojtószelepállás-potenciométer** (TPS, throttle position sensor) a fojtószelep tengelyére szerelt csúszókapcsolós potenciométer, amely a fojtószelep szögével arányos feszültséget ad. A tipikus jel üresjáratban 0,4–0,7 V, teljesen nyitott fojtószelepnél 3,5–4,5 V körüli; ezek tanulási példák **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. A potenciométer mellett régebbi rendszerekben **kapcsolós** változat is előfordult: itt a jelek üresjárati, részterheléses és teljes terheléses állást mutattak. A modern elektronikus fojtószelep-egység (E-gas) a fojtószelep tengelyén két potenciométert használ, hogy az ECU a jeleket összehasonlíthassa; a két jel gyakran ellentétes menetű vagy eltérő meredekségű. Az egyik jel például 0,5–4,5 V, a másik 4,5–0,5 V irányban változhat. A gázpedál-érzékelő (APP, accelerator pedal position) a vezető kívánságát adja meg: a pedálmodulban szintén legalább két potenciométer vagy Hall-érzékelő van, és a **kettős jel** a biztonság miatt szükséges. Ha az egyik jel kilóg a tartományból, vagy a két jel nem felel meg egymásnak, az ECU hibát tárol, és a motor korlátozott teljesítménnyel járhat.

31.2.4.3. Hőmérséklet-érzékelők (NTC)

A **levegőhőmérséklet- és hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő** általában **NTC** (negative temperature coefficient) termisztor: melegedés hatására az ellenállása csökken. Az ECU egy belső felhúzó ellenálláson keresztül 5 V referenciafeszültséget kapcsol, és méri az NTC osztott feszültségét. A tipikus hűtőfolyadék-NTC ellenállása 20 °C-on körülbelül 2,5 kΩ, 80 °C-on körülbelül 0,3 kΩ – ezek példaértékek **(ellenőrizendő: gyártói táblázat)**. A hűtőfolyadék-érzékelő jele befolyásolja a hidegindítási dúsítást, az alapjáratot, a ventilátor-vezérlést és az emissziót. A levegőhőmérséklet-jel a beszívott levegő sűrűségének korrekcióját szolgálja.

31.2.4.4. Légnyomás- és légtömegmérők

A **szívócsőnyomás-érzékelő** (MAP, manifold absolute pressure) a szívócsőben uralkodó abszolút nyomást méri, és a motorvezérlő a nyomásból, hőmérsékletből és fordulatszámból becsüli a hengerekbe jutó levegő tömegét. A MAP-érzékelő aktív, általában 5 V tápfeszültséget kap; a jel feszültsége a nyomással közel lineárisan nő. Egy tipikus jel üresjáratban, erős vákuumnál 0,5–1,5 V, teljes terhelés, közel atmoszférikus nyomás közelségében 3,5–4,5 V lehet **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. A MAP-érzékelő gyakori a turbós motoroknál is.

A **légtömegmérő** (HFM, hot-film air mass meter) a ténylegesen beszívott levegő tömegáramát méri. A mérőcsőben egy fűtött hőfilm- vagy hőszál elem van; a levegő hűti, az elektronika pedig az áramlás fenntartásához szükséges fűtőteljesítményt vagy a hőmérsékletkülönbséget alakítja jellé. A jel általában 0,5–4,5 V közötti analóg feszültség, amely a légtömegárammal nő. A HFM méri a valódi levegőtömeg-áramot, ezért a motorterhelés-számítás pontosabb. A **régi légmennyiségmérő** (például lengőcsappantyús LMM) egy potenciométerrel összekötött csappantyút használt, amelyet a beszívott levegő elmozdított; a potenciométer jele a csappantyú szögét, azaz közelítőleg a levegő térfogatáramát képviselte. A modern rendszerekben a HFM a jellemző.

31.2.4.5. Kopogásérzékelő

A **kopogásérzékelő** a motor kopogását (detonációs égést) érzékeli. Szerkezete általában piezoelektromos kristályt tartalmazó érzékelő, amelyet a hengertömbhöz rögzítenek, előírt nyomatékkal. A kopogás a hengerblokk nagyfrekvenciás rezgéseit kelti; a piezoelem ezt feszültségjellé alakítja. Az ECU jellemzően az égés után, szűrt frekvenciasávban figyeli a jel amplitúdóját, és kopogás észlelésekor késlelteti a gyújtást. A kopogásérzékelő passzív, kétvezetékes érzékelő, a jel széles sávú, tüskeszerű feszültségcsomag. Oszcilloszkóppal kopogáskor a jel zajszintje megnő; a pontos szűrési és küszöbértékek gyártófüggők **(ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai útmutató)**.

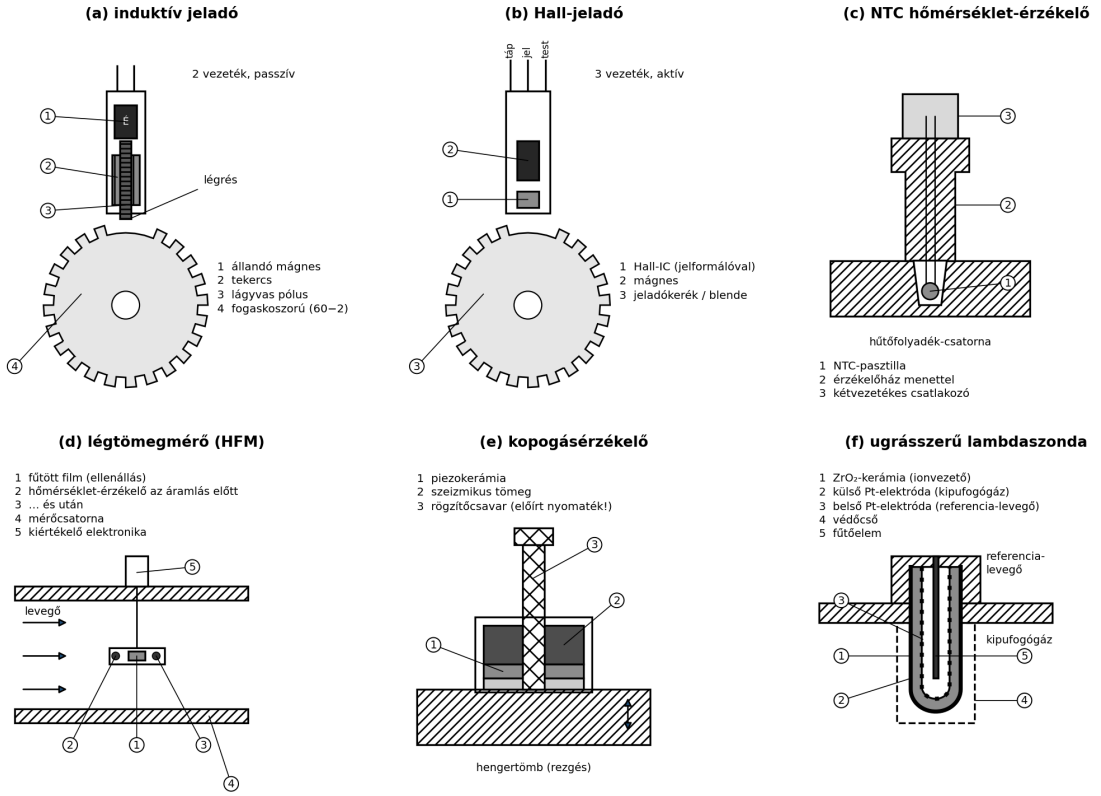
31.2.4.6. Lambdaszonda

A **lambdaszonda** a kipufogógáz oxigéntartalmát méri, és ezzel a keverék dús vagy szegény voltát jelzi. A hagyományos **keskenysávú** lambdaszonda (feszültségszonda) általában cirkónium-dioxid kerámiát használ, amely magas hőmérsékleten oxigénion-vezetővé válik. A kipufogógáz-oldali és a külső referencia-oxigénkoncentráció különbsége feszültséget hoz létre. Dús keveréknél a jel magas, körülbelül 0,8–0,9 V, szegény keveréknél alacsony, körülbelül 0,1–0,3 V. A szabályzás a 0,45 V körüli átmenet körül ingadozik; a jel jellegzetes „lambda-szabályzási” négyszögszerű mintázatot ad. A fűtött lambdaszonda gyorsabban éri el üzemi hőmérsékletét. A **szélessávú lambdaszonda** (áram-szonda) nagyobb mérési tartományban, az oxigénkoncentráció feszültség

helyett szivattyúárammal arányos jelét adja; a motorirányítás nagy pontosságú szabályzásra használja. A lambdaszonda jeleit a kipufogógáz-utókezelés fejezetben is használjuk.

31.2.4.7. Nyomásérzékelők

A MAP mellett a motorirányításban több **nyomásérzékelő** is található: a közös nyomásterű (common rail) dízelrendszer **railnyomás-érzékelője**, az olajnyomás-érzékelő, a klímarendszer nyomásérzékelője és a turbónyomás-érzékelő. Ezek gyakran piezorezisztív vagy kapacitív elvű aktív érzékelők, 5 V tápfeszültséggel és közel lineáris feszültségjellel. A railnyomás-érzékelő például kb. 0,5 V-ot ad nyomásmentes állapotban és kb. 4,5 V-ot a mérési tartomány felső határán; a 0,5 V alatti és 4,5 V feletti jelet az ECU áramkörhibaként (testzárlat, szakadás, tápzárlat) értékeli **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. A jelekből az ECU a befecskendezési nyomást szabályozza.

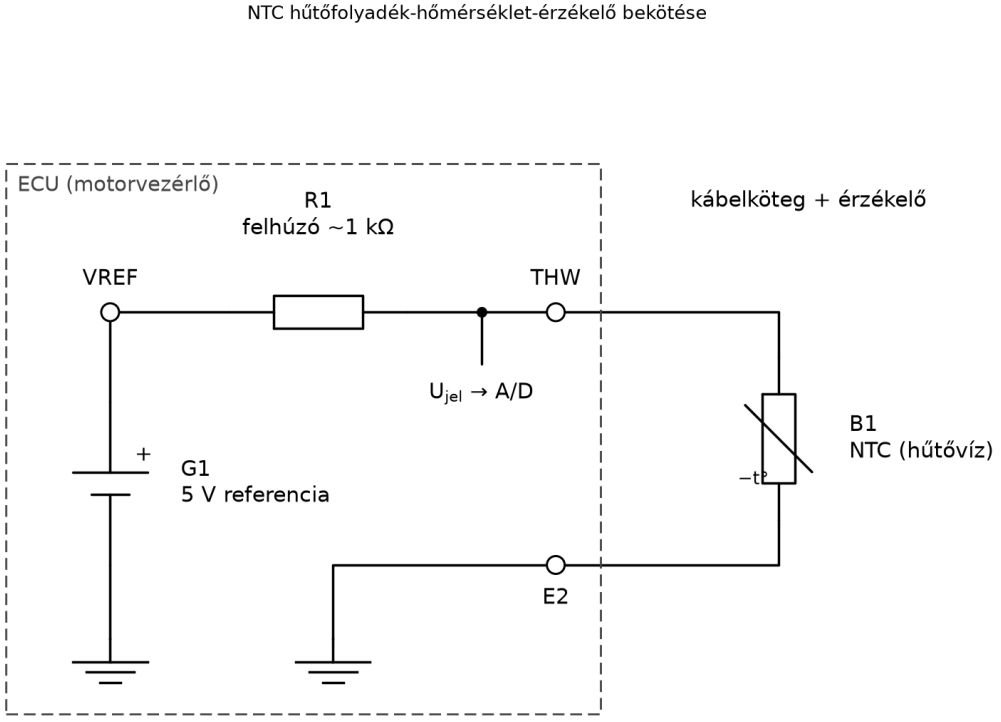


31.5. ábra. Hat érzékelő sematikus metszete: induktív és Hall-jeladó, NTC, légtömegmérő, kopogásérzékelő, ugrásszerű lambdaszonda

A metszetek a fenti működési elveket mutatják: az induktív jeladóban állandó mágnes, tekercs és lágyvas pólus áll a fogaskoszorú előtt, a Hall-jeladóban Hall-IC és mágnes, háromvezetékes csatlakozóval; az NTC-pasztilla az érzékelőház hegyében ül; a légtömegmérőben a fűtött film előtt és után egy-egy hőmérséklet-érzékelő van; a kopogásérzékelő piezokerámiáját a szeizmikus tömeg terheli, a rögzítőcsavar nyomatéka számít; a lambdaszonda ZrO_2-kerámiájának két oldalán egy-egy platinaelektróda van, kívül a kipufogógáz, belül a referencia-levegő. A HTML-változatban érzékelőnként külön nézet és rövid magyarázat választható.

31.2.5. Érzékelő bekötési rajz

Az érzékelők vizsgálatának közös kérdése: van-e tápfeszültség, jó-e a test, és megérkezik-e a jel? Az alábbi áramútrajz egy NTC hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő tipikus bekötését mutatja.



31.6. ábra. NTC hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő bekötése - Szemléltető áramútrajz: zárt kör a referenciaforrás + pólusától (VREF, 5 V) az R1 felhúzó ellenálláson, a THW kapcson, az NTC-n és az E2 érzékelőtesten át a forrás − pólusáig. A szaggatott keret az ECU határa; az NTC és a vezetékek a kábelkötegben vannak. A kapocsjelölések és a felhúzó ellenállás értéke gyártónként eltér (ellenőrizendő: gyártói kapcsolási rajz).

Az ECU a VREF ponton 5 V referenciafeszültséget ad (a referenciaforrás + pólusa). A felhúzó ellenállás (R_1) és az NTC osztója a THW ponton mérhető jelfeszültséget adja, ezt az ECU A/D átalakítója méri. Az E2 pont az érzékelő testje, amely az ECU-n belül záródik a forrás − pólusához. A szaggatott keret az ECU határa: az R1 és a referencia belül van, az NTC és a vezetékek kívül, a kábelkötegben – ezért a THW és az E2 kapcson mérve dönthető el, hogy a hiba a vezérlőben vagy a vezetéken, illetve az érzékelőben van. Ha a vezeték megszakad, az ECU általában 5 V-hoz közeli jelet lát, mert a THW ponton a felhúzó ellenállás a test irányában nem terhel. Ha a vezeték testzárlatos, a jel 0 V közeli. Ugyanígy kell gondolkodni minden érzékelőnél: a jelből lehet következtetni a bekötés hibájára.

31.2.6. Kidolgozott példák

1. példa (NTC feszültségosztó számítása). Adott: $U_{\text{ref}} = 5\,\text{V}$, $R_{\text{fel}} = 1000\,\Omega$, a hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő ellenállása $20\,^{\circ}\text{C}$-on $R_{\text{NTC}} = 2500\,\Omega$. Keresett: a THW pont feszültsége. Képlet: $U_{\text{jel}} = U_{\text{ref}} \cdot R_{\text{NTC}}/(R_{\text{fel}} + R_{\text{NTC}})$. Behelyettesítés:

$$U_{\text{jel}} = 5\,\text{V} \cdot \frac{2500\,\Omega}{1000\,\Omega + 2500\,\Omega} = 5\,\text{V} \cdot \frac{2500}{3500} = 3{,}6\,\text{V}.$$

Ellenőrzés: hideg motornál az NTC nagy ellenállású, a jel magas, ami az ECU-nak hidegindítási dúsítást jelez.

2. példa (Fordulatszám-jeladó frekvenciája). Adott: 60−2 fogazású főtengely jeladó kerék, $z = 58$ fogas impulzus; a motor fordulatszáma $n = 3000\,1/\text{min}$. Keresett: a jel frekvenciája. Képlet: $f = n \cdot z/60$. Behelyettesítés:

$$f = \frac{3000\,1/\text{min} \cdot 58}{60\,\text{s/min}} = 2900\,\text{Hz}.$$

A periódusidő $T = 1/f = 1/2900 \approx 0{,}345\,\text{ms}$. Ellenőrzés: alapjáraton, $800\,1/\text{min}$-nél $f = 800 \cdot 58/60 \approx 773\,\text{Hz}$; az oszcilloszkóp időalapját ekkor 1 ms-os tartományra kell állítani.

31.2.7. Előírások, minőségellenőrzés

Előírás. Az érzékelők mérésére a gyártó javítási útmutatójában megadott mérési pontok, tápfeszültség-, ellenállás- és jelalak-értékek a mérvadók. A rajzon használt VREF, THW, E2 jelölések gyártói ECU-lábnevek (példaként), nem szabványos kapocsjelek; a szabványos járművillamossági kapocsszámok (DIN 72552: 15, 30, 31 …) az érzékelők jelvezetékére nem vonatkoznak. A tényleges lábkiosztást mindig a jármű áramútrajza határozza meg **(ellenőrizendő: gyártói rajz)**.

Minőségellenőrzés. Az érzékelő vizsgálatakor a következő sorrendet ajánlott tartani:

1. Azonosítsd a járművet és az érzékelő pontos típusát a gyártói adatlap vagy adatbázis alapján.
2. Ellenőrizd a csatlakozó állapotát: korrózió, törés, visszahúzódott tüskék.
3. Ellenőrizd a tápfeszültséget multiméterrel a csatlakozón, gyújtás bekapcsolása mellett; aktív érzékelőnél jellemzően 5 V vagy 12 V.
4. Ellenőrizd a testpontot; az ECU test- vagy a járműtest felé mért feszültség közel 0 V.
5. Mérd a jelet: multiméterrel DC vagy AC tartományban, illetve oszcilloszkóppal a jelalakot.
6. Hasonlítsd össze a gyártói értékkel vagy referenciajellel.
7. Szükség esetén végezd el az ECU felé irányuló vezeték-folytonossági és zárlatvizsgálatot.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. Mérés előtt a gyújtást csak az adott mérés idejére kapcsold be, a jármű váltóját tedd üresbe vagy P állásba, és a járó motornál végzett mérésnél használd a kipufogógáz-elszívást. A mozgó alkatrészektől, ventilátortól és forró kipufogótól tarts távolságot.

31.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: egy négyhengeres szívó benzinmotor nehezen indul, a motor visszadob néha, és a diagnosztikai műszer a főtengely-jeladó jele körüli hibát tárol. A műhelyben a szerelő először a jeladó csatlakozóját vizsgálja, majd oszcilloszkóppal az induktív jeladó jelét nézi indítózás közben. A jel amplitúdója nagyon alacsony, és a hiányzó fogak helye nem ismerhető fel. A szerelő ellenőrzi a légrést a jeladó és a fogaskerék között; a jeladó rögzítése meglazult, ezért a légrés megnőtt. A jeladót a gyártói nyomatékkal rögzíti, a légrést hézagmérővel beállítja. Indítózás után a jel amplitúdója a várt tartományba kerül, a hiányzó fogak helye jól látható, és a motor egyenletesen indul. Tanulság: az időszakos jelhibák egy része mechanikai rögzítési probléma, nem maga az érzékelő elektronikája.

Hibakeresési eset. Tünet: a hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő értéke a rendszerteszterben $-40\,^{\circ}\mathrm{C}$, a motor hidegindításkor dús keverékkel jár és füstöl, a ventilátor folyamatosan forog. Hipotézis: az NTC-kör szakadt. Mérés: az érzékelő csatlakozóján a THW pont feszültsége közel 5 V, miközben a csatlakoztatott NTC-ellenállásnak adott hőmérsékleten kisebb értéket kellene adnia. A csatlakozó lehúzása után az érzékelő ellenállása szakadást mutat; az érzékelő belső termisztorja tönkrement. Javítás: új érzékelő beépítése, a csatlakozó tömítésének és a hűtőfolyadék-szintnek az ellenőrzése. Próbaúton a hőmérsékletjel visszatér, a ventilátor megfelelően vezérel. Megelőzés: fagyálló hűtőfolyadék használata, mert a korrozív közeg roncsolhatja a hűtőkör érzékelőit.

31.2.9. Tipikus hibák

1. **A jeladó polaritásának felcserélése.** Induktív jeladónál a két vezeték felcserélésével a jel polaritása megfordul, ami a motorindítást és a pontos szöghelyzet-felismerést zavarhatja. A javításnál mindig a gyártói bekötési rajzot kell követni, és a vezetékek színeit, valamint a jelalak irányát ellenőrizni kell.

2. **A Hall-jeladó jelét multiméterrel DC feszültségként átlagolva félreértelmezni.** A Hall-jeladó négyszögjele; multiméterrel mért DC feszültsége a kitöltési tényezőtől függ, és nem ad valódi jelalakot. A helyes gyakorlat az oszcilloszkópos jelmegfigyelés: a jel amplitúdójának, élviszonyainak és a hiányzó fogak szinkronhelyzetének ellenőrzése.

3. **Az NTC ellenállását nem a mérés pillanatnyi hőmérsékletéhez tartozó táblázati értékkel összevetni.** A hőmérséklet-függő ellenállást mindig a gyártói hőmérsékleti táblázattal kell összevetni, a valós hőmérséklettel mért állapotban. Ha a szerelő hideg motornál az NTC-t szobahőmérsékleten méri, de a specifikációt meleg motorra értelmezi, tévesen cserélhet ki jó érzékelőt.

31.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az induktív jeladó aktív érzékelő, tehát tápfeszültséget igényel.

2. Mi történik az NTC hűtőfolyadék-érzékelő jelfeszültségével, ha a motor melegszik?

3. Miért van a gázpedál-érzékelőben két jel?

4. Milyen jelalakot mutat a Hall-elvű jeladó egy fog elhaladásakor?

5. Miért használ a főtengely jeladó 60−2 fogazást?

6. Mi a teendő, ha az NTC-jel szakadás miatt 5 V közeli?

31.2.11. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az induktív jeladó passzív, saját tápfeszültség nélkül, a fogaskerék fluxusváltozásából állítja elő a jelet.

2. Melegedve az NTC ellenállása csökken, ezért a feszültségosztó jelfeszültsége csökken.

3. A biztonság és a hitelesség miatt: az ECU összehasonlítja a két jelet, és eltérés esetén korlátozott üzemmódot, hibát állít be.

4. Tiszta négyszögjelet, amelynek amplitúdója közel a tápfeszültséghez.

5. A 60 fogból hiányzó kettő fog a főtengely szinkronhelyzetét jelöli; a hiányzó két fog a főtengely referencia-szöghelyzetét jelöli (például az 1. henger felső holtpontja előtti adott szögnél); azt, hogy az 1. henger kompresszió- vagy kipufogóütemben van, az ECU csak a vezérműtengely-jeladó jelével együtt tudja eldönteni.

6. A szakadt NTC-jel az ECU felhúzó ellenállása miatt közel 5 V-ot mutat; ilyenkor ellenőrizni kell az érzékelő ellenállását, a vezetéket és a csatlakozót.

31.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel, mi a különbség az induktív és a Hall-elvű fordulatszám-jeladó között a tápfeszültség, a jelalak és az amplitúdó-fordulatszám függés tekintetében!

2. feladat (A). Nevezd meg, miért van szükség vezérműtengely-jeladóra egy hengerenkénti befecskendezéses motornál!

3. feladat (B). Egy 60−2 fogazású jeladó kereke $z = 58$ fogas. A fordulatszám 1200 1/min. Számítsd ki a jel frekvenciáját és periódusidejét!

4. feladat (B). Az áramköri rajz alapján magyarázd el, mi történik a THW pont feszültségével, ha a NTC érzékelő testvezetéke megszakad! Mit mutat ekkor a diagnosztika?

5. feladat (C). Egy MAP-érzékelő jelét vizsgálod. A gyártó szerint a mérési tartomány 20–100 kPa abszolút nyomás között 0,5–4,5 V lineáris. A mért jelfeszültség 2,5 V. Becsüld meg a szívócsőnyomást! Mutasd meg a számítást!

6. feladat (D). Egy motor alapjáraton remeg, és a diagnosztikai műszer a fojtószelep-érzékelő hibáját tárolja. A TPS jel üres járatban 0,8 V, teljesen nyitva 1,3 V. Mi a hiba valószínű oka, és mit kell ellenőrizned?

31.2.13. A feladatok megoldásai

1. Az induktív jeladó passzív, kétvezetékes, a jele közel szinuszszerű, amplitúdója a fordulatszámmal nő. A Hall-elvű aktív, tápfeszültséget igényel, a jele négyszög, amplitúdója közel állandó, alacsony fordulatszámon is jó.

2. A vezérműtengely-jeladó a hengerazonosítást teszi lehetővé: az ECU a főtengely szöghelyzete mellett tudja, hogy az egyes hengerek a szívó vagy a kompresszió ütemben vannak-e, így a hengerenkénti befecskendezést és a szelektív gyújtást megfelelően vezérli.

3. Képlet: $f = n \cdot z/60$. Behelyettesítve: $f = 1200 \cdot 58/60 = 1160\,\text{Hz}$. Periódusidő: $T = 1/f = 1/1160 \approx 0{,}86\,\text{ms}$. Ellenőrzés: az érték alapján az oszcilloszkóp időalapját néhány ms-os tartományra állítjuk.

4. Ha az NTC testvezetéke megszakad, a THW ponton nem folyik áram; a felhúzó ellenálláson nincs feszültségesés, ezért a THW pont jelfeszültsége közel 5 V-ot mutat. A diagnosztikai műszer ezt magas ellenállásnak, azaz nagyon alacsony hőmérsékletnek értelmezi (például $-40\,^\circ\text{C}$), mert a jel 5 V-hoz közeli.

5. A lineáris jelleggörbe képlete: $p = p_{\min} + (p_{\max} - p_{\min}) \cdot (U - U_{\min})/(U_{\max} - U_{\min})$. Behelyettesítve: $p = 20\,\text{kPa} + (100-20)\,\text{kPa} \cdot (2{,}5-0{,}5)/(4{,}5-0{,}5) = 20 + 80 \cdot 2{,}0/4{,}0 = 60\,\text{kPa}$. Ellenőrzés: 2,5 V a feszültségtartomány közepén van, a nyomás is a tartomány közepén, 60 kPa.

6. A TPS jel üres járatban 0,8 V, teljesen nyitott fojtószelepnél 1,3 V, tehát a mérési tartomány nagyon beszűkült. Ez leggyakrabban a potenciométer csúszópályájának kopását, a tápfeszültség hibáját vagy a test gyenge érintkezését jelzi. Ellenőrizni kell a TPS tápfeszültségét (5 V referencia), a testet, valamint a fojtószelep mechanikus működését, és szükség esetén a gyártó szerint cserélni az érzékelőt, illetve az alapjáratot és a fojtószelep alaphelyzetet tanítani.

31.2.14. Rövid összefoglaló

Az érzékelők és jeladók a motorirányítás érzékszervei. A passzív érzékelők (induktív jeladó, kopogásérzékelő) saját jelet keltenek, az aktívak (Hall-jeladó, MAP, HFM) tápfeszültséggel dolgoznak; az NTC passzív, parametrikus érzékelő, amelynek ellenállását az ECU referenciafeszültséggel méri. A főtengely-jeladó az induktív vagy Hall-elvű 60−2 fogazásról a fordulatszámot és a főtengely szöghelyzetét adja; a vezérműtengely-jeladó a hengerazonosítást biztosítja. A fojtószelep-potenciométer a terhelést, a gázpedál-érzékelő a vezetői szándékot két redundáns jellel jelzi. Az NTC hőmérséklet-érzékelő ellenállása melegedéssel csökken, a kapcsolt jelfeszültség ezért csökken. A MAP a szívócsőnyomást, a HFM a tényleges légtömegáramot méri. A kopogásérzékelő piezo-elvű rezgésjeladó, a lambdaszonda a kipufogógáz oxigéntartalmát jelzi. **Továbbvitt eredmény.** Az itt bemutatott bekötési logikát (táp, test, jel), jelalakokat és vizsgálati sorrendet használjuk a Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep alfejezetben a beavatkozók rendszerénél, valamint a Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal alfejezetben a teljes mérési gyakorlatban.

31.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet az általános járművillamos- és elektronikai mérési alapokra, az MSZ EN 60617 villamos rajzjelekre és a gyártói motorirányítási gyakorlatra épül. A pontos kapocsjelek, feszültségtartományok, ellenállás- és jelalakadatok, valamint a 60−2 fogazás paraméterei gyártó- és típusfüggők, ezért azokat a szövegben jelölt helyeken ellenőrizni kell a jármű gyártói javítási útmutatójában és kapcsolási rajzában.

31.3. Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep

31.3.1. Motiváció

Egy szervizben az ügyfél panasza: a motor hidegen rángat, melegen néha nem veszi fel a gázt, és a műszerfalon világít a motorhiba-lámpa. A hibakód-kiolvasás után a rendszerteszter „2. henger injektor-áramkör hibát” vagy „EGR-szelep visszajelző jel érvénytelen” üzenetet ad. Ilyenkor az autószerelőnek tudnia kell, hogy a motorvezérlő egység (ECU) **parancsait** hogyan hajtják végre az úgynevezett beavatkozók, és azt is, hogy azokat hogyan lehet szakszerűen, a gyártói adatokkal összehasonlítva megmérni. Ez az alfejezet a benzin- és dízelmotoros rendszerek leggyakoribb beavatkozóit – injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep, turbónyomásszabályozó, tartályszellőztető szelep – mutatja be, és előkészíti a későbbi, oszcilloszkópos méréseket.

31.3.2. Szemléletes kép

Képzeljük el a motorirányítás zárt szabályozási körét: az érzékelők jeleit (légtömeg, fordulatszám, hőmérséklet, lambdaszonda) az ECU feldolgozza, majd **villamos jelekkel** utasítja a beavatkozókat. Például egy injektor úgy adagol, hogy az ECU rövid időre földre zárja az injektor tekercsét, ezáltal az mágneses tér kinyitja a szeleget. A gyújtótekercsnél hasonló elvű, de nagyobb energiájú kapcsolás történik. Az elektronikus fojtószelep egy villanymotorral állítja a szívócső levegőáramát, míg az EGR-szelep és a turbó szabályozó az emisszió és a töltőnyomás beállításáért felel. Az alábbi kapcsolási rajz és ábrák segítenek a szemléltetésben.

31.3.3. Alapfogalmak és definíciók

Definíció. Beavatkozó (actuator): olyan villamos, elektromágneses, pneumatikus vagy hidraulikus végrehajtó elem, amely a motorvezérlő egység parancsát mechanikai mozgássá, áramlássá vagy villamos kisüléssé alakítja. A gépjárművekben leginkább mágnesszelepek (solenoid), villanymotorok és gyújtótekercsek fordulnak elő.

Definíció. PWM-vezérlés (pulse-width modulation, impulzusszélesség-moduláció): a vezérlőjel feszültségét állandó amplitúdóval, de változó bekapcsolási idővel (kitöltési tényezővel) kapcsoljuk. A kitöltési tényező $d = t_{\mathrm{be}}/T$, ahol t_{be} a bekapcsolt idő, T a periódusidő. A beavatkozó pillanatnyi árama vagy teljesítménye a d-vel arányosítható.

Megjegyzés. A modern EDC (Electronic Diesel Control) és Motronic-rendszerekben az ECU szinte minden beavatkozót **kapcsolóüzemmódban**, azaz gyors ki- és bekapcsolással, PWM-mel vagy egyetlen, időzített impulzussal működtet; ritkábban analóg feszültséggel.

31.3.4. Befecskendezőszelepek működtetése

Feladat. Az injektor (befecskendezőszelep) a tüzelőanyagot adott idő alatt, porlasztva a szívócsőbe (közvetett befecskendezés) vagy közvetlenül az égéstérbe juttatja. A motorterhelés és fordulatszám függvényében az ECU meghatározza a szükséges tüzelőanyag-mennyiséget, és abból kiszámítja a nyitási időt.

Felépítés és működés. A leggyakoribb injektor egy elektromágneses szelep: a tűszelepet rugó nyomja a szelepülésre, a tekercsbe vezetett áram pedig mágneses erővel felemeli a tűt. Amíg a szelep nyitva van, a tüzelőanyag a rögzített nyomáskülönbség (benzinmotoroknál a szívócsőnyomás és a befecskendezési nyomás, dízelmotoroknál a közös nyomásterű rendszer nyomása) hatására átáramlik. A nyitási idő ezredmásodperc nagyságrendű: Otto-motoroknál jellemzően 1 ms – 10 ms, dízelmotoroknál 0,3 ms – 1,5 ms (ellenőrizendő: gyártói adat, rendszerfüggő).

Összefüggés. A befecskendezett tüzelőanyag-térfogat közelítőleg arányos a nyitási idővel:

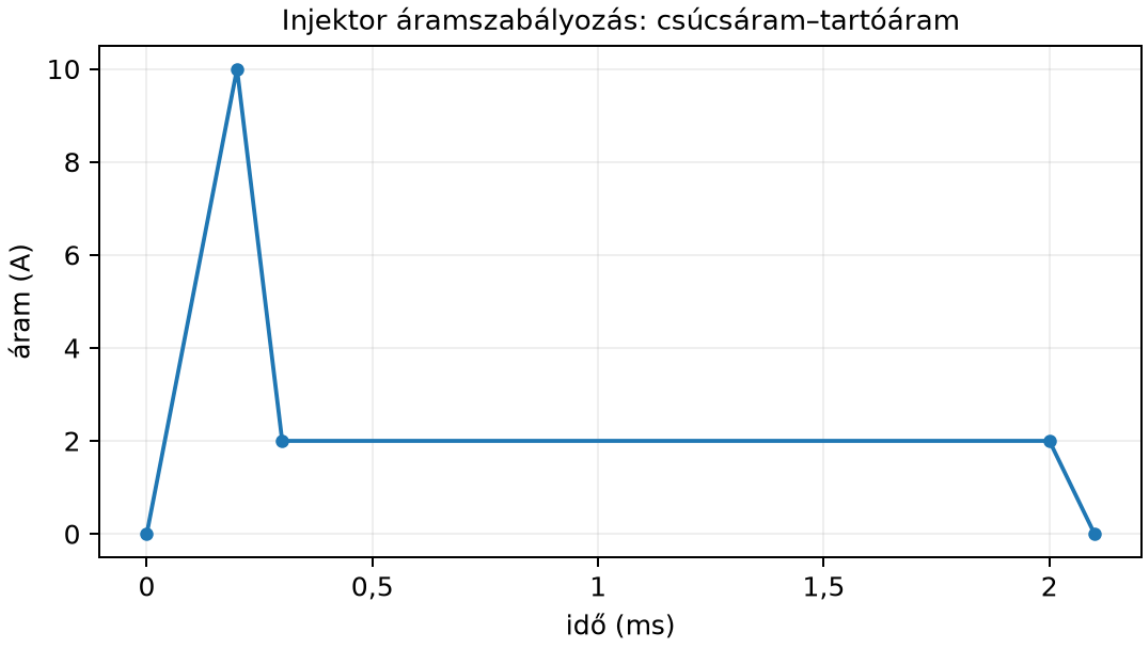
$$V_{\text{ü}} = q_{\text{inj}}\, t_i,$$

ahol $V_{\text{ü}}$ a befecskendezett térfogat (mm³ vagy cm³), q_{inj} az injektor statikus átfolyási tényezője (állandó nyomáson, teljesen nyitott tűnél, pl. cm³/min), t_i a nyitási idő (ms vagy min). A gyakorlatban az egyenlet pontosított, mert a nyitás és zárás véges időt vesz igénybe, és a nyomás változhat.

Áramszabályozott működtetés. Az injektor tekercsének induktivitása miatt az áram nem ugrik azonnal. Ha az ECU egyszerűen bekapcsolná a tranzisztort, az áram exponenciálisan emelkedne, késleltetve a nyitást. A szívócső-befecskendezés nagy impedanciájú (kb. 12–16 Ω) injektorait az ECU egyszerűen bekapcsolja: 12 V-on az áram legfeljebb $I = U/R \approx 12/14 \approx 0{,}86$ A-ig emelkedik (telítéses vezérlés). Az alacsony impedanciájú (kb. 1–3 Ω) injektorokat – benzin-közvetlenbefecskendezés, common rail mágnesszelepes injektorok – kétfázisú, ún. **csúcsáram–tartóáram** üzemmódban működtetik, gyakran emelt (boost) feszültségről (ellenőrizendő: gyártói adat):

1. **Csúcsáram szakasz**: a tranzisztor bekapcsol, az áram gyorsan emelkedik, amíg eléri a csúcsáramot (pl. 10 A – ellenőrizendő gyártói adat).
2. **Tartóáram szakasz**: ekkor az ECU átvált PWM- vagy lineáris szabályozásra, és csak annyi áramot tart fenn, ami a nyitva tartáshoz elegendő (pl. 2 A – ellenőrizendő). Ez csökkenti a melegedést és a fogyasztást.
3. **Kikapcsolás**: a tranzisztor lezár, az áram gyorsan megszűnik, a szelep zár.

A csúcsáram–tartóáram hullámalakot a következő ábra szemlélteti.



31.7. ábra. Injektor áramszabályozás: csúcsáram–tartóáram - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor egy befecskendezőszelep vezérlőáramára; nem mért érték. A csúcsáram 10 A, a tartóáram 2 A példa.

SZÁMÍTÁS – nyitási idő és befecskendezett mennyiség

Adott: egy benzinmotor injektor statikus átfolyása $q_{\text{inj}} = 220\,\text{cm}^3/\text{min}$ a rendszer üzemi nyomásán (pl. 3,0 bar). Az ECU adott üzemállapotban $t_i = 3{,}5\,\text{ms}$ nyitási időt számít.

Keresett: a befecskendezett tüzelőanyag-térfogat egy henger munkaciklusában.

Megoldás:

1. Váltsuk át a nyitási időt percre:

$$t_i = 3{,}5\,\text{ms} = \frac{3{,}5}{60\,000}\,\text{min} = 5{,}833 \times 10^{-5}\,\text{min}.$$

2. Számítsuk ki a térfogatot:

$$V_{\text{ü}} = q_{\text{inj}}\, t_i = 220\,\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times 5{,}833 \times 10^{-5}\,\text{min} = 0{,}01283\,\text{cm}^3.$$

3. Váltsuk át mm³-re:

$$0{,}01283\,\text{cm}^3 = 12{,}83\,\text{mm}^3.$$

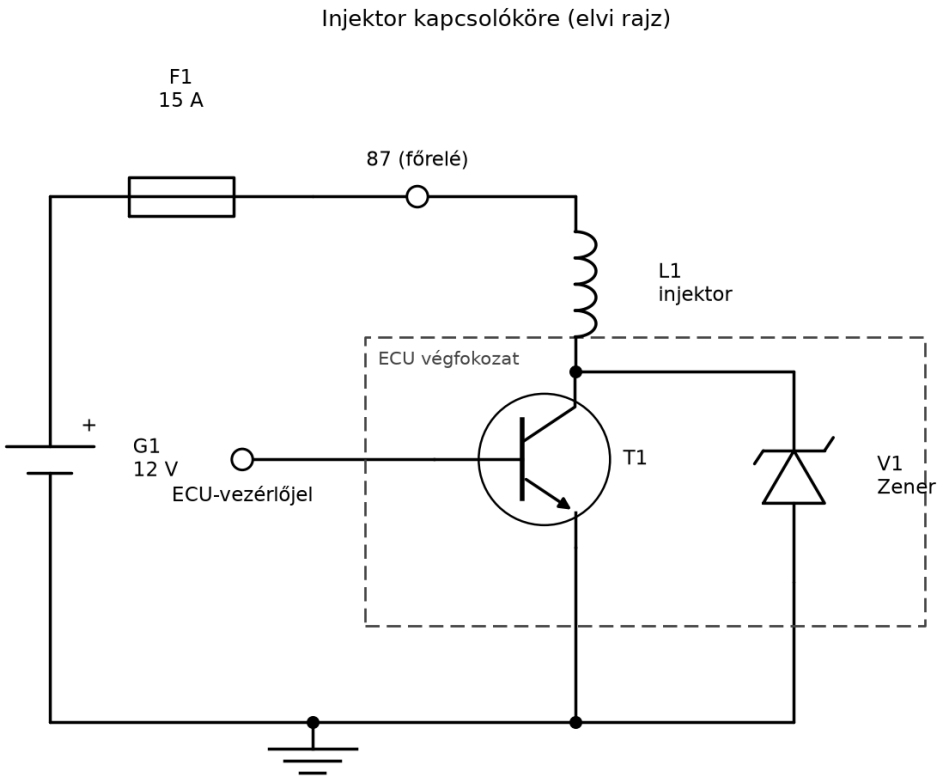
Ellenőrzés: a kapott érték reális, mert egy Otto-motor egy hengerébe járó mennyiség jellemzően néhány tíz mm³ nagyságrendű.

Összefüggés. A nyitási időt az ECU az alábbi formula szerint közelíti (példa):

$$t_i = t_{\text{alap}} \cdot \lambda_{\text{cél}} \cdot k_{\text{hőm}} \cdot k_{\text{nyomás}} + t_{\text{korr}},$$

ahol t_{alap} a légtömegből és a sztöchiometrikus keverési arányból számított alap idő, $\lambda_{\text{cél}}$ a cél légviszony, $k_{\text{hőm}}$ és $k_{\text{nyomás}}$ korrekciós tényezők, t_{korr} az akkumulátorfeszültség stb. kompenzációja. A pontos peremfeltételeket mindig a gyártó adja meg.

Tranzisztoros végfokozat. Az injektor kapcsolását az ECU végfokozatába épített teljesítménytranzisztorok (általában NPN vagy MOSFET) végzik. Egy injektorpár, hengersor vagy hengerenkénti vezérlésű rendszer is előfordul. A következő kapcsolási rajz elvi felépítést mutat.



31.8. ábra. Injektor kapcsolóköre (elvi rajz) - Az ECU végfokozatának npn tranzisztora (T1) az injektor tekercsét (L1) a test felé kapcsolja (földelő kapcsolás); a tekercs a biztosítón és a főrelén át állandó pluszt kap. A vezérlőjel külön vezetéken a bázisra jut. A V1 Zener-dióda a kollektor és a test között a lekapcsolási feszültségcsúcsot korlátozza (kb. 60–80 V, ellenőrizendő: gyártói adat).

Megjegyzés. A rajzon az injektortekercs (L1) csak a T1 tranzisztoron át kap testet; a vezérlőjel külön kapcsokon jut a bázisra, a tápvezetékhez nem csatlakozik. A V1 Zener-dióda szerepe, hogy a tranzisztor kikapcsolásakor az induktivitásban tárolt energia ne okozzon a tranzisztort tönkretevő feszültségcsúcsot: a lekapcsolási csúcsot a végfokozat Zener-diódája kb. 60–80 V-ra korlátozza (ellenőrizendő: gyártói adat); ez a tüske az oszcilloszkópon az injektor mechanikus zárásának jele is. A tekerccsel párhuzamos egyszerű szabadonfutó dióda lassítaná a zárást, ezért injektorvégfokozatban ritka. A valódi ECU-kban gyakran belső aktív áramkorlátozás és további védőáramkörök is vannak.

31.3.5. Gyújtótekercs-vezérlés és zárásszög-szabályozás

Feladat. A gyújtótekercs feladata, hogy a gyújtási időpontban nagyfeszültségű szikrát szolgáltasson a gyújtógyertyának. A tekercsben a primer tekercs áramának hirtelen megszakításával

indukálódik a szekunder nagyfeszültség.

Zárásszög-szabályozás. Ahhoz, hogy a primer áram elérje a kívánt megszakítási áramot (pl. 8 A), idő kell. Az ECU a gyújtási időpont előtt annyi idővel zárja a primerkört, hogy a tekercs árama elérje a célértéket. Ezt az időt **zárási időnek** (t_z, angolul dwell time) nevezzük. Hagyományos, megszakítós rendszereknél ezt **zárásszögben** adták meg – az elosztótengely azon szögelfordulása, amíg a primer kör zárva van (az elosztótengely a főtengely fele akkora fordulatszámmal forog, ezért a főtengelyszög ennek kétszerese; pl. 4 hengeres motornál a 90°-os szikraközből a zárásszög kb. 50–54° elosztótengely-fok; ellenőrizendő). Elektronikus rendszerekben az ECU pontos időt számol a tekercs töltésére.

Összefüggés. A zárásszög és a zárási idő közötti kapcsolat:

$$\varphi_z = 720^\circ \cdot \frac{t_z}{T} = 360^\circ \cdot \frac{n}{60}\, t_z,$$

ahol φ_z a zárásszög főtengely-fokban, t_z a zárási idő (s a második alakban), T a ciklusidő (ms) két gyújtás között. (Elosztótengely-fokban a zárásszög ennek fele: $\gamma = 360^\circ \cdot t_z/T$.) Négyütemű motornál egy hengernél $T = 120\,000/n$ ms (ahol n fordulatszám 1/min), mert egy henger minden második fordulatnál gyújt, vagyis a ciklus 720° főtengelyszög.

SZÁMÍTÁS – zárásszög-szabályozás

Adott: egy motor fordulatszáma $n = 3000\,1/\text{min}$. Az ECU által igényelt zárási idő $t_z = 3{,}5\,\text{ms}$ (ellenőrizendő: gyártói adat).

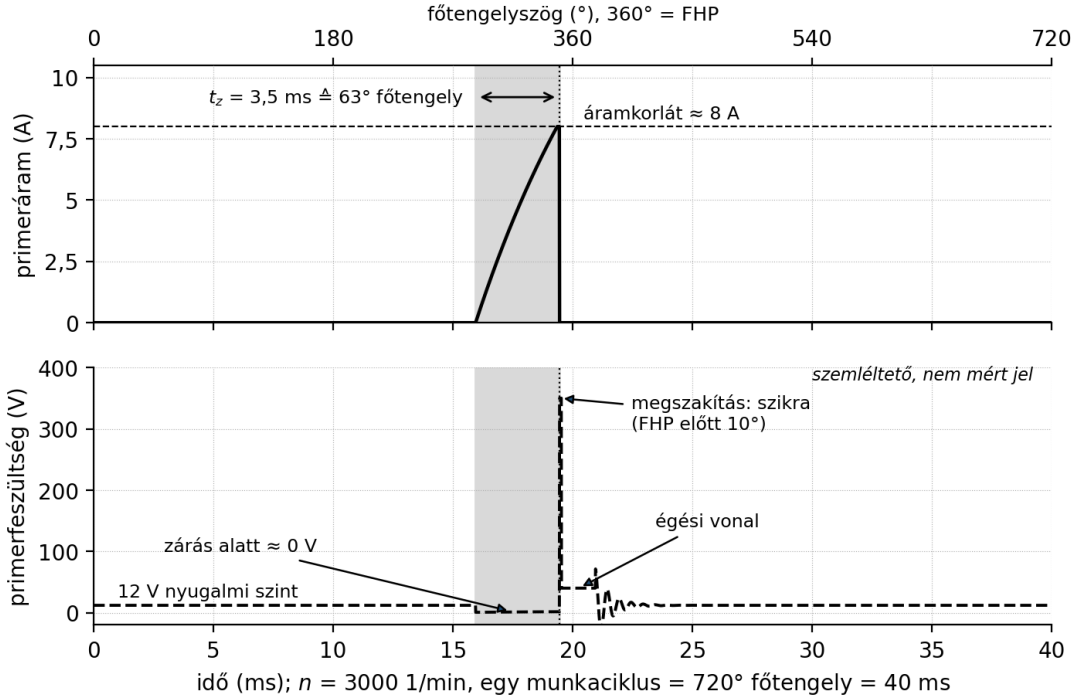
Keresett: a zárásszög fokban.

Megoldás:

1. Ciklusidő kiszámítása: $T = \frac{120\,000}{3000} = 40\,\text{ms}$.
2. Zárásszög főtengely-fokban:
$$\varphi_z = 720^\circ \cdot \frac{3{,}5}{40} = 63^\circ.$$

Ellenőrzés: 3000 1/min-nél a főtengely 18 000 °/s sebességgel forog, 3,5 ms alatt 63°-ot fordul; elosztótengely-fokban ez 31,5°, ami a régi elosztós rendszerek jellemző 30–60°-os tartományába esik.

Vezérlés. A modern gyújtórendszereknél az ECU nem egyszerűen zárásszöget számít, hanem a tekercs áramát is méri és szabályozza. A primer áramot egy teljesítmény-tranzisztor kapcsolja. A zárási idő alatt a primeráram a tekercs induktivitása miatt fokozatosan nő, amíg el nem éri az áramkorlátot; a megszakításkor a primerfeszültségen több száz voltos csúcs, majd az égési vonal látszik (a szikra ideje alatt).



31.9. ábra. A gyújtótekercs primeráramának (felül) és primerfeszültségének (alul) szemléltető jelalakja $n = 3000$ 1/min-nél: a szürke sáv a $t_z = 3{,}5$ ms zárási idő, amely 63° főtengely-elfordulásnak felel meg; a szikra a FHP előtt 10°-nál, a megszakítás pillanatában keletkezik (szemléltető modell, nem mért jel)

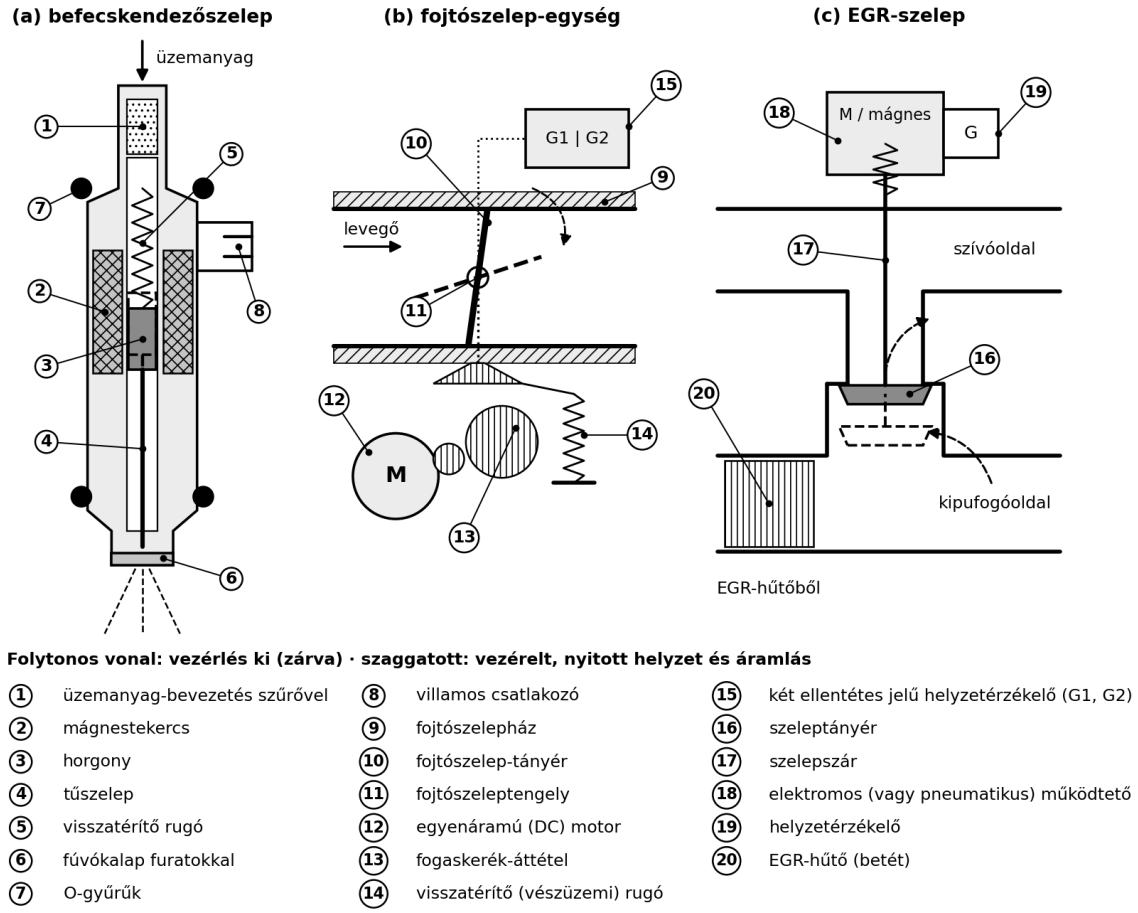
Az interaktív változatban a fordulatszám, a zárási idő és a fedélzeti feszültség állítható; a kalkulátor kiírja a zárásszöget főtengely- és elosztótengely-fokban (az utóbbi a főtengelyszög fele), valamint azt, hogy a megszakítási áram eléri-e az áramkorlátot.

Példa. Egy intelligens gyújtótekercs (pl. COP – coil-on-plug) esetén az ECU egy vezérlőjelet küld, a tekercsbe épített elektronika pedig maga szabályozza az áramot. Ez csökkenti az ECU terhelését.

31.3.6. Elektronikus fojtószelep (drive-by-wire)

Definíció. Az elektronikus fojtószelep (electronic throttle control, ETC) a gázpedál helyzetét érzékelő jel alapján, villanymotorral állítja a fojtószelepet; a pedál és a fojtószelep között nincs mechanikus bowden.

Felépítés. A fojtószelepházban egy szögbeállító egyenáramú motor, egy vagy két potenciométeres vagy Hall-elektrós helyzet-visszajelző, valamint a fojtószeleptányér található. A motor általában hídáramkörön keresztül kap tápfeszültséget, így mindkét irányban forgatható.



31.10. ábra. A beavatkozók sematikus metszete: (a) elektromágneses befecskendezőszelep, (b) elektronikus fojtószelep-egység, (c) EGR-szelep a hűtővel; folytonos vonal: vezérlés nélküli (zárt) helyzet, szaggatott: vezérelt, nyitott helyzet

Az ábrán követhető, mi mozdul a beavatkozó teszt során: az injektorban a tekercs meghúzza a horgonyt, és a tű felemelkedik a fészekről; a fojtószelep-egységben a DC motor a fogaskerék-áttételen át elfordítja a tányért a visszatérítő rugó ellenében, a két helyzetérzékelő ellentétes jele pedig visszajelzi a szöget; az EGR-szelepnél a működtető lenyitja a szeleptányért, és a hűtött kipufogógáz a szívóoldalra áramlik. Az interaktív változatban a „Vezérlés ki/be” gombbal a két állapot váltható, rámutatásra az alkatrész neve és szerepe jelenik meg.

Működés. Az ECU a gázpedál helyzetéből (és más jelekből, pl. menetstabilizáló) kiszámítja a kívánt nyomatékot, majd ebből a kívánt fojtószelep-szöget. A visszajelző jel és a kívánt érték közötti eltérés alapján PID-szabályozó állítja a motort. Az ETC egyben az alapjárat-szabályozást is ellátja, ezért külön alapjárat-szabályozóra nincs szükség.

Biztonsági funkció. A redundáns visszajelzők lehetővé teszik a hibás jel észlelését. Hiba esetén az ECU csökkentett teljesítményű üzemmódba (limp-home) kapcsol, a fojtószelep rugó hatására kis nyitásra térhet.

Példa. Ha a gázpedál érzékelője hibás jelet ad, az ECU letiltja a motorterhelést, és a vezető csak korlátozottan tud gázt adni; a hibakód tárolódik.

31.3.7. Alapjárat-szabályozó (régi rendszerek)

A korábbi, mechanikus fojtószelepű Otto-motoroknál az alapjárati fordulatszámot külön **alapjárat-szabályozó szelep** (idle air control valve, IACV) tartotta. Ez a fojtószelepet megkerülő légcsatornában lévő, léptetőmotoros vagy forgómotoros tolattyú. Az ECU a hűtőfolyadék-hőmérséklet, a terhelés (klíma, generátor) és a fordulatszám alapján állítja a megkerülő levegő mennyiségét. A mai drive-by-wire rendszerekben ezt a feladatot az elektronikus fojtószelep veszi át, így az alapjárat-szabályozó mint különálló elem már ritka.

31.3.8. EGR-szelep

Feladat. A kipufogógáz-visszavezető szelep (EGR – exhaust gas recirculation) bizonyos üzemállapotokban a kipufogógáz egy részét visszavezeti a szívóoldalra, hogy csökkentse az égési csúcshőmérsékletet és ezzel a NOx-kibocsátást. Otto- és dízelmotoroknál egyaránt alkalmazzák.

Felépítés és működés. A szelep lehet vákuummal vagy villamosan működtetett. A modern rendszerekben elektromos (egyenáramú vagy léptetőmotoros) EGR-szelepet használnak beépített helyzet-visszajelzővel. Az ECU a visszajelző jel alapján zárt hurkú szabályozással állítja a szelep nyitását.

Példa. Dízelmotornál részterhelésen az ECU 10–40%-os EGR-arányt is beállíthat; a visszajelző potenciométer 0,5–4,5 V jelet ad a nyitás függvényében (ellenőrizendő gyártói adat).

Tipikus hiba. A korom és olajpára lerakódás miatt a szelep beragad, a visszajelző jel ellentmondásos lesz, hibakódot és teljesítményvesztést okoz.

31.3.9. Turbó nyomásszabályozó

A turbófeltöltős motoroknál a töltőnyomást elektronikusan szabályozzák. Két gyakori megoldás:

- **Wastegate (megkerülő szelep):** egy pneumatikus vagy elektromos aktuátor nyitja a turbina megkerülő szelepét, ezzel korlátozza a turbina fordulatszámát és a töltőnyomást. Az ECU a töltőnyomás-érzékelő jele alapján PWM-mel vezérel egy mágnesszelepet, amely a vákuum/túltöltő nyomást kiadja az aktuátorra.
- **Változtatható geometriájú turbina (VGT):** állítható vezetőgyűrű vagy lapátok segítségével változtatja a turbina hatásfokát. Az ECU elektromos motoros vagy pneumatikus állítóművel állítja a pozíciót, visszajelző jel segítségével.

A turbószabályozó az emisszió és a teljesítmény egyensúlyát tartja; hibája túltöltés-védelmi üzemmódot (overboost) és hibakódot okoz.

31.3.10. Tartályszellőztető szelep

A benzinüzemű járművek párolgáscsökkentő rendszerében a széntöltetű tartályból a kigőzölgést a **tartályszellőztető szelep** (EVAP purge valve) időszakosan a szívócsőbe vezeti. Az ECU a lambdaszabályozásra való tekintettel PWM-mel szakaszosan nyitja, hogy ne borítsa fel a keveréket. A szelep hibája (ragadás, tekercsszakadás) a motor járását és az emissziót rontja.

31.3.11. Beavatkozó vizsgálat elve

A diagnosztika során az alábbi elvi lépéseket követjük; a konkrét mérési adatok és kapcsolási rajzok mindig a gyártói javítási utasításból származnak.

Szabály. A beavatkozó vizsgálatot **feszültségmentes állapotban kezdjük**: gyújtás ki, kulcs eltávolítva, akkumulátor negatív saru lekötve (a gyártó előírása szerint, adatvesztés elkerülése mellett). Csak ezután bontjuk a csatlakozót és mérünk ellenállást.

Ellenőrzési sorrend:

1. **Szemrevételezés:** csatlakozó korrózió, törött vezeték, sérült szigetelés, mechanikai rongálódás.
2. **Tekercsellenállás mérése:** multiméterrel, a beavatkozó csatlakozóján a megfelelő pólusok között. Például egy injektor ellenállása jellemzően 11–17 Ω (benzinmotor, ellenőrizendő gyártói adat), egy gyújtótekercs primer ellenállása 0,3–1,5 Ω. A mért érték eltérése tekercsszakadást vagy zárlatot jelez.
3. **Vezérlőjel vizsgálata:** oszcilloszkóppal az ECU felőli csatlakoztatóra visszakötve, a beavatkozó csatlakozóján vagy visszapróbálva. A jelalak jellegzetes: injektor esetén négyszögimpulzus, gyújtásnál zárási idő és megszakítási csúcs. A feszültségszint és időtartam összehasonlítása a gyártói adattal.
4. **Beavatkozó teszt:** rendszerteszterrel aktiváljuk az adott beavatkozót (pl. injektor kattogtatás, EGR-szelep mozgatás, fojtószelep nyitás-zárás). Figyeljük a visszajelző jelet és a hangot.

Figyelem – gyújtás és injektor oszcilloszkópos mérése. A gyújtás primer oldalán lekapcsoláskor több száz volt, a szekunder oldalon több tíz kilovolt feszültség keletkezik (ellenőrizendő: gyártói adat); az injektor lekapcsolási tüskéje kb. 60–80 V, ami a műszer bemenetének kiválasztásánál számít. Járó motornál gyújtótekercset, gyertyacsatlakozót nem húzunk le és nem érintünk; a szekunder jelet csak a gyártó által előírt kapacitív vagy induktív érzékelővel mérjük, a primer jelet osztóval (pl. 10:1 vagy 20:1) védett bemeneten. Szívritmus-szabályozót (pacemaker) viselő személy gyújtási rendszeren nem dolgozik. Ha egy henger gyújtását kiiktatjuk, az injektorát is le kell tiltani, különben a katalizátor károsodik.

Figyelem. A befecskendező rendszerek nagynyomású oldalán (különösen közös nyomásterű dízelmotoroknál) a mért értékek és a beavatkozó teszt a jármű saját veszélyeit hordozza: a nagynyomású tüzelőanyagsugár bőrbe hatolhat, ezért a rendszer nyomásmentesítése és a gyártói eljárás betartása kötelező.

Továbbvitt eredmény. A beavatkozók itt megismert vezérlési módjait (PWM, csúcsáram–tartóáram, zárásszög) és a mérési elveket használjuk az Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal alfejezetben; ott részletesen tárgyaljuk a konkrét hullámformák kiértékelését és a hibaazonosítást.

31.3.12. Minőségellenőrzés

A beavatkozók ellenőrzéséhez az alábbi ellenőrzőlista használható. Az értékek **tanulási példák**, és minden konkrét járműnél a gyártói javítási adat a mérvadó.

Beavatkozó	Jellemző ellenőrzés	Példaérték	Megjegyzés
Injektor	tekercsellenállás	11–17 Ω	ellenőrizendő gyártói adat
Injektor	vezérlőimpulzus idő	1–10 ms	terhelésfüggő
Gyújtótekercs	primer ellenállás	0,3–1,5 Ω	ellenőrizendő
Gyújtótekercs	zárási idő	2–5 ms	a fedélzeti feszültségtől függ (ellenőrizendő)
Elektronikus fojtószelep	visszajelző feszültség	0,5–4,5 V	két jel ellentétes irányban
EGR-szelep	visszajelző feszültség	0,5–4,5 V	nyitás arányában
Tartályszellőztető szelep	tekercsellenállás	10–30 Ω	ellenőrizendő

Valós életbeli alkalmazás.

Egy hét-nyolc éves dízelmotoros autónál alapjáraton remegés, füstölés és időnként vészüzemre váltás jelentkezett. A rendszerteszter hibakódot mutatott: EGR-szelep visszajelző jel érvénytelen. Az autószerelő kiolvasta az élő adatokat: a visszajelző feszültség 0,9 V-nál nem változott, pedig a szelep nyitása 40%-ot kért. Először a csatlakozót és vezetékeket ellenőrizte, majd multiméterrel megmérte a visszajelző kimenetet. A jel nem következett. A szelep kiszerelésekor erős koromlerakódást talált; a szeleptányér beragadt. A szelep tisztítva és újratanítva (adaptálva) lett, a hibakód törlése után próbaúton a jel 0,5–3 V között változott, a motor járása rendeződött. Tanulság: a beavatkozó teszt és az élő adatok megfigyelése hamar lokalizálja a hibát.

Gyakorlati útmutató – beavatkozó-ellenőrzés munkalap

Cél: injektor tekercsellenállás mérése és vezérlőjel ellenőrzése, beavatkozóteszt végrehajtása.

Jármű- és adatazonosítás: alvázszám, motorszám, típus, évjárat, motorkód; a gyártói javítási adatból a szükséges ellenőrzési értékek.

Szerszámok, mérőeszközök: multiméter, oszcilloszkóp, rendszerteszter, bontószerszám, védőkesztyű, szigetelőszőnyeg, elszívó (ha motor jár).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A motor járhat közben az elszívás kötelező; ügyelj a forgó részekre, forró felületekre és a tüzelőanyag rendszerére.

Munkalépések:

1. Rögzítse a jármű adatait, az ügyfél panaszát, a hibakódokat.
2. Állítsa le a motort, vegye le a gyújtást, várja meg a gyártó előírta időt (pl. kondenzátorok kisülése) – ellenőrizendő.
3. Kösse le az akkumulátor negatív saruját a gyártói adatmentési eljárás betartásával.
4. Keresse meg az injektor csatlakozóját; szükség esetén távolítsa el a motorburkolatot.
5. Mérje multiméterrel az injektor tekercsellenállását a csatlakozó megfelelő pólusai között. Hasonlítsa össze a gyártói adattal (pl. $12 \pm 2\,\Omega$); eltérés esetén cserélje az injektort.

6. Csatlakoztassa az oszcilloszkópot a visszakötött csatlakozóra (vagy használjon visszapróbáló tűt). Indítsa be a motort, és figyelje a vezérlőimpulzust. Ellenőrizze az amplitúdót és az időtartamot.
7. Kapcsoljon rendszertesztert, válassza a beavatkozó tesztet (injektor aktiválás), és hallgassa az injektor kattogását. Figyelje, hogy a teszt alatt a motor fordulatszáma változik-e.
8. A mérési eredményeket rögzítse a munkalapon; végezzen próbautat, és törölje a hibakódot, majd ellenőrizze a readiness státuszt.

Tipikus hibák.

1. **Hiba:** Ellenállásmérést a csatlakozó bontása nélkül, a vezérlőegységre csatlakoztatva végeznek. Ez téves értéket adhat, és károsíthatja az ECU-t. **Helyes gyakorlat:** mindig feszültségmentesen, a beavatkozó oldali csatlakozón mérjünk.
2. **Hiba:** A zárásszöget nem ellenőrzik, csak a gyújtótekercs ellenállását; így egy hibás töltésszabályozás rejtve marad. **Helyes gyakorlat:** oszcilloszkóppal is vizsgáljuk a primer jel időbeli lefutását.
3. **Hiba:** Az EGR-szelep tisztítása után elfelejtik elvégezni az adaptációt; a motor egyenetlenül jár, hibakód tér vissza. **Helyes gyakorlat:** minden cserénél/tisztításnál végezzük el a gyártói adaptációs eljárást.

31.3.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az injektor nyitási ideje és a befecskendezett tüzelőanyag-mennyiség között arányos összefüggés van? Indokolja röviden.
2. Mi a csúcsáram–tartóáram üzemmód célja az injektor működtetésénél?
3. Számítsa ki a főtengely-fokban mért zárásszöget, ha a ciklusidő 60 ms, a zárási idő 4 ms.
4. Miben különbözik az elektronikus fojtószelep az alapjárat-szabályozós régi rendszertől?
5. Miért nem mérhetjük az EGR-szelep helyzet-visszajelzőjének ellenállását bekötött, feszültség alatti csatlakozón, és hogyan mérjük helyette a jelét?

31.3.14. Feladatok

1. feladat (A) Definíció: hogyan működteti az ECU az injektort, és milyen paraméterrel szabályozza az adagolt mennyiséget?

2. feladat (A) Számolja ki, mekkora tüzelőanyag-térfogatot adagol egy injektor $t_i = 4{,}0\,\text{ms}$ nyitási idő alatt, ha statikus átfolyása $q_{\text{inj}} = 180\,\text{cm}^3/\text{min}$.

3. feladat (B) Egy négyütemű motor fordulatszáma $n = 4000\,1/\text{min}$. Az ECU zárási ideje $t_z = 2{,}5\,\text{ms}$. Számítsa ki a zárásszöget főtengely-fokban.

4. feladat (B) Adott egy elektronikus fojtószelep visszajelző jele: az 1. potenciométer 0,5 V (zárt) – 4,5 V (nyitott), a 2. potenciométer 4,5 V (zárt) – 0,5 V (nyitott). Az ECU élő adatban 2,0 V-ot és 3,2 V-ot mutat. A gyártói tűrés: a két jel összege $5{,}0\,\text{V} \pm 0{,}1\,\text{V}$ (tanulási példa). Lehetséges-e ez normál működés esetén? Indokolja.

5. feladat (C) Egy injektor (nagy impedanciájú, szívócsőbe fecskendező típus) tekercsellenállása a gyártói adat szerint 12–16 Ω, de a multiméter 2,3 Ω-t mér. Milyen hibára következtethetünk, és milyen további vizsgálatot javasol?

6. feladat (D) Egy turbófeltöltős dízelmotornál túltöltés-védelmi üzemmód és „turbó mágnesszelep áramkör” hibakódja van. Rendszerteszterrel a beavatkozó teszt során a mágnesszelep nem kattog. A csatlakozón a tápfeszültség 12 V, a vezérlőjel azonban 0 V (nincs PWM). Mi a következtetés? Indokolja a diagnosztikai lépéseket.

31.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igen, mert a nyitási idő és az átfolyási tényező szorzata adja a térfogatot: $V_{\text{ü}} = q_{\text{inj}} t_i$.
2. A csúcsáram gyors nyitást biztosít, a tartóáram pedig kisebb hőt és fogyasztást, miközben a szelep nyitva marad.
3. $\varphi_z = 720^\circ \cdot 4/60 = 48^\circ$ főtengelyszög (elosztótengely-fokban 24°).
4. Az elektronikus fojtószelep a fojtószelepet motorral állítja, és nincs külön alapjárat-szabályozó; a régi rendszer mechanikus bowdenes fojtószelepet és külön megkerülő légcsatornás szabályozót használt.
5. Feszültség alatt az ellenállásmérés hamis értéket ad, és a műszert vagy az ECU-t károsíthatja; a jelet feszültségméréssel, visszapróbálva mérjük, az ellenállást pedig lekötött csatlakozón.

1. feladat (A) Az ECU egy teljesítménytranzisztorral kapcsolja az injektor tekercsét; a nyitási időt (t_i) szabályozza, amellyel arányos a befecskendezett tüzelőanyag-mennyiség.

2. feladat (A) $q_{\text{inj}} = 180\,\text{cm}^3/\text{min}$, $t_i = 4\,\text{ms}$. Számoljuk: $V = 180\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times \frac{4}{60\,000}\,\text{min} = 0,012\,\text{cm}^3 = 12\,\text{mm}^3$. Tehát 12 mm³.

3. feladat (B) $T = \frac{120\,000}{4000} = 30\,\text{ms}$. $\varphi_z = 720^\circ \cdot \frac{2,5}{30} = 60^\circ$. A zárásszög 60° főtengelyszög (elosztótengely-fokban 30°).

4. feladat (B) Az 1. jel 2,0 V, így a nyitás $(2,0 - 0,5)/4,0 = 37,5\,\%$. A 2. jel várt értéke $4,5 - 0,375 \cdot 4,0 = 3,0\,\text{V}$; a két jel összege normálisan 5,0 V. A mért $2,0 + 3,2 = 5,2\,\text{V}$ a $\pm 0,1$ V-os tűrésen kívül esik: a két jel nem hihető, az ECU hibát tárol és vészüzemre vált. Ellenőrizzük a jeladók tápját (5 V), testét, a csatlakozót, majd a fojtószelep-egységet.

5. feladat (C) Előbb ellenőrizzük, hogy a típus valóban nagy impedanciájú-e (az alacsony impedanciájú, kb. 1–3 Ω-os injektoroknál a 2,3 Ω éppen normális érték). Ha igen, az alacsony ellenállás (2,3 Ω) a menetzárlatra utalhat. Ezt követően javasolt az injektor ki- és beszerelés utáni ellenőrzése, valamint cseréje, mert a menetzárlatos injektor nem működik megfelelően.

6. feladat (D) A vezérlőjel hiánya az ECU és a mágnesszelep közötti szakadást, vezetékhibát, vagy az ECU meghibásodását jelzi. A tápfeszültség megléte kizárja a biztosíték/tápellátás hibát. A diagnosztikai lépések: feszültségmentesítés után ellenőrizni a vezetékek folytonosságát, ellenállását, esetleg oszcilloszkóppal a kimenetet; ha a vezetékek jók, az ECU végfokozata hibás.

31.3.16. Rövid összefoglaló

Ebben az alfejezetben a motorirányítás legfontosabb beavatkozóit tekintettük át: a befecskendezőszelepeket, a gyújtótekercseket, az elektronikus fojtószelepet, az alapjárat-szabályozót, az EGR-szelepet, a turbó-nyomásszabályozót és a tartályszellőztető szelepet. A beavatkozók jellemzően kapcsolóüzemű, PWM-vezérelt elemek; az injektoroknál a csúcsáram–tartóáram mód gyors nyitást és kis hőtermelést biztosít. A befecskendezett tüzelőanyag-mennyiség a nyitási idővel arányos: $V_{\text{ü}} = q_{\text{inj}} t_i$. A gyújtótekercsnél a zárási idő/szög meghatározza a primer áram nagyságát; a zárásszög számítható a ciklusidőből. Az elektronikus fojtószelep a pedáljelből állítja a levegőmennyiséget és átveszi az alapjárat-szabályozást. A diagnosztikai vizsgálat során feszültségmentesítés után tekercsellenállást mérünk, majd oszcilloszkóppal és rendszerteszterrel ellenőrizzük a vezérlőjeleket és a működést. Minden mért értéket a gyártói javítási adattal kell összevetni; a megadott példaértékek tanulási célúak. A beavatkozók vezérlésének elveit a Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal alfejezetben alkalmazzuk a részletes hibakeresésnél.

31.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és kapcsolási rajzok (pl. injektor vezérlőkapcsolás, EGR visszajelző értékek), a gyártó által megadott beavatkozóteszt-eljárások, a vonatkozó OBD/EOBD diagnosztikai szabványok (ISO 15031), valamint a motorirányítás alapjait tárgyaló szakkönyvek. Az alábbi állítások ellenőrizendők: a befecskendezők jellemző nyitási idői és áramértékei, a gyújtótekercs primer ellenállás- és zárási idő tartománya, az injektor tekercsellenállás példaértéke, az EGR visszajelző feszültség tartománya, a mágnesszelepek ellenállásai. A feltüntetett számok tanulási példák, konkrét járműnél a gyártói adat a mérvadó. A jogszabályi hatásokat az alfejezet nem tárgyalja, de a beavatkozók diagnosztikája a hatályos környezetvédelmi és munkavédelmi előírások betartásával végezhető.

32 Adatbuszok és vezetőtámogató rendszerek

32.1. Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet

32.1.1. Motiváció

Egy mai autóban harminc–hetven elektronikus vezérlőegység (ECU) is dolgozhat: motorvezérlő, ABS, légzsák, műszeregység, klíma, ajtómodulok, kamerák, radar. Ha minden egyes jelhez – például a vízhőmérséklet, a kerékfordulatszám, a gázpedálállás – külön vezetéket és külön bemenetet kellene kihúzni, akkor a gépjármű kábelkötege több száz kilogramm és több kilométer vezeték lenne. Ráadásul minden új funkciónál újabb vezetékeket kellene tervezni, a csatlakozók száma megsokszorozódna, a hibakeresés pedig áttekinthetetlenné válna. A járművekben ezért a vezérlőegységek egy-egy közös adatátviteli rendszeren, **buszrendszeren** osztoznak: a jeleket digitális üzenetek formájában, címzéssel és hibakezeléssel továbbítják. A legismertebb és legelterjedtebb járműipari adatbusz a **CAN** (Controller Area Network), de mellette a komfort- és prémiumrendszerekben LIN, FlexRay, MOST és a gyorsan terjedő autóipari Ethernet is előfordul. Ahhoz, hogy a hibrid diagnosztikai, valamint a vezetőtámogató rendszerek kalibrálását és a fedélzeti diagnosztikát megértsd, először látnod kell a buszok felépítését és az adatátvitel alapjait.

32.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy hosszú, két eres, összesodort vezetékpárt, amely keresztülfut az autón az első fényszórótól a hátsó lökhárítóig. A vezetékpár két ágát CAN-High (CAN-H) és CAN-Low (CAN-L) néven jelöljük, a csavart érpár a mágneses zavarokat igyekszik kioltani. A busz mindkét végén egy-egy **120 Ω-os lezáró ellenállás** ül a CAN-H és CAN-L között. A buszra több vezérlőegység csatlakozik, mindegyik egy CAN-kontrolleren és egy CAN-adóvevőn (transceiveren) keresztül. Amikor a motor-ECU elküldi a hűtőfolyadék-hőmérsékletet, a jel nem egyetlen vezetéken halad, hanem a két szál feszültségkülönbsége változik. A műszeregység ezt a különbséget figyeli, ezért a közös zavarófeszültség (például egy gyújtászaj) mindkét vezetéken egyszerre jelenik meg, és a különbségképzés kiejti. Ez a **differenciális jelátvitel** a CAN robusztusságának egyik kulcsa.

32.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Adatbusz a járműben olyan közös átviteli közeg, amelyre több elektronikus vezérlőegység csatlakozik, és amelyen digitális üzeneteket cserélnek meghatározott protokoll szerint. A busz nem csak a fizikai vezetéket jelenti, hanem a hozzá tartozó szabályrendszert (protokollt) is, amely meghatározza, ki mikor beszélhet, milyen formátumban és mi történik hiba esetén.

Definíció. Differenciális jelátvitel esetén az információt nem egyetlen vezeték földpotenciálhoz képest mért feszültsége, hanem két vezeték feszültségkülönbsége hordozza. A CAN esetében a vevő a $U_{\text{diff}} = U_{\text{CAN-H}} - U_{\text{CAN-L}}$ értéket figyeli; a nagy abszolútértékű különbség domináns, a nulla körüli recesszív bitet jelent.

Definíció. Gateway (átjáró) olyan csomópont, amely különböző buszrendszerek között továbbítja, szűri, adott esetben konvertálja az üzeneteket. Például a motorfordulatszám a hajtáslánci CAN-ról a komfort-CAN-ra vagy a LIN hálózatra a gatewayen keresztül jut el.

Definíció. Arbitráció a CAN-ben az az eljárás, amellyel több egység egyidejű adási kísérletekor a hálózat eldönti, melyik üzenet kapott jogot az adat továbbítására. A CAN esetében ez bitenként, az azonosító mezőben történik: a domináns bitet adó üzenet nyer, a vesztes pedig azonnal vétel üzemmódba vált.

32.1.4. A járműipari buszok áttekintése

A buszrendszerek megválasztása mindig kompromisszum: a gyors, determinisztikus és hibatűrő rendszerek drágák, az olcsóbb buszok viszont lassúak vagy kevésbé megbízhatóak. A következő táblázat a legfontosabb jellemzőket foglalja össze.

Busz	Jellemző adatsebesség	Topológia	Költségszint	Jellemző alkalmazás
CAN High-speed	125 kbit/s – 1 Mbit/s	kétvezetékes busz	alacsony	hajtáslánc, fék, menetdinamika
CAN Low-speed	125 kbit/s	kétvezetékes, hibatűrő	alacsony	komfort, ajtómodulok
LIN	19,2 kbit/s	egyvezetékes, master–slave	nagyon alacsony	ablakemelő, ülés, kapcsolók
FlexRay	10 Mbit/s	kétcsatornás, busz/csillag	magas	futómű, x-by-wire, hajtáslánc
MOST	150 Mbit/s (MOST150)	optikai gyűrű	magas	multimédia, infotainment
Ethernet	100 Mbit/s – 1 Gbit/s	csillag, switch	változó	kamera, radar, OTA frissítés

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és gyártói adat).

Összefüggés. A busz kiválasztásakor a fő szempontok: a szükséges átviteli sebesség, a determinizmus (a válaszidő garantálhatósága), a hibatűrés, a kábelezés költsége és a tömeg. A lassú, de olcsó LIN a nem időkritikus komfortfunkciókra ideális, a gyors FlexRay a x-by-wire rendszerekhez, a nagy sávszélességű Ethernet pedig a kamerás- és radaros vezetőtámogató rendszerekhez kell.

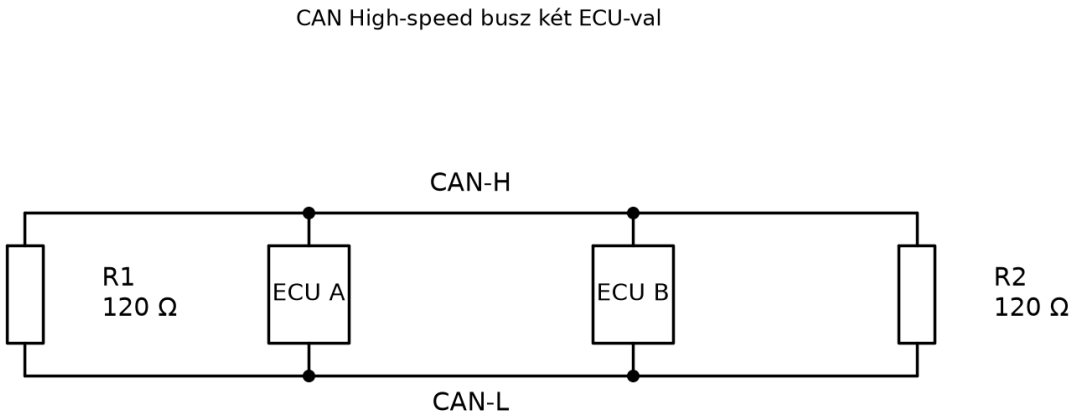
32.1.5. A CAN hálózat fizikai felépítése

A CAN High-speed (HS-CAN, ISO 11898 – ellenőrizendő: aktuális kiadás) a járműhajtás és a menetbiztonsági rendszerek leggyakoribb busza. Fizikailag két, egymáshoz csavart, árnyékolatlan vagy árnyékolt vezeték alkotja: a CAN-H és a CAN-L. A csavart érpár csökkenti a külső elektromágneses zavarok behatolását, mert a zavar többnyire közös módusú feszültséget indukál mindkét szálban, amit a különbségképzés kiejt. A busz nagy sebessége ellenére (akár 1 Mbit/s) a hosszúság és a sebesség összefügg: rövid, néhány tíz méteres járműhálózaton az 1 Mbit/s elérhető, nagyobb hossz esetén kisebb sebességet kell választani.

A busz **lezárása** a két végén – és csak a két végén – egy-egy 120 Ω-os ellenállással történik (2 × 120 Ω). Ez az ellenállás a csavart érpár hullámimpedanciájához igazodik, és megakadályozza,

hogy a jelfrontok a busz végéről visszaverődjenek, ami torzítaná a jelet. A két párhuzamosan kapcsolt lezáró ellenállás egyenáramú ellenállása épp 60 Ω: ha tehát a gyújtás kikapcsolása és megfelelő várakozás után a busz CAN-H és CAN-L ága között ellenállást mérünk, ép hálózaton körülbelül 60 Ω-ot kell kapnunk (a tényleges érték típusonként eltérhet, ezért a gyártói javítási adat az irányadó). Ha csak 120 Ω-ot mérünk, akkor valamelyik lezáró ellenállás hiányzik vagy szakadt; ha ennél sokkal kisebbet, akkor rövidzár vagy több lezáró ellenállás van a hálózatban.

A következő kapcsolási rajz a CAN-hálózat fizikai felépítését szemlélteti: két vezérlőegység csatlakozik a buszra, a CAN-H és CAN-L vezeték a két végén 120 Ω-os ellenállással van lezárva.



32.1. ábra. CAN High-speed busz két ECU-val - Tanulási vázlat: a CAN-H és CAN-L párhuzamos vezetékpár; az ECU A és az ECU B adóvevője rövid leágazással csatlakozik mindkét vezetékre, a 120 Ω-os lezárások (R1, R2) a busz két végén vannak. A valódi járműben a lezáró ellenállások az ECU-kben vagy a csatlakozókon lehetnek (ellenőrizendő: gyártói rajz).

Az ECU A és az ECU B rövid leágazással csatlakozik a buszra (mindkét vezérlő adóvevője a CAN-H és a CAN-L vezetékre is); a 120 Ω-os lezárások a busz két végén vannak. A valódi járműben a lezáró ellenállás gyakran az ECU-n belül van, ezért a rajzon látható „külön” ellenállás a kábelkötegben nem mindig található meg (ellenőrizendő: gyártói rajz).

A CAN-adóvevő a digitális jeleket a következő módon alakítja feszültségszintekké: nyugalmi (**recesszív**) állapotban mindkét vezeték körülbelül 2,5 V-on van (a közös módusú feszültség), így a differenciális feszültség $U_{\text{diff}} \approx 0\,\text{V}$. **Domináns** bitnél a CAN-H körülbelül 3,5 V-ra emelkedik, a CAN-L pedig körülbelül 1,5 V-ra süllyed, így a különbség $U_{\text{diff}} \approx 2{,}0\,\text{V}$ lesz. A vevő oldalon az adatot tehát nem a testhez, hanem egymáshoz képest kell mérni. Ha például egy zavar mindkét vezetéken +1 V-ot emel, a recesszív szintből 3,5 V és 3,5 V lesz, a különbség pedig továbbra is 0 V – ezért a CAN nagyon zavartűrő.

Számítás. Ha domináns bitnél $U_{\text{CAN-H}} = 3{,}5\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} = 1{,}5\,\text{V}$, akkor

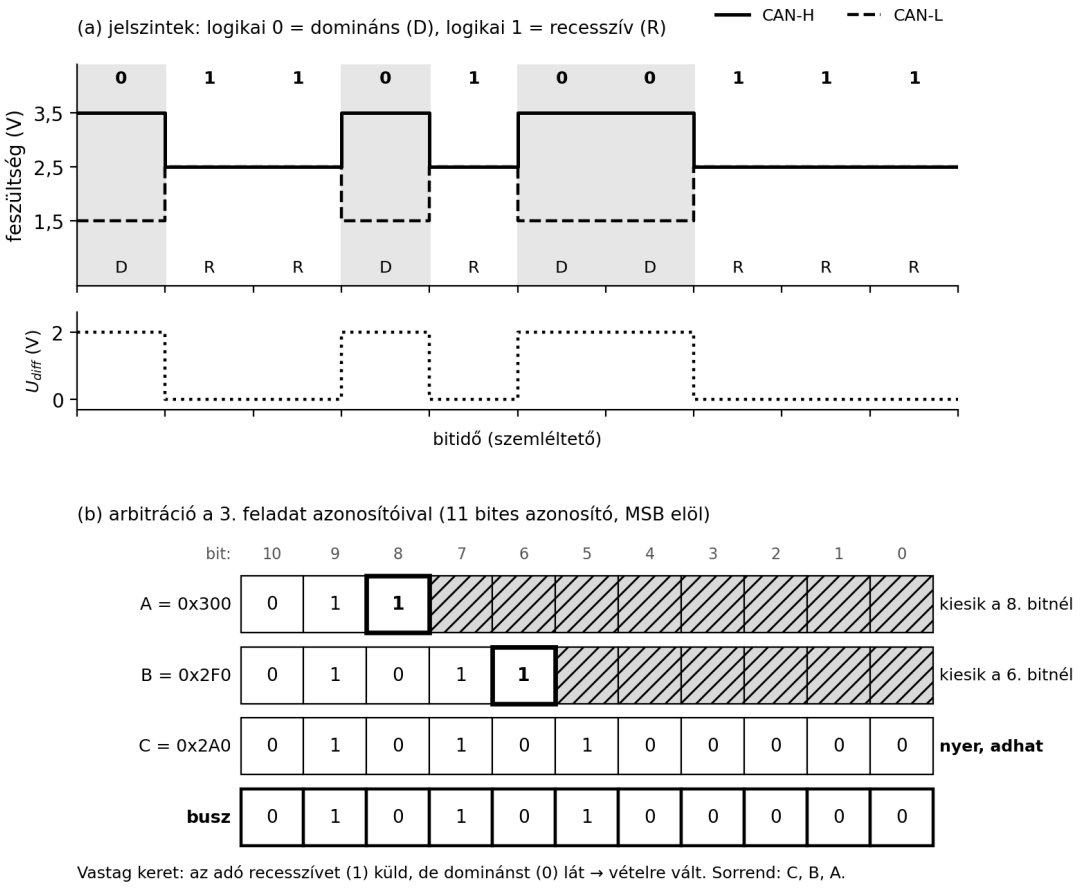
$$\begin{aligned} U_{\text{diff}} &= U_{\text{CAN-H}} - U_{\text{CAN-L}} \\ &= 3{,}5\,\text{V} - 1{,}5\,\text{V} = 2{,}0\,\text{V}. \end{aligned}$$

Recesszív bitnél $U_{\text{CAN-H}} \approx 2{,}5\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} \approx 2{,}5\,\text{V}$, tehát $U_{\text{diff}} \approx 0\,\text{V}$. Ez a kettes számrendszerbeli 1 és 0 megfeleltetése (domináns = logikai 0, recesszív = logikai 1 a CAN keretben).

32.1.6. A CAN üzenetkeret és az arbitráció

A CAN klasszikus adatkerete a következő fő részekből áll: **SOF** (start of frame, a keret kezdete), **azonosító** (identifier, standard esetben 11 bit, kiterjesztett változatban 29 bit), **vezérlőmező**, amely az adatbájtok számát (DLC) és a formátumjelzőket tartalmazza, **adatmező** (klasszikus CAN: 0–8 bájt), **CRC** ellenőrzőösszeg, **ACK** nyugtázó mező, és **EOF** (end of frame). A CAN FD (Flexible Data-rate) további fejlesztése nagyobb adatmezőt (gyakorlatilag 64 bájtig, ellenőrizendő: aktuális ISO 11898-1 kiadás) és az adatfázisban nagyobb bitsebességet tesz lehetővé, miközben az arbitrációs fázis lassabb marad a kompatibilitás miatt.

Az **arbitráció** során az azonosító mező bitjeit minden adó egyszerre küldi, és egyszerre figyeli a buszt. Ha egy adó recesszív bitet írna, de a buszon domináns bitet lát, akkor elveszítette az arbitrációt, és azonnal vételi módba kapcsol. Mivel a domináns bit a logikai 0, és a busz bitértékét a domináns határozza meg, az **alacsonyabb numerikus értékű azonosító** élvez prioritást. Például ha a motor-ECU üzenetének azonosítója $0x100$ (azaz 256 decimálisan), az ABS üzeneté pedig $0x0F0$ (240 decimálisan), akkor az ABS üzenet nyer, mert 11 biten $0x100 = 001\,0000\,0000$, $0x0F0 = 000\,1111\,0000$; az első eltérő bitnél (balról a 3.) az ABS domináns 0-t küld, a motor-ECU recesszív 1-et, ezért a motor-ECU elveszíti az arbitrációt.



32.2. ábra. CAN-jelszintek és arbitráció: (a) CAN-H (folytonos) és CAN-L (szaggatott) egy 10 bites mintán, alatta a különbségi feszültség; (b) a 3. feladat három azonosítójának bitenkénti arbitrációja – A a 8., B a 6. bitnél esik ki, C nyer (szemléltető, nem mért jel)

Az ábra (a) részén látszik, hogy domináns bitnél a két vezeték szétválik (3,5 V és 1,5 V, $U_{\text{diff}} \approx 2\,\text{V}$), recesszív bitnél mindkettő 2,5 V-on van. A (b) rész a busz „huzalozott ÉS” viselkedését mutatja:

a busz szintje minden bitnél a domináns 0, ha legalább egy adó 0-t küld; az az adó, amely 1-et küld, de 0-t lát a buszon, kiesik. Az interaktív változatban az arbitráció bitenként léptethető, és saját hexadecimális azonosítók is kipróbálhatók.

32.1.7. LIN, FlexRay, MOST és autóipari Ethernet

A **LIN** (Local Interconnect Network) egy **egyvezetékes, master–slave** busz, jellemzően 19,2 kbit/s sebességgel. A LIN-hálózaton egy master egység ütemezi a kommunikációt, a slave-ek csak válaszolnak. A LIN olcsó, ezért az ablakemelők, tükrök, esőszenzor, ülésállítás, kapcsolópanelek és hasonló, nem időkritikus komfortfunkciók hálózata. A LIN jele nem differenciális, hanem egyetlen vezetéken a járműtesthez képest változik, így zavartűrése kisebb, mint a CAN-é. Nyugalmi (recesszív) állapotban a LIN-vezeték az akkumulátorfeszültség közelében van (a master felhúzó ellenállása miatt), domináns bitnél a test közelébe húzzák; multiméterrel forgalom közben az átlag az akkumulátorfeszültség és a test közötti érték, oszcilloszkóppal kb. 0–12 V közötti négyszögjel látható (ellenőrizendő: gyártói adat). A LIN-t sokszor egy CAN-ról kapott gateway-en keresztül érik el.

A **FlexRay** nagy sebességű (10 Mbit/s), determinisztikus, hibatűrő busz, amelyet elsősorban a futómű, x-by-wire és nagy biztonságkritikus hajtáslánci rendszerek használnak. Két független csatornával és időosztásos ütemezéssel dolgozik, így garantálható, hogy egy üzenet adott időn belül célba ér. A FlexRay fizikai rétege is differenciális, és gyakran csillagtopológiát használ aktív hubokkal. A költsége magas, ezért a tömegpiaci autókban ritkább, a prémium és a biztonságkritikus alkalmazásokban viszont elterjedt.

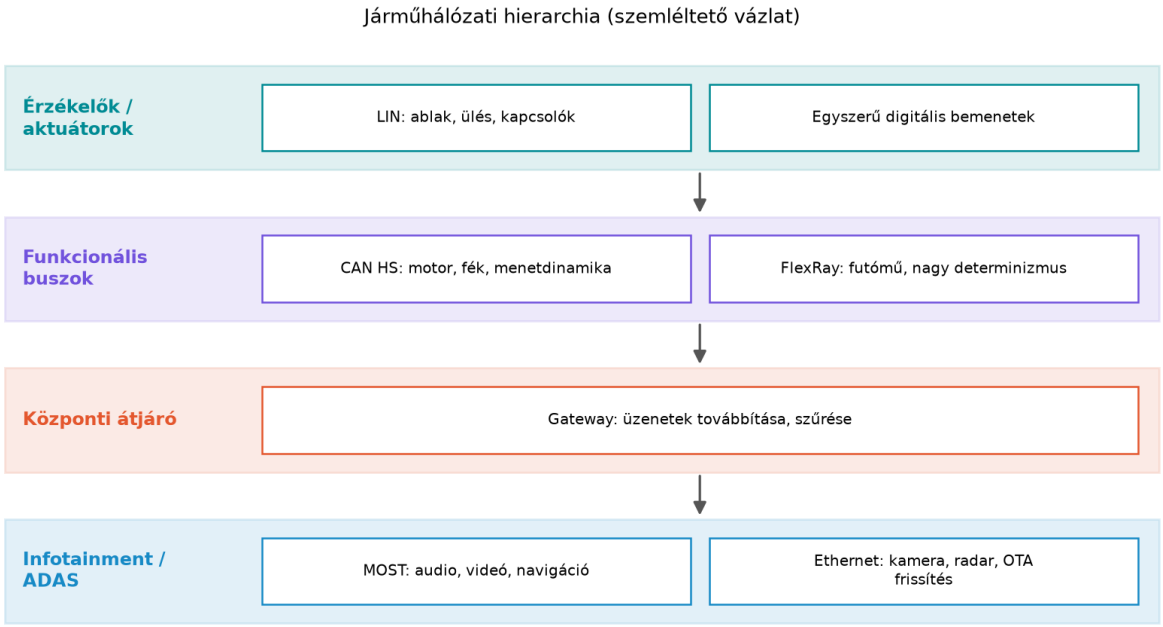
A **MOST** (Media Oriented Systems Transport) elsősorban **optikai szálas gyűrű**, amely a multimédia- és infotainment-rendszerek nagy sávszélességű összeköttetésére szolgál. A MOST150 már 150 Mbit/s sebességet érhet el, és az audio-, video- és navigációs adatok átvitelére optimalizálták. Az optikai szál immunis az elektromágneses zavarokra, nem sugároz, de a csatlakozók és a szálak kezelése gondos munkát igényel, és a törés, szennyeződés azonnal hibát okoz.

Az **autóipari Ethernet** az utóbbi években terjed leginkább a vezetőtámogató rendszerek (ADAS) kameráinak, radarjainak és a fedélzeti szoftverfrissítés (OTA) adatforgalmának kiszolgálására. A szabványos Ethernet a hagyományos irodai hálózatból származik, de a járműipari változat **egyetlen csavart érpáron** is működik (100BASE-T1, 1000BASE-T1), ami csökkenti a kábel súlyát és költségét. Az Ethernet csillagtopológiát használ switch-ekkel, jól skálázható, és lehetővé teszi a TCP/IP protokollcsalád használatát, ami a gyártói és diagnosztikai kommunikációt is modernizálja.

32.1.8. Topológiák és a gateway

A buszhálózat topológiája azt írja le, hogy a csomópontok milyen elrendezésben kapcsolódnak egymáshoz. A CAN alapvetően **busz** topológiájú: minden résztvevő ugyanarra a közös vezetékre csatlakozik, a busz végein lezárásokkal. A LIN többnyire egyvezetékes busz vagy kis csillag, a FlexRay busz vagy csillag, a MOST gyűrű, az Ethernet pedig csillag. A gyakorlatban a modern járművekben több különböző busz létezik egymás mellett, és ezeket **gateway** köti össze. A gateway lehet külön vezérlőegység, vagy egy meglévő egység (például műszeregység, komfort-ECU) része. A feladata, hogy az egyik buszról érkező üzenetet a másik buszra átemelje, szűrje és konvertálja; ezen keresztül éri el a diagnosztikai műszer is a különböző hálózatokat. Ha a gateway nem működik, egyes alrendszerek közötti kommunikáció megszakad, bár a lokális buszokon az adatforgalom még fennállhat.

A következő rétegábra a járműhálózati hierarchiát szemlélteti: alul az olcsó érzékelő/aktuátor szintek, felette a funkcionális buszok, majd a központi gateway, végül a nagy sávszélességű infotainment és ADAS hálózatok.



32.3. ábra. Járműhálózati hierarchia (szemléltető vázlat) - A mai járművekben a LIN érzékelő/aktuátor szinten, a CAN és FlexRay a funkcionális ECU-k között, az Ethernet és MOST pedig a nagy sávszélességű rendszerek felé használatos. A konkrét architektúra gyártónként eltér (ellenőrizendő: gyártói adat).

32.1.9. Minőségellenőrzés

A CAN-hálózat ellenőrzésekor a három leggyakoribb művelet a lezáró ellenállás mérése, a differenciális feszültségek mérése multiméterrel, valamint az oszcilloszkópos jelalakvizsgálat. Fontos, hogy a vezérlőegységek csatlakozóinak bontása és mérése előtt a gyújtást ki kell kapcsolni, a gyártói várakozási időt be kell tartani, és a gyártói rajz alapján kell azonosítani a CAN-H, CAN-L és a testpontokat. A mérés során a csatlakozókat óvatosan kell kezelni, hogy a sérülékeny tűk ne hajoljanak meg.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A gyújtás kikapcsolását és az akkumulátor lekötését a gyártói eljárás szerint, a hibrid és elektromos járművek nagyfeszültségű rendszerére vonatkozó előírások betartásával kell végezni (ha releváns).

Gyakorlat. A lezáró ellenállás ellenőrzéséhez a járművön keresd meg a CAN-busz legkönnyebben elérhető csatlakozóját, általában a diagnosztikai csatlakozó közelében vagy a gyártói kapcsolási rajz szerint. Kikapcsolt gyújtásnál mérd meg multiméterrel a CAN-H és a CAN-L közötti ellenállást. Ép hálózaton a várt érték körülbelül 60 Ω (két 120 Ω párhuzamosan), de a gyártói előírás ettől eltérhet. Ha 120 Ω-ot mérsz, az egyik lezárás szakadt vagy hiányzik; ha nagyon alacsony értéket, akkor rövidzárra vagy harmadik lezáró ellenállásra gyanakodj. A mérés után győződj meg arról, hogy a csatlakozókat visszaillesztetted.

Figyelem. A CAN-hálózaton multiméterrel feszültséget mérni csak a gyártói áramútrajz és a megfelelő mérési pontok ismeretében szabad. A buszvezetékeket tilos testre vagy tápfeszültségre kötni, mert a vezérlőegységek megsérülhetnek.

32.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy szervizbe érkezik egy személygépkocsi azzal a panasszal, hogy a műszeregység időnként nem mutatja a hűtőfolyadék-hőmérsékletet és a motorfordulatszámot, a hibakódmemóriában pedig kommunikációs hibák találhatók a hajtáslánci CAN buszra vonatkozóan. A járművön a hajtáslánci CAN csatlakozóját megkeresve a gyújtás kikapcsolása után a CAN-H és CAN-L között 120 Ω-ot mérünk, nem pedig a várt 60 Ω-ot. Ez arra utal, hogy az egyik 120 Ω-os lezáró ellenállás hiányzik vagy szakadt. A gyártói rajz szerint az egyik lezárás a motor-ECU-ban, a másik egy jobb oldali csatlakozóházban található. A csatlakozóház megbontásánál kiderül, hogy az egyik tű korrodált, és a lezáró ellenállás nem érintkezik. A csatlakozó tisztítása, a tű kicserélése és a csatlakozóház rögzítése után az ellenállásmérés már 60 Ω-ot mutat. A hibakódok törlése és próbaút után a műszeregység ismét megbízhatóan dolgozik. A hiba gyökere a korrózió okozta szakadás volt; a lezárás hiánya a jelvisszaverődések miatt adatvesztést okozott.

32.1.11. Tipikus hibák

Hiba. A technikus a testhez mért CAN-H vagy CAN-L feszültségből (multiméteres átlagból) az üzenetforgalom épségére következtet. A testhez mért feszültség (jellemzően kb. 2,6 V a CAN-H és kb. 2,4 V a CAN-L vezetéken forgalom közben; ellenőrizendő) a zárlatok – testzárlat, tápzárlat, CAN-H–CAN-L zárlat – felismerésére jó, a bitek és a keretek vizsgálatához azonban kétcsatornás oszcilloszkóp kell, amelyen a két jel tükörképe és a különbségük is látszik; a vevő a két vezeték különbségét értékeli.

Hiba. A lezáró ellenállás mérésénél a busz feszültség alatt vagy túl korán, a kondenzátorok kisülése előtt mérnek, így a mért érték torz. Mindig a gyártói utasítás szerinti nyugalmi állapotban és megfelelő várakozási idő után mérjünk.

Hiba. A CAN, LIN és FlexRay buszokat összekeverik, mert mindegyiknek van „CAN-jellegű” diagnosztikája. Pedig fizikai rétegükben és protokolljukban alapvetően eltérnek; a LIN egyvezetékes, a FlexRay kétcsatornás, időosztásos, a CAN pedig arbitrációs. A hibát az áramútrajz és a gyártói besorolás figyelmen kívül hagyása okozza.

32.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a CAN-H és CAN-L közötti lezáró ellenállások párhuzamos eredője miatt 60 Ω a várt érték, ha mindkét 120 Ω-os lezáró ellenállás ép? Indokold röviden.
2. Mi a különbség a domináns és a recesszív bit között a CAN fizikai rétegén?
3. Melyik üzenet nyer CAN arbitráció esetén: az azonosító $0x200$ vagy az azonosító $0x1A0$? Miért?
4. Miért van szükség gatewayre egy modern járműben, ha több különböző busz (CAN, LIN, FlexRay, Ethernet) van?
5. Igaz-e, hogy a LIN busz sebessége nagyobb, mint a CAN High-speed sebessége? Indokold.
6. Milyen mérési eredmény utal szakadt lezáró ellenállásra, ha a CAN-H és CAN-L közötti ellenállást mérjük?

32.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden az adatbusz, a differenciális jelátvitel és a gateway fogalmát.

2. feladat (A). Számítsd ki a CAN-H és CAN-L közötti differenciális feszültséget domináns bitnél, ha $U_{\text{CAN-H}} = 3{,}6\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} = 1{,}4\,\text{V}$. Recesszív bitnél pedig $U_{\text{CAN-H}} = 2{,}5\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} = 2{,}5\,\text{V}$.

3. feladat (B). CAN arbitráció: az A vezérlőegység azonosítója $0x300$, a B egységé $0x2F0$. A harmadik C egységé $0x2A0$. Az adás előtt mindhárom azonosító bitfolyama elindul. Add meg, milyen sorrendben kapnak adásjogot, és indokold.

4. feladat (B). Egy CAN-hálózaton a két lezáró ellenállás mindegyike 120 Ω. Rajzold le a busz felépítését vázlatosan, és számítsd ki a CAN-H és CAN-L közötti várható egyenáramú ellenállást. Ha ez a 60 Ω helyett 80 Ω-ot mérsz, milyen hibára gyanakodhatsz?

5. feladat (C). Magyarázd el, miért okoz a hiányzó lezáró ellenállás a nagysebességű CAN buszon adatátviteli hibákat, még akkor is, ha az ellenállás értéke csak egy passzív elem. Milyen fizikai jelenség játszik szerepet?

6. feladat (D). Hibakeresés: egy járműben az egyik komfortrendszer (LIN buszon) nem kommunikál a masterrel. A LIN busz feszültsége testhez képest 0 V, a tápellátás 12 V jelen van, a slave egység csatlakozója ép. Milyen további mérést vagy ellenőrzést végeznél, és mi lehet a hiba?

32.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Két azonos, 120 Ω-os ellenállás párhuzamosan: $R_{\text{e}} = \frac{120\,\Omega}{2} = 60\,\Omega$.
2. Domináns bitnél a CAN-H és CAN-L között körülbelül 2 V különbség van (CAN-H magasabb, CAN-L alacsonyabb), recesszív bitnél a különbség közel nulla (mindkettő kb. 2,5 V).
3. Az alacsonyabb azonosító nyer, mert az arbitrációban a domináns (logikai 0) bit uralkodik. A $0x1A0$ (decimálisan kisebb, mint $0x200$) nyer.
4. A gateway továbbítja és szűri az üzeneteket a különböző buszok között, mivel azok fizikai rétege, sebessége és protokollja eltérő; közvetlen összekötésük nem lehetséges vagy nem megbízható.
5. Hamis. A LIN jellemző sebessége 19,2 kbit/s, a CAN High-speed akár 1 Mbit/s is lehet, tehát a CAN gyorsabb.
6. Ha a CAN-H és CAN-L közötti ellenállás 120 Ω (és nem 60 Ω), az egyik lezáró ellenállás hiányzik vagy szakadt.

1. feladat megoldása. - **Adatbusz:** közös átviteli közeg, amelyre több ECU csatlakozik, és digitális üzenetekkel, meghatározott protokoll szerint kommunikál. - **Differenciális jelátvitel:** az információt két vezeték feszültségkülönbsége hordozza; a közös zavarófeszültségek kiesnek. - **Gateway:** átjáró, amely különböző buszrendszerek között továbbítja, szűri, esetleg konvertálja az üzeneteket.

2. feladat megoldása. Domináns bitnél:

$$\begin{aligned} U_{\text{diff}} &= U_{\text{CAN-H}} - U_{\text{CAN-L}} \\ &= 3{,}6\,\text{V} - 1{,}4\,\text{V} = 2{,}2\,\text{V}. \end{aligned}$$

Recesszív bitnél:

$$U_{\text{diff}} = 2{,}5\,\text{V} - 2{,}5\,\text{V} = 0\,\text{V}.$$

3. feladat megoldása.
A CAN azonosító numerikus értéke alapján dönt, minél kisebb a hexadecimális érték, annál nagyobb a prioritás.
- $0x2A0$ (672 decimálisan) a legkisebb, így C nyer először.
- Ezután $0x2F0$ (752 decimálisan) B nyer.
- Végül $0x300$ (768 decimálisan) A kap adásjogot.

A sorrend tehát: C, B, A.

4. feladat megoldása.
A busz vázlata: CAN-H felső vezeték, CAN-L alsó vezeték, bal és jobb végén egy-egy 120 Ω ellenállás a két vezeték között.
A két párhuzamos ellenállás eredője:

$$R_{\text{e}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{120\,\Omega \cdot 120\,\Omega}{120\,\Omega + 120\,\Omega} = \frac{14\,400\,\Omega^2}{240\,\Omega} = 60\,\Omega.$$

Ha 80 Ω-ot mérünk: $R_e = 80\,\Omega$ esetén az egyik ág $R_x = \frac{120 \cdot 80}{120 - 80} = 240\,\Omega$, vagyis az egyik lezáró ágban kb. 120 Ω-mal nagyobb az ellenállás a vártnál (átmeneti ellenállás korrodált csatlakozónál, sérült vezeték vagy nem megfelelő értékű lezáró ellenállás; $120\,\Omega \parallel 240\,\Omega = 80\,\Omega$). Párhuzamos szivárgási ellenállás az eredőt csökkentené, nem növelné; ha az egyik lezárás teljesen hiányzik, $120\,\Omega$ mérhető. A két lezárást külön mérjük (az egyik végpont ECU-ját vagy csatlakozóját leválasztva az ép ágon 120 Ω), így azonosítható a hibás ág. A pontos diagnózishoz a gyártói rajzot kell követni.

5. feladat megoldása.
A CAN busz nagysebességű jelátvitele során a jelfrontok gyors felfutással terjednek a csavart érpáron. A vezetékpárnak hullámimpedanciája van, a lezáró ellenállásnak ehhez kell illeszkednie, hogy a jel reflektálódását megakadályozza. Ha a lezárás hiányzik, a jel a busz végéről visszaverődik, a visszavert hullám torzítja a jelfrontot, sőt feszültségtúllövéseket okoz, amit a vevő hibás bitként értelmezhet. Ezért a hiányzó lezáró ellenállás passzív alkatrész, de a rendszer szintjén fontos szerepet játszik a jeltisztaság megőrzésében.

6. feladat megoldása.
A LIN busz feszültsége testhez képest 0 V, a tápellátás 12 V jelen van. Normálisan a LIN-vezetéken kb. 12 V (nyugalmi szint) vagy 0–12 V közötti négyszögjel mérhető; a tartós 0 V testzárlatra vagy a master felhúzó ágának/tápjának hibájára utal. Ellenőrizni kell a LIN vezeték szempontjából a testhez való rövidzárat vagy a szakadást. A master oldali és a slave oldali csatlakozón meg kell mérni a LIN jelvezeték ellenállását a testhez képest; ha 0 Ω-ot mérünk, akkor rövidzár van. Ha a vezeték szakadt, akkor a slave nem kap jelet; ezt folytonosságméréssel lehet ellenőrizni. A hiba lehet a LIN-jelvezeték szakadása vagy testzárlata, ami meggátolja a kommunikációt.

32.1.15. Rövid összefoglaló

Az adatbuszok a modern jármű üzenetváltó gerincét alkotják, mert a pont-pont vezetékezés tömegét, költségét és bonyolultságát drasztikusan csökkentik. A CAN High-speed a differenciális

jelátvitelre épül: a vevő a CAN-H és CAN-L közötti feszültségkülönbséget értékeli, így a közös módusú zavarok kiesnek. A busz mindkét végét 120 Ω-os lezáró ellenállással kell illeszteni a csavart érpár hullámimpedanciájához; a hiányzó vagy rossz lezárás jelvisszaverődést és adatvesztést okoz. A CAN-keretben az azonosító egyben prioritást ad: az arbitráció során az alacsonyabb azonosítójú üzenet nyer. A LIN olcsó, egyvezetékes master–slave hálózat; a FlexRay időosztásos, redundáns, nagysebességű busz; a MOST optikai gyűrű a multimédiához; az autóipari Ethernet pedig csillagtopológiás, nagy sávszélességű megoldás a kamera-, radar- és OTA-adatokhoz. A gateway az eltérő buszok között továbbít és szűr. **Továbbvitt eredmény:** a CAN fizikai rétegének ismerete – a csavart érpár, a 2 × 120 Ω-os lezárás, a differenciális feszültségszintek és a domináns/recesszív logika – közvetlenül szükséges a Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája, a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk, valamint a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD alfejezetekben.

32.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ISO 11898 szabványsorozat (CAN fizikai és adatkapcsolati réteg), LIN-specifikáció (LIN Consortium), FlexRay-specifikáció (FlexRay Consortium), IEEE 802.3 (Ethernet), MOST-specifikáció, gyártói diagnosztikai és javítási útmutatók, MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjelek, DIN 72552 kapocsjelölések. A konkrét értékek – a buszsebesség, a lezáró ellenállás értéke, a CAN-feszültségszintek, a CAN-FD adatmező hossza – szabványkiadástól és járműtípustól függően változhatnak, ezért a pontos tervezési vagy mérési adatokat a gyártói javítási utasításból és az aktuális szabványkiadásból kell ellenőrizni. A példákban szereplő hibakódok, azonosítók és hibatünetek tanulási célúak, nem valós mért adatok.

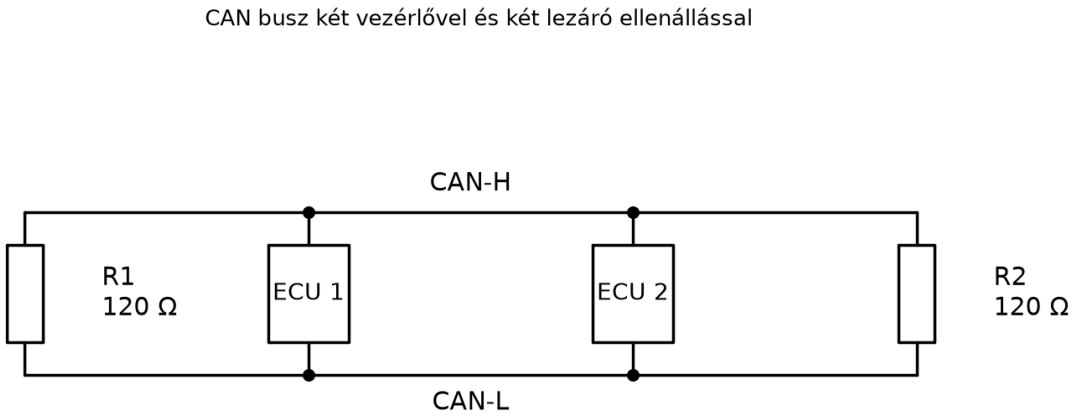
32.2. Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája

32.2.1. Motiváció

Egy autó úgy érkezik a műhelybe, hogy az ABS-lámpa ég, a motorvezérlő hibakódjai között pedig az U0121 kód olvasható: „nincs kommunikáció az ABS/ESP vezérlővel”. A jármű motorja jár, a teszter mégis csak néhány vezérlővel tud kapcsolatot felépíteni. Ilyenkor a szerelő nem cserélheti ki azonnal az ABS-vezérlőt; előbb azt kell eldöntenie, hogy maga a vezérlő hibás, vagy a hozzá tartozó adatbusz-vonal szakadt meg, zárlatos, esetleg egy csatlakozó korrodált. Ebben az alfejezetben a leggyakoribb CAN-buszhibákat, azok multiméteres és oszcilloszkópos mérését, valamint a hálózati hibakódok értelmezését tanuljuk meg.

32.2.2. Szemléletes kép: két vezérlő, két lezáró ellenállás

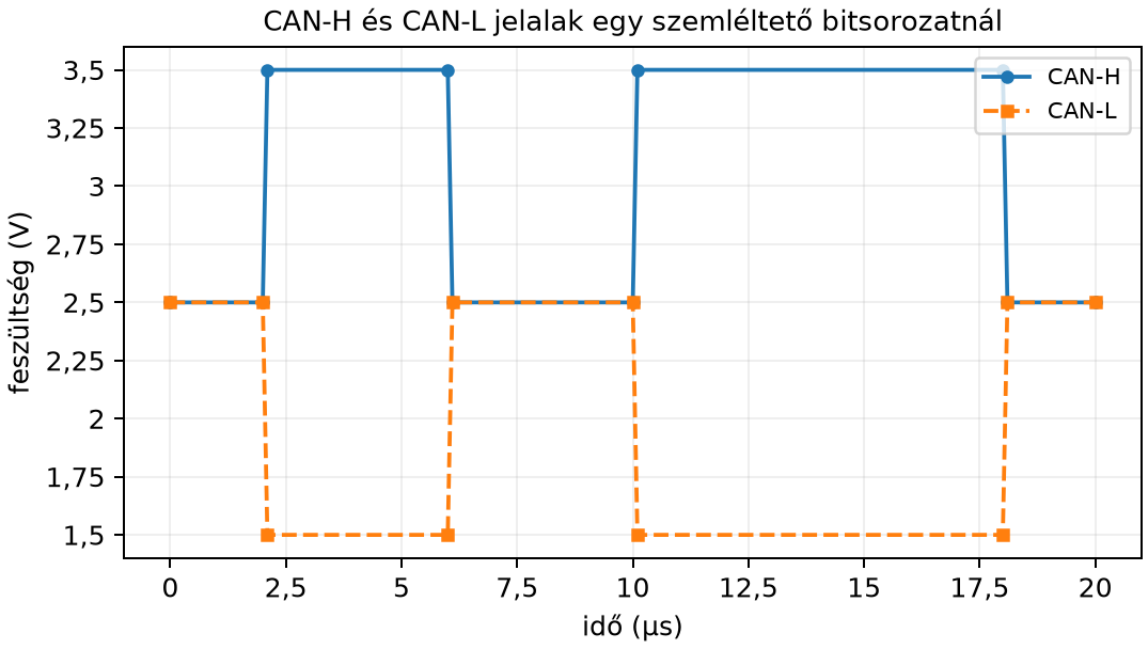
A buszhálózatot két lezáró ellenállással rendelkező, közös kétvezetékes adatcsatornának érdemes elképzelni. A következő kapcsolási rajz két vezérlőt (ECU1, ECU2), valamint a busz két végén elhelyezett lezáró ellenállásokat mutatja:



32.4. ábra. CAN busz két vezérlővel és két lezáró ellenállással - Szemléltető kapcsolási rajz, nem gyártói áramútrajz. Az R1 és R2 lezáró ellenállás a busz két legszélső pontján van; a vezérlők (ECU 1, ECU 2) a kettő között csatlakoznak. A lezáró ellenállások értéke jellemzően 120 Ω, de a tényleges érték és hely (külön ellenállás vagy ECU-n belül) a gyártói specifikáció szerint ellenőrizendő.

Az ábrán a CAN-H és a CAN-L vezeték párhuzamosan fut. Az R1 és R2 lezáró ellenállások a busz végein a CAN-H és a CAN-L közé vannak kötve, hogy a nagysebességű jelváltozások ne verődjenek vissza a vezetékvégekről. A diagnosztikai csatlakozón (DLC) jellemzően a CAN-H a 6-os, a CAN-L a 14-es kapocshoz tartozik, de ez gyártófüggő lehet **(ellenőrizendő: a gyártói kapcsolási rajz szerint)**.

Az oszcilloszkópon egészséges busz esetén a két jel tükörképszerűen változik:



32.5. ábra. CAN-H és CAN-L jelalak egy szemléltető bitsorozatnál - Szemléltető, nem mért jelalak; a feszültségszintek típusfüggők (ellenőrizendő: gyártói adat).

Az ábrán a nyugalmi (recesszív) szinten mindkét vonal körülbelül 2,5 V-on van. Amikor egy adó domináns bitet küld, a CAN-H körülbelül 3,5 V-ra emelkedik, a CAN-L pedig körülbelül 1,5 V-ra süllyed.

32.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Domináns és recesszív bitszint. A nagysebességű CAN-hálózaton a busznak két logikai állapota van. Recesszív állapotban (logikai 1) a CAN-H és a CAN-L feszültsége közel azonos, jellemzően egyaránt körülbelül 2,5 V. Domináns állapotban (logikai 0) a CAN-H és a CAN-L eltávolodik egymástól: jellemzően $U_{\text{CAN-H}} \approx 3{,}5\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} \approx 1{,}5\,\text{V}$ **(ellenőrizendő: a járműtípus és a CAN-szabvány szerint)**.

Összefüggés. Differenciális feszültség.

$$U_{\text{diff}} = U_{\text{CAN-H}} - U_{\text{CAN-L}}$$

Egészséges domináns bitnél:

$$U_{\text{diff}} \approx 3{,}5\,\text{V} - 1{,}5\,\text{V} = 2{,}0\,\text{V}$$

Recesszív bitnél:

$$U_{\text{diff}} \approx 2{,}5\,\text{V} - 2{,}5\,\text{V} = 0\,\text{V}$$

A vevő nem az egyes vezetékek földhöz viszonyított feszültségét, hanem ezt a különbséget érzékeli. Ezért a CAN kevésbé érzékeny a közös módusú zavarokra, amelyek mindkét vezetéket egyszerre emelik vagy süllyesztik.

Összefüggés. Lezáró ellenállások párhuzamos eredője. Ha a busz mindkét végén $120\,\Omega$ lezáró ellenállás van, akkor a diagnosztikai csatlakozón CAN-H és CAN-L között mérhető eredő:

$$R_{\text{mért}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{120 \cdot 120}{120 + 120} = 60\,\Omega$$

Ha az egyik lezáró ellenállás kiesik vagy a hozzá vezető szakasz szakadt, akkor a mérés körülbelül $120\,\Omega$ lesz. Ha a CAN-H és a CAN-L rövidre zár, a mérés közel $0\,\Omega$.

32.2.4. Meghibásodások a buszvonalakon

A buszhálózat hibái ritkán az elektronika belsejéből indulnak; gyakrabban a vezeték, a csatlakozó vagy az illesztés hibásodik meg.

32.2.4.1. Szakadás

A CAN-H vagy CAN-L vezeték szakadása miatt az érintett vezérlő nem tud kommunikálni, vagy csak időszakosan kommunikál. A szakadás lehet teljes, amikor a vezeték két vége fizikailag eltávolodik, vagy bizonytalan szakadás, amikor a vezeték mozgatás hatására néha érintkezik. A teszter gyakran „nincs kommunikáció” vagy „bus off” jellegű hibát mutat.

32.2.4.2. CAN-H és CAN-L közötti rövidzár

Ha a két buszvezeték egymáshoz ér, az oszcilloszkópon a differenciális jel eltűnik, mert a CAN-H és a CAN-L feszültsége közel azonos lesz. A vonalak egymással való zárlata gyakran sérült szigetelés, becsípődött kábel vagy átázott csatlakozó következménye.

32.2.4.3. Testzárlat és tápzárlat

Testzárlat esetén az egyik buszvezeték a testre, vagyis a jármű földpotenciáljára záródik. Ha például a CAN-H testzárlatos, akkor az $U_{\text{CAN-H}}$ gyakorlatilag 0 V körül marad, így a differenciális jel deformálódik. Tápzárlatnál a vezeték a 12 V-os fedélzeti hálózatra záródik; ekkor az adott vonal állandóan magas feszültségen lehet, és a vevők nem tudják értelmezni a kereteket.

32.2.4.4. Nedvesség és korrózió

A járműkülső területeken, például a kerékjáratban, az alvázon vagy az ajtóban futó csatlakozókba nedvesség juthat. A korrózió megnöveli az átmeneti ellenállást, félvezető jellegű utat képezhet a buszvezetékek és a test között, és időszakos hibákat okoz. Gyakori jel a zöldes, fehér oxidréteg és a felpuhult, megbarnult szigetelés.

32.2.4.5. Lezárási hiba

Ha a lezáró ellenállás hiányzik, az adatkeretek visszaverődhetnek, ezért a kommunikáció időnként vagy folyamatosan hibás lehet. Ha pedig a buszon a szükséges kettőnél több lezáró ellenállás kerül valahova, az eredő ellenállás túl kicsi lesz, és a busz szintjei is torzulhatnak.

32.2.5. Mérés multiméterrel és oszcilloszkóppal

Figyelem. A lezáró ellenállást, a vezetékfolytonosságot és a zárlatokat csak feszültségmentes állapotban mérjük! A feszültség alatt lévő busz ellenállásmérése hamis értéket adhat, és a multimétert is károsíthatja. A mérés előtt a gyújtást kapcsoljuk ki, az akkumulátort a gyártói előírás szerint kössük le, és várjuk meg a gyártó által megadott kondenzátorkisülési időt **(ellenőrizendő: gyártói előírás)**.

32.2.5.1. Lezáró ellenállás mérése

A diagnosztikai csatlakozón a CAN-H és a CAN-L között mérünk. Egészséges, két darab 120 Ω lezáró ellenállást tartalmazó buszon a mért érték körülbelül 60 Ω. A mérés önmagában nem bizonyítja, hogy a busz minden vezérlővel kommunikál, de gyorsan kimutatja a súlyos lezárási hibát, a CAN-H/CAN-L zárlatot és a teljes szakadást.

32.2.5.2. Nyugalmi feszültségek

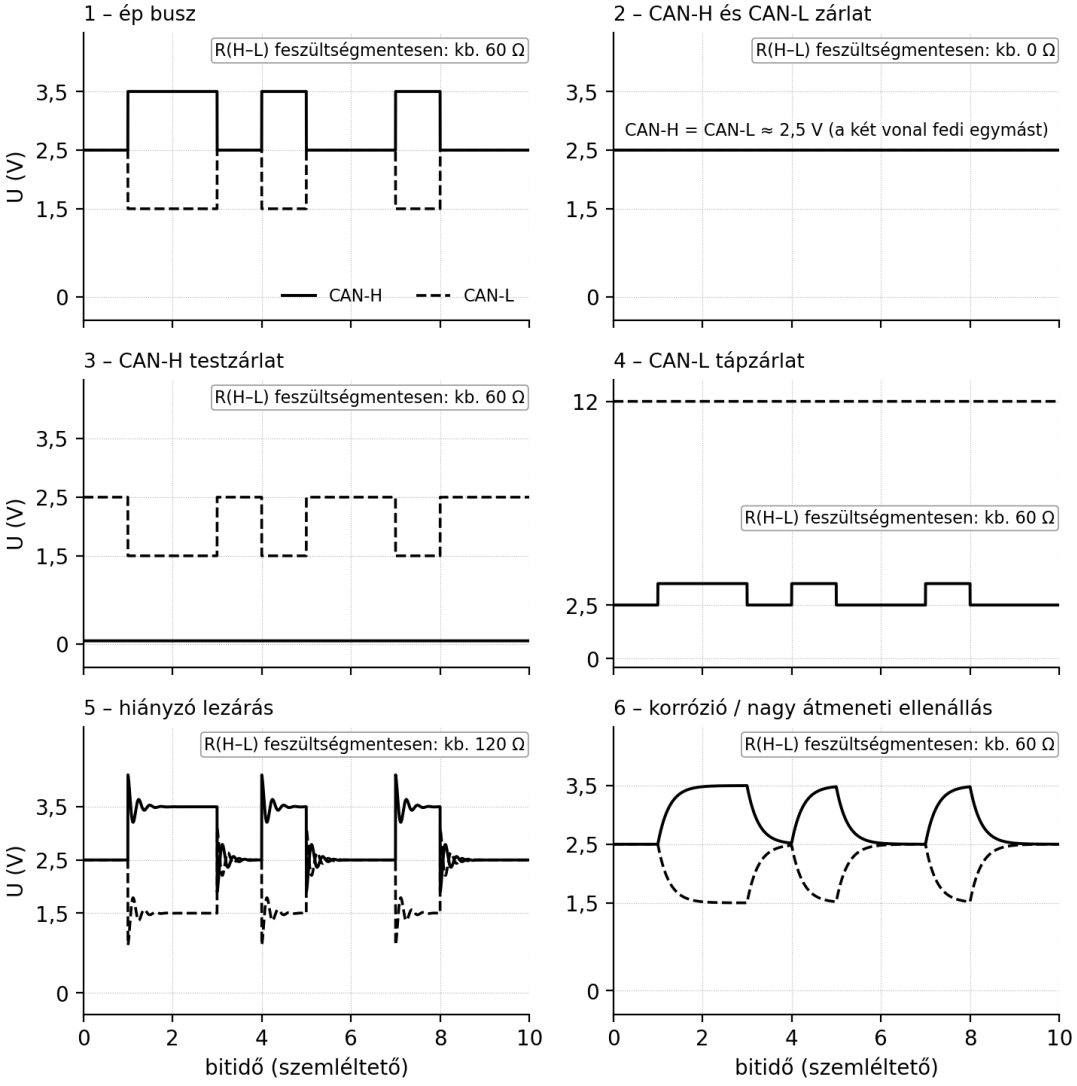
Ha a multimétert feszültségmérésre kapcsoljuk, és a busz nyugalomban van, a CAN-H és a CAN-L is körülbelül 2,5 V közelében lehet. Aktív kommunikáció közben a váltakozó jel miatt a digitális multiméter átlagértéket vagy zavart értéket mutathat, ezért a busz állapotát a nyugalmi feszültségmérésből csak korlátozottan szabad megítélni. Ha például az egyik vezetéken tartósan 0 V mérhető, testzárlatra, ha tartósan 12 V közeli feszültség, tápzárlatra gyanakodhatunk.

32.2.5.3. Oszcilloszkópos jelalak

A pontosabb vizsgálathoz kétcsatornás oszcilloszkópot használunk. Az egyik csatornát a CAN-H-ra, a másikat a CAN-L-re kötjük, és a készülék matematikai funkciójával képezzük az A−B különbséget. Egészséges buszon a következő képet várjuk:

- recesszív szinten mindkét jel körülbelül 2,5 V;
- domináns bitnél a CAN-H felfelé, a CAN-L lefelé mozdul;
- a differenciális jel domináns csúcsa körülbelül 2 V;
- a jel éles, szabályos, nincs erős csengetés vagy lassú, ferde él.

A tipikus buszhibák jelképét az ép jellel összevetve mutatja a következő ábra; minden panel alatt a feszültségmentesen mért CAN-H–CAN-L ellenállás várható értéke is szerepel (a fenti táblázattal egyezően).



Szemléltető, képletből számolt jelek, nem mért értékek (ellenőrizendő: gyártói jelkép).

32.6. ábra. Ép CAN-jel és öt tipikus buszhiba szemléltető oszcilloszkópos képe (CAN-H folytonos, CAN-L szaggatott vonal): H–L zárlatnál nincs domináns szint, CAN-H testzárlatnál a CAN-H ≈ 0 V, CAN-L tápzárlatnál a CAN-L ≈ 12 V, hiányzó lezárásnál csengetés az éleken, korróziónál lekerekített élek (képletből számolt, nem mért jelek)

Az interaktív változatban a hibafajta választható, és a különbségi (A−B) jel is bekapcsolható; a jel mellett a várható ellenállásérték is megjelenik.

Az alábbi táblázat a gyakori lezárási mérési eredményeket foglalja össze.

Mért ellenállás CAN-H–CAN-L között	Lehetséges állapot
kb. 60 Ω	Egészséges busz két 120 Ω-os lezáróval
kb. 120 Ω	Egy lezáró vagy az ahhoz vezető szakasz hiányzik
kb. 0 Ω	CAN-H és CAN-L közötti rövidzár
végtelen vagy nagyon nagy	Mindkét lezáró hiánya, vagy teljes buszszakadás

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a gyártói adat és a tényleges hálózati topológia).

32.2.6. Hálózati hibakódok, alvó üzem, nyugalmi áram és ébresztés

Előírás. A fedélzeti diagnosztika hibakódjainak formátuma az ISO 15031 szabványsorozaton és az OBD-re vonatkozó nemzetközi DTC-megállapodáson alapul **(ellenőrizendő: a hatályos ISO 15031 / SAE J2012 kiadás)**. A hálózati hibákat a kód első karaktere, az „U” jelöli. A pontos kódértelmezést mindig a gyártói diagnosztikai adatbázis vagy a rendszerteszter súgója adja.

Példa U-kód	Jelentés
U0001	CAN busz alapvető kommunikációs hiba
U0100	Nincs kommunikáció a motorvezérlővel
U0121	Nincs kommunikáció az ABS/ESP vezérlővel
U0140	Nincs kommunikáció a karosszériavezérlővel

A kódok tanulási példák; a pontos járműspecifikus értelmezés ellenőrizendő a gyártói diagnosztikai utasításban.

Az U-kódok csak a tünetet mutatják, nem az okot. Az U0121 például azt jelenti, hogy az ABS-vezérlő nem válaszol a hálózaton, de nem mondja meg, hogy a tápegysége hiányzik, a buszvezetéke szakadt, vagy maga a vezérlő hibás.

Szabály. Alvó üzem és nyugalmi áram. A jármű lezárása után a vezérlők egy része nem kapcsol ki azonnal. A biztonsági és komfortrendszerek meghatározott ideig éberek maradnak, majd a hálózatmenedzsment alvó üzembe küldi őket. A busz alvó állapotában a jármű nyugalmi árama a gyártói határ alá csökken; jellemző célértékként 30–40 mA alatti áram szerepel, de ez típusfüggő **(ellenőrizendő: a gyártói karbantartási adat)**. Ha például egy vezérlő nem alszik el, mert épített ébresztőjele miatt folyamatosan kommunikál, a nyugalmi áram 180–250 mA lehet, és az akkumulátor néhány nap alatt lemerül.

Ébresztés. A fedélzeti hálózatot gyújtásráadás, ajtónyitás, távirányító, ülésfoglalás-érzékelő vagy más buszüzenet ébresztheti fel. Az ébresztés diagnosztikájában azt vizsgáljuk, hogy az alvó jármű nyugalmi árama indokolt, vagy egy hibás vezérlő tartja ébren a hálózatot.

32.2.7. Hibakeresési algoritmus: vezérlők leválasztása, csillagpont, csatlakozó-vizsgálat

A hálózati hiba behatárolásának általános lánca a következő:

1. Olvassuk ki az összes hibakódot minden vezérlőből, és jegyezzük fel, mely vezérlők nem válaszolnak.
2. Ellenőrizzük az érintett vezérlő tápfeszültségét, testpontját és biztosítékait.
3. Mérjük meg a busz lezáró ellenállását feszültségmentes állapotban.
4. Vizsgáljuk meg a busz nyugalmi feszültségeit és az oszcilloszkópos jelalakot.
5. Ha a hiba továbbra is fennáll, nézzük meg a csatlakozókat, a vezetékek külső sérüléseit és a gyári hálózati topológiát.
6. Csillagpontos vagy átjáró (gateway) hálózaton először azt állapítsuk meg, hogy az adott busz önállóan hibás-e, vagy a közös átjáróhoz tartozó több ág is érintett.
7. Vezérlőnként bontsuk le egyenként az érintett busz résztvevőit, és minden leválasztás után ismételjük meg a mérést. A leválasztás új hibakódokat írhat be, ezért a javítás végén törölni kell a hibakódokat, és újra kell olvasni a vezérlőket.
8. A megtalált hibás vezetéket vagy csatlakozót a gyártói javítási útmutató szerint javítsuk, majd ellenőrizzük a nyugalmi áramot, a hibakód-mentességet és a kommunikációt.

32.2.8. Kidolgozott példák

32.2.8.1. 1. példa: lezáró ellenállás értelmezése

Számítás. Egy nagysebességű CAN-buszon két darab $120\,\Omega$ lezáró ellenállás van, ahogyan a kapcsolási rajz is mutatja. A diagnosztikai csatlakozón CAN-H és CAN-L között mért eredő ellenállás:

$$R_{\text{mért}} = \frac{120 \cdot 120}{120 + 120} = 60\,\Omega$$

Ha a mérés $120\,\Omega$ körüli értéket ad, az arra utal, hogy a két lezáró közül csak az egyik vesz részt az áramkörben. Ha a mérés $0\,\Omega$ közeli, a CAN-H és a CAN-L vezeték egymással rövidrezárt.

32.2.8.2. 2. példa: differenciális feszültség számítása

Számítás. Az oszcilloszkóp egy adott pillanatban a következő feszültségeket mutatja: $U_{\text{CAN-H}} = 3{,}6\,\text{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} = 1{,}4\,\text{V}$.

$$U_{\text{diff}} = 3{,}6\,\text{V} - 1{,}4\,\text{V} = 2{,}2\,\text{V}$$

Ez domináns bitként értelmezhető. Ha egy későbbi pillanatban mindkét vezeték $2{,}5\,\text{V}$-ot mutat, akkor a differenciális feszültség:

$$U_{\text{diff}} = 2{,}5\,\text{V} - 2{,}5\,\text{V} = 0\,\text{V}$$

ez recesszív állapot.

32.2.8.3. 3. példa: nyugalmi áram és akkumulátor-lemerülés

Számítás. Egy jármű gyári nyugalmi áram-határa legyen 40 mA, a beépített akkumulátor kapacitása 70 Ah. Tegyük fel, hogy egy hibás vezérlő miatt a mért nyugalmi áram 200 mA, vagyis 0,20 A. Ha az akkumulátor a hasznos kapacitásának feléig engedhető le, akkor a rendelkezésre álló töltésmennyiség:

$$C_{\text{felhasználható}} \approx 70\,\text{Ah} \cdot 0{,}5 = 35\,\text{Ah}$$

A merülési idő hozzávetőlegesen:

$$t = \frac{35\,\text{Ah}}{0{,}20\,\text{A}} = 175\,\text{h} \approx 7{,}3\,\text{nap}$$

Ha a jármű valódi nyugalmi árama a gyári határon belül, például 40 mA lenne, akkor:

$$t = \frac{35\,\text{Ah}}{0{,}040\,\text{A}} = 875\,\text{h} \approx 36\,\text{nap}$$

Ez szemlélteti, miért okozhat egyetlen éber vezérlő néhány nap alatt lemerült akkumulátort. A számítás erős egyszerűsítés; a tényleges merülési időt a hőmérséklet, az akkumulátor öregedése és a rendszeres indítások is befolyásolják.

32.2.9. Minőségellenőrzés

A buszjavítás minőségét csak többlépéses ellenőrzéssel szabad elfogadni.

Ellenőrzőlista buszjavítás után

- A gyújtás bekapcsolása után a rendszerteszter minden korábban nem válaszoló vezérlőt elér.
- A hibakódok törölhetők, és próbaút után nem térnek vissza.
- A CAN-H–CAN-L lezáró ellenállás a gyártói adat szerinti tartományban van, feszültségmentes állapotban mérve.
- Az oszcilloszkópos jelalak éles, a domináns és recesszív szintek a gyártói tűrésen belül vannak.
- A sérült csatlakozó tisztítása vagy cseréje után nincs zöld oxid, a tömítőelemek vissza vannak szerelve.
- Az alvó üzem után a nyugalmi áram a gyártói határ alatt van.
- A javítás dokumentálva van, a hibakódok és a mérési értékek a munkalapon szerepelnek.

32.2.10. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz. Egy dízel személyautó ABS-visszajelzője menet közben kigyulladt, és a teszter az U0121 kódot tárolta: nincs kommunikáció az ABS/ESP vezérlővel. A motorvezérlővel a teszter tudott kommunikálni, tehát a diagnosztikai műszer és a DLC alapműködése rendben volt.

Vizsgálat. A szerelő először az ABS-vezérlő biztosítékait, tápfeszültségét és testpontját ellenőrizte; ezek rendben voltak. Feszültségmentesítés után a DLC-n CAN-H és CAN-L között 60 Ω körüli ellenállást mért, ezért a lezáró ellenállásokkal nem volt gond. A gyújtás ráadása után a multiméter a CAN-L vonalon gyanúsan alacsony, 1,2 V körüli feszültséget mutatott.

Oszcilloszkópon a CAN-L jel nem a várt 1,5–2,5 V között mozgott, hanem erősen zajos volt, és a busz időnként hibakereteket küldött.

Ok. A bal első kerékjárat mögött futó kábelköteg egyik gumitömítése sérült volt, a csatlakozóba nedvesség jutott. A CAN-L érintkezőn zöld korróziós réteg képződött, ami időszakos testzárlatot okozott. A hiba hőmérséklet- és rázkódásfüggő volt, ezért csak időnként jelentkezett.

Javítás és ellenőrzés. A szerelő a gyártói javítási utasítás szerint kicserélte a sérült csatlakozóházat és a CAN-L javítóvezetéket, majd visszaállította a kábelköteg tömítését. A javítás után az oszcilloszkópos jelalak tiszta lett, az U0121 kód törölhető volt, és próbaút után nem tért vissza. A nyugalmi áram alvó üzemben a gyári határon belül maradt.

32.2.11. Gyakorlati útmutató: CAN-buszhiba behatárolása

Cél: A nem kommunikáló vezérlő hátterének behatárolása anélkül, hogy alkatrészt cserélnénk találomra.

Jármű- és adatazonosítás: Alvázszám, motorszám, modellév, felszereltség, gyártói diagnosztikai utasítás és aktuális kapcsolási rajz.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok: Multiméter CAT III besorolással, kétcsatornás oszcilloszkóp megfelelő szondákkal, rendszerteszter, gyártói javítóhuzal és vízzáró hüvely, csatlakozótisztító, hőzsugor cső, kéziszerszámok, munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A mérést feszültségmentes állapotban és a gyártói óvintézkedések szerint végezzük. Nagyfeszültségű (HV) járművön előbb a HV-feszültségmentesítést csak arra kiképzett, jogosult személy végezheti el.

Környezetvédelem. A csatlakozótisztítóból és a sérült vezetékdarabokból származó hulladékot az anyagbiztonsági adatlap és a helyi veszélyeshulladék-szabályzat szerint gyűjtsük, ne öntsük csatornába.

Lépések

1. **Tünet és hibakódok rögzítése.** Olvassuk ki az összes vezérlő hibakódját, és jegyezzük fel, mely vezérlők nem válaszolnak.
2. **Tápellátás ellenőrzése.** Az érintett vezérlő biztosítékait, testpontjait és tápfeszültségét mérjük meg.
3. **Feszültségmentesítés.** Kapcsoljuk ki a gyújtást, kössük le az akkumulátort a gyártói előírás szerint, és várjunk a megadott ideig.
4. **Lezáró ellenállás mérése.** A DLC-n CAN-H és CAN-L között mérjünk ellenállást. Egészséges kétterminálos buszon jellemzően 60 Ω körüli értéket várunk **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.
5. **Zárlatvizsgálat.** Mérjünk ellenállást a CAN-H és a test, a CAN-L és a test, majd a CAN-H és a 12 V-os táp, valamint a CAN-L és a táp között. Szakadás vagy zárlat jele esetén a gyártói kapcsolási rajz alapján keressük meg a hibás szakaszt.
6. **Feszültség-visszakapcsolás után nyugalmi feszültség mérése.** Gyújtás bekapcsolva mérjük a CAN-H és a CAN-L testhez mért feszültségét (multiméterrel forgalom közben kb. 2,5–2,7 V, illetve 2,3–2,5 V átlag, ellenőrizendő). A tartós 0 V vagy 12 V közeli érték zárlatra utal.
7. **Oszcilloszkópos vizsgálat.** Két csatornával mérjük a CAN-H és a CAN-L jelet, és értékeljük az A−B differenciális jelet. Keressünk ellaposodó, ferde vagy hiányzó jelet.
8. **Vezérlők szakszerű leválasztása.** Egyesével bontsuk le az érintett buszág vezérlőit, és figyeljük, hogy a jel visszatér-e. A leválasztás előtt a gyújtás legyen kikapcsolva.

9. **Csatlakozók és kábelköteg ellenőrzése.** Vizsgáljuk meg a csatlakozókat korrózió, sérült tömítés, kihúzódott érintkező és becsípődött vezeték szempontjából.
10. **Javítás.** Cseréljük a sérült vezetéket vagy csatlakozót a gyártói javítási eljárás szerint.
11. **Záró ellenőrzés.** Töröljük a hibakódokat, végezzünk próbaút, majd ellenőrizzük az újraolvasás eredményét, a kommunikációt és a nyugalmi áramot.
12. **Dokumentálás.** A munkalapon rögzítsük a mért ellenállásokat, a hibakódokat, a javítás módját és a záró méréseket.

32.2.12. Tipikus hibák

Hiba: feszültség alatt mérünk ellenállást. A szerelő a gyújtást bekapcsolva méri a CAN-H és CAN-L közötti ellenállást. A műszer akár sérülhet, a mért érték pedig használhatatlan. Helyes: feszültségmentesítés után mérni.

Hiba: a multiméter átlagértékéből ítéljük meg a buszt. Aktív kommunikáció közben a digitális feszültségmérő változó, zajos értéket mutathat, ezért a szerelő tévesen vezérlőhibát állapít meg. Helyes: oszcilloszkóppal vizsgálni a busz időbeli jelalakját.

Hiba: csak a lezáró ellenállásra hagyatkozunk. A lezáró ellenállás mérése lehet $60\,\Omega$, miközben egy vezérlő mégsem kommunikál, mert az adott vezérlőhöz vezető ág szakadt, vagy a vezérlő tápellátása hiányzik. Helyes: a teljes hibakeresési láncot követni.

Hiba: azonnal vezérlőt cserélünk. U0121 hibakódnál a tapasztalatlan szerelő egyből ABS-vezérlőt rendel. Valójában gyakrabban csatlakozó-, tápellátási vagy vezetékhiba áll a háttérben. Helyes: először a vezeték és a csatlakozó vizsgálata.

Hiba: nem dokumentáljuk a leválasztott vezérlőket. A diagnosztika során keletkezett hibakódokat elfelejtik törölni, így a javítás után zavaró, régi hibakódok maradnak a rendszerben. Helyes: a folyamatot jegyzőkönyvezni, a végén minden hibakódot törölni és újraolvasni.

32.2.13. Önellenőrzés

1. Egészséges nagysebességű CAN-buszon a CAN-H és a CAN-L között a diagnosztikai csatlakozónál mért ellenállás jellemzően $120\,\Omega$. Igaz vagy hamis? Indokold röviden.
2. Milyen feszültségeket várunk nyugalmi, recesszív állapotban a CAN-H és a CAN-L vonalon?
3. Egy vezérlő nem kommunikál. A lezáró ellenállás mérése $60\,\Omega$, a CAN-H és a CAN-L nyugalmi feszültsége is $2{,}5\,\mathrm{V}$. Magyarázd el, miért nem elég ez a mérés annak kizárásához, hogy az adott vezérlő ága szakadt.
4. Mit jelent röviden az U0100 hibakód?
5. Miért veszélyes vagy hibás a busz ellenállásának mérése bekapcsolt gyújtás mellett?
6. Egy lezárt jármű nyugalmi árama $250\,\mathrm{mA}$. Milyen hibára gyanakodhatunk?

32.2.14. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg a domináns és a recesszív bitszint fogalmát, és számítsd ki a differenciális feszültséget, ha $U_{\text{CAN-H}} = 3{,}4\,\mathrm{V}$ és $U_{\text{CAN-L}} = 1{,}6\,\mathrm{V}$.

2. feladat (A) Egy buszon két darab $120\,\Omega$ lezáró ellenállás van. Számítsd ki a várható ellenállást a CAN-H és a CAN-L között. Mekkora értéket mérnél, ha csak egy lezáró ellenállás venne részt az áramkörben?

3. feladat (B) A teszter U0121 hibakódot mutat. A lezáró ellenállás 60 Ω, a nyugalmi feszültségek CAN-H és CAN-L vonalon is 2,5 V. Sorolj fel legalább három lehetséges okot, amelyeket ez az eredmény még nem zár ki, és írd le, milyen következő méréssel dönthetnéd el, hogy az ABS-vezérlőhöz vezető ág szakadt-e.

4. feladat (B) Kétcsatornás oszcilloszkópon az A csatorna a CAN-H jelet, a B csatorna a CAN-L jelet méri. Egy adott pillanatban az A csatorna 3,7 V-ot, a B csatorna 1,3 V-ot mutat. Számítsd ki a differenciális feszültséget, és magyarázd el, miért jobb a differenciális jel értékelése a különálló feszültségek helyett.

5. feladat (C) Egy járműben a kommunikáció időszakosan megszakad. A lezáró ellenállás 60 Ω, az oszcilloszkópos jel általában jó, de a kábelköteg mozgatásakor a CAN-H jel néha ellaposodik. Melyik hibafajta a legvalószínűbb? Tervezd meg a hibakeresés lépéseit a járművön.

6. feladat (D) Egy szervizben a buszjavítás után az akkumulátor másnap reggelre lemerül. A mért nyugalmi áram 200 mA, a gyártói határ 40 mA. Magyarázd el, hogyan állapítható meg, melyik vezérlő nem alszik el, és milyen méréssel igazolod a javítás sikerét.

32.2.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Két darab 120 Ω lezáró ellenállás párhuzamos eredője 60 Ω; a 120 Ω mérés egy lezáró hiányára utalhat.
2. Mindkét vonal jellemzően körülbelül 2,5 V-on van.
3. A 60 Ω és a nyugalmi 2,5 V csak a busz alapállapotát mutatja; az adott vezérlőhöz vezető rövid szakasz is lehet szakadt. A vezérlőcsatlakozónál folytonosság-, feszültség- és oszcilloszkópos méréssel kell tovább vizsgálni.
4. Nincs kommunikáció a motorvezérlővel.
5. A feszültség alatt lévő áramkör ellenállásmérése hamis értéket adhat, és a műszert károsíthatja; emellett balesetveszélyes is lehet.
6. Arra, hogy valamelyik vezérlő nem lép alvó üzembe, vagy egy fogyasztó a busz ébresztő hálózatát folyamatosan indítja, ezért a jármű nyugalmi árama túl magas.

1. feladat megoldása

Domináns bitnél a CAN-H és a CAN-L feszültsége eltávolodik, ezért a differenciális feszültség nagy. Recesszív bitnél a két feszültség közel azonos, ezért a differenciális feszültség közel nulla. A megadott értékekkel:

$$U_{\text{diff}} = 3{,}4\,\text{V} - 1{,}6\,\text{V} = 1{,}8\,\text{V}$$

Ez domináns bitként értelmezhető.

2. feladat megoldása

Két 120 Ω párhuzamos eredője:

$$R_{\text{mért}} = \frac{120 \cdot 120}{120 + 120} = 60\,\Omega$$

Ha csak egy lezáró ellenállás vesz részt, akkor a mérés 120 Ω.

3. feladat megoldása

A lezáró ellenállás és a nyugalmi feszültség normális, ezért a hiba lehet például:

- az ABS-vezérlőhöz vezető saját buszág szakadt;
- az ABS-vezérlő tápellátásának hiánya egy rossz biztosító vagy testpont miatt;
- maga az ABS-vezérlő belső hibás.

A szakadás eldöntéséhez a gyártói kapcsolási rajz alapján megkeressük az ABS-vezérlő CAN-csatlakozóját, feszültségmentes állapotban megmérjük a vezeték folytonosságát a DLC és az ABS-csatlakozó között, majd bekapcsolt gyújtásnál oszcilloszkóppal ellenőrizzük, hogy az ABS-vezérlő csatlakozóján ugyanaz a buszjel látható-e.

4. feladat megoldása

$$U_{\text{diff}} = 3{,}7\,\text{V} - 1{,}3\,\text{V} = 2{,}4\,\text{V}$$

A differenciális jel azért előnyös, mert a zavarok gyakran mindkét vezetéket azonos irányban emelik vagy süllyesztik, így a különbségképzés a közös zavart elnyomja. A vevő számára a domináns vagy recesszív állapotot éppen ez a különbség hordozza.

5. feladat megoldása

A legvalószínűbb időszakos szakadás vagy nagy átmeneti ellenállású csatlakozó a CAN-H ágban. A hibakeresés lépései:

1. A hibakódok kiolvasása és a nem válaszoló vezérlők rögzítése.
2. A lezáró ellenállás és a tápfeszültségek ellenőrzése.
3. A kábelköteg szakszerű, óvatos mozgatása közben az oszcilloszkópon a CAN-H jel figyelése.
4. A gyanús köteg, csatlakozó vagy törési pont vizuális ellenőrzése.
5. Feszültségmentes állapotban a szakasz folytonosságának és átmeneti ellenállásának mérése.
6. Javítás után az oszcilloszkópos kép, a hibakódok és a nyugalmi áram ellenőrzése.

6. feladat megoldása

A 200 mA nyugalmi áram azt mutatja, hogy a hálózat nem alszik el. A nem alvó vezérlő megkereséséhez a járművet lezárjuk (az ajtózárakat és a motorháztető-kapcsolót csukott állásba állítjuk), az áramot lakatfogóval vagy áthidalással bekötött árammérővel mérjük, és megvárjuk a gyártói alvási időt (ellenőrizendő). Ezután a biztosítékokon eső feszültséget mérjük millivoltos tartományban, a biztosíték kihúzása nélkül (a kihúzás megszakítja a tápot, felébreszti a hálózatot és meghamisítja az eredményt); amelyiken a többinél nagyobb feszültség esik, annak az ágkörében folyik a többletáram (a biztosíték típusához tartozó mV–mA táblázat alapján, ellenőrizendő). Így találjuk meg azt az ágkört, amelyik ébren tartja a hálózatot. Ezután az ágkört vezérlőkre bontva meghatározhatjuk a tényleges nem alvó egységet. A javítás sikere akkor igazolt, ha a jármű lezárása és a gyártói várakozási idő letelte után a nyugalmi áram tartósan a határérték alatt marad.

32.2.16. Rövid összefoglaló

A CAN-hálózat hibái leggyakrabban nem magukban a vezérlőkben, hanem a vezetékekben, csatlakozókban, lezáró ellenállásokban vagy a tápfeszültség-ellátásban keresendők. A lezáró ellenállás feszültségmentes mérésével gyorsan kimutatható a CAN-H–CAN-L zárlat, a teljes szakadás és a hiányzó lezáró. Két darab 120 Ω lezáró párhuzamos eredője 60 Ω. A busz jelalakját oszcilloszkóppal, lehetőleg differenciális A−B üzemmódban kell értékelni, mert a digitális multiméter átlagértéke félrevezető lehet. A hálózati hibakódok „U” kezdettel jelzik a kommunikáció

hiányát; az U0121 például az ABS/ESP-vezérlő elvesztésére utal, de az okot külön méréssel kell megtalálni. A javítás végén a hibakódokat törölni, a kommunikációt ellenőrizni, és az alvó üzemi nyugalmi áramot a gyártói határ alatt igazolni kell. **Továbbvitt eredmény.** A buszhálózat szisztematikus, feszültségmentesítés utáni ellenállás- és feszültségmérése, valamint az ágazatonkénti leválasztás logikája az Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram alfejezetben tovább használható.

32.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a gépjármű-hálózati diagnosztika általános méréstechnikai gyakorlatára, az ISO 15031 szabványsorozat OBD-hibakódrendszerére és a CAN-hálózatok ISO-szabványaira épül. A konkrét kapocsjelölések, a DLC-lábkiosztás, a feszültségszintek, a lezáró ellenállások értéke, a nyugalmi áram határértéke, a várakozási idők és a hibakód-jelentések gyártó- és típusfüggők, ezért azokat a kiadás előtt a gyártói javítási utasítás és a hatályos szabványok szerint ellenőrizni kell. Az U-kódok értelmezésénél a gyártói diagnosztikai adatbázis a mérvadó.

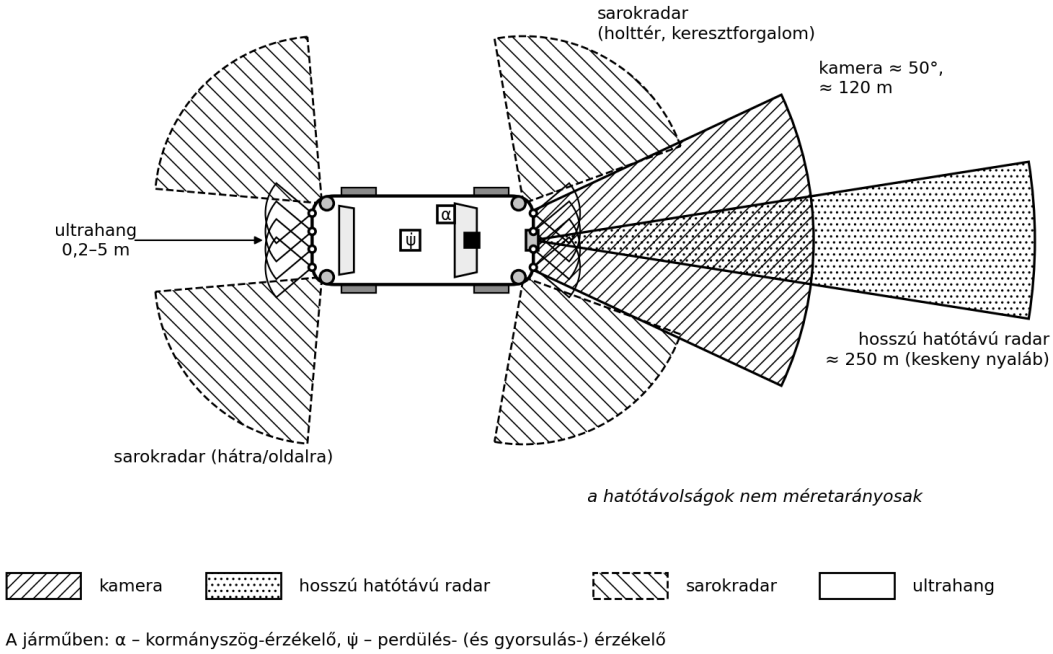
32.3. Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk

32.3.1. Motiváció

A műhelyben egyre gyakrabban találkozol olyan ügyfélpanasszal, amely nem a klasszikus mechanikus alkatrészre vonatkozik: „szélvédőcsere után világít a sávtartó hibajelzése”, „a vészfékrendszer ok nélkül belassított az autópályán”, vagy „a holttérfigyelő nem veszi észre a mellettem haladó autót”. Az autóban ilyenkor több vezérlőegység, nagysebességű adatbusz és precízen beállított érzékelő dolgozik együtt. Ha nem érted a vezetőtámogató rendszerek (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems) felépítését és illesztését, az autó javítása „dobozcserévé” válik, költséges és veszélyes lesz. Ez az alfejezet a rendszerek működését és azok kalibrálási elvét tanítja meg, hogy a javítás után a jármű biztonságosan közlekedjen.

32.3.2. Szemléletes kép: az ADAS-érzékelők elhelyezkedése

Képzeld el a járművet felülnézetből. A szélvédő tetejénél, a belső visszapillantó tükör mögött a **mono- vagy sztereó kamera** figyeli a sávfelfestést és az előtted haladó objektumokat. Az első lökhárító mögött, gyakran a gyártói embléma takarásában egy **nagy hatótávolságú radar** (Long Range Radar – LRR) sugároz előre, míg a lökhárító sarkaiban **rövid hatótávolságú radarok** és **ultrahangos érzékelők** dolgoznak a keresztirányú forgalom figyelésére. A visszapillantó tükrökben vagy a hátsó lökhárító mögött **radarérzékelők** pásztázzák a holtteret. A kormányoszlopon a **kormányszög-érzékelő**, a kasznin a **perdülési és gyorsulásérzékelők** adják a jármű mozgásállapotának jeleit. Mindezeket a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk fejezet szempontjából úgy fogd fel, mint egy **szenzorháromszöget**: a kamera a fényképet, a radar a távolságot, az ultrahang a közvetlen közelteret adja, az ESP-érzékelők pedig a saját jármű mozgását mérik.



32.7. ábra. Az ADAS-érzékelők elhelyezése és látómezői felülnézetben: kamera (kb. 50°, kb. 120 m), hosszú hatótávú radar (keskeny nyaláb, kb. 250 m), sarokradarok oldalra és hátra, ultrahangos érzékelők a lökhárítókban (0,2–5 m); a hatótávolságok nem méretarányosak

Az interaktív változatban az egyes érzékelőtípusok látómezője ki- és bekapcsolható, rámutatásra az érzékelő neve és feladata jelenik meg.

32.3.3. Alapfogalmak és felépítés

Definíció. A **vezetőtámogató rendszer (ADAS)** olyan elektronikus rendszer, amely a jármű közvetlen környezetéről gyűjtött érzékelőjelek alapján tájékoztatja a vezetőt, figyelmezteti, vagy a menetstabilizáló, a kormány- és a fékrendszerbe beavatkozva aktívan befolyásolja a jármű mozgását.

Definíció. A **kalibrálás** az érzékelő és a jármű geometriai viszonyának, nulla-pontjának és szoftveres határainak a gyártói specifikáció szerinti beállítása. Célja, hogy az érzékelő koordinátarendszerét pontosan a jármű hossz- és keresztirányú tengelyéhez, valamint a vízszinteshez igazítsuk.

A rendszerek működésének alapja a tárgyfelismerés. Az érzékelő jeleit a vezérlőegység (pl. kamera-ECU, radar-ECU) elődolgozza: a kamera képe alapján felismeri a sávfelfestést, a táblákat, a gyalogosokat és a járműveket; a radar a visszavert hullám idejéből és Doppler-eltolódásából a tárgy távolságát, sebességét és szögét számolja ki. Az így kapott „célobjektumok” listája a CAN- vagy FlexRay-buszon eljut a fék- és motorvezérlőbe, a szervokormányba és a kijelzőkbe.

32.3.4. A főbb ADAS-funkciók és működésük

32.3.4.1. Adaptív sebességszabályozás (ACC)

Az ACC a hagyományos tempomat továbbfejlesztése. A radar (és gyakran a kamera) folyamatosan méri az előttünk haladó jármű távolságát és sebességét. Ha az út üres, az ACC a beállított sebességet tartja. Ha lassabb jármű kerül elénk, a rendszer a motor nyomatékát csökkenti (gázelvétel, esetleg visszaváltás), majd a kereket fékezi, hogy betartsa a beállított követési távolságot. Az automata vészfékrendszer logikája erre épül, de ott a beavatkozás jóval erőteljesebb.

32.3.4.2. Kármérséklő és vészfékrendszer (AEB / CMBS)

Összefüggés. Az AEB (Autonomous Emergency Braking) az ütközési kockázatot becsli. A kritikus távolság és az ütközésig hátralévő idő a járműsebesség és a relatív sebesség függvénye. A rendszer a féknyomást előtölti (prefill), figyelmezteti a vezetőt, majd ha nem reagál, automatikusan maximális féknyomást épít fel. A cél az ütközési sebesség csökkentése vagy kis relatív sebességnél az ütközés elkerülése.

32.3.4.3. Sávrendszerek: sávelhagyás-figyelmeztetés és sávtartó asszisztens

A kamera a sávelhagyás-figyelmeztetés (LDW – Lane Departure Warning) esetében csak figyelmeztet (kormánykerék-remegés vagy hangjelzés), ha az irányjelző használata nélkül átlépjük a sávot. A sávtartó asszisztens (LKA – Lane Keeping Assist) aktívan besegít: az elektromechanikus szervokormányra (Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás) adott kis nyomatékkal visszatereli a járművet a sáv közepére. Újabb rendszereknél az aktív sávközép-tartás a kormányzást folyamatosan, kis erővel, a vezetői kéz jelenlétét ellenőrizve végzi.

32.3.4.4. Holttérfigyelő és sávváltási asszisztens

A hátsó radarok a holttérben haladó, vagy onnan gyorsan közeledő járművet érzékelik. Ha a holttérben jármű van, a külső tükörben jelzőfény világít; ha a vezető ilyenkor irányjelzést ad, a jelzés villogóra vált, és hangjelzés is szólhat. A sávváltási asszisztens ezen túlmenően a kormányrendszeren keresztül ellenjavaslatot adhat.

32.3.4.5. Guminyomás-ellenőrzés (TPMS)

Két fajtája van. A **direkt TPMS** a kerékben (szelepen vagy a futófelülethez rögzítve) lévő nyomás- és hőmérséklet-érzékelő adatait rádiófrekvencián küldi a vevőnek. A **közvetett (indirekt) TPMS** nem méri a nyomást, hanem a kerékfordulatszám-érzékelők jeleit elemzi: a leengedett gumi kisebb gördülési sugarú, ezért gyorsabban forog. A rendszer ezt az eltérést jelzi. Az indirekt rendszert guminyomás-beállítás után kalibrálni (resetelni) kell, míg a direkt rendszer érzékelőit kerékcserénél vagy szelepcsere után újra kell tanítani.

32.3.4.6. Integrált aktív kormányzás és adaptív világítás

Az aktív kormányzás a kormányáttételt és a kormányzási szöget a sebesség függvényében módosítja, együttműködve az ESP-vel és a sávtartóval. Az adaptív világítás (AFL – Adaptive Front Lighting) a kormányszög és a járműsebesség jelei alapján a xenon- vagy LED-fényszóró modulját a kanyar irányába fordítja; a halogén rendszereknél gyakran külön kanyarvilágító izzó kapcsol be.

32.3.5. Példák az együttműködésre

1. példa (AEB működési lánc). Egy autópályán haladó járműben az ACC 130 km/h-ra van állítva. Előtte 80 km/h-val halad egy kamion. A radar érzékeli a kamiont, és kiszámolja a relatív sebességet: $v_{rel} = v_{\text{saját}} - v_{\text{cél}} = 130 - 80 = 50\,\text{km/h} \approx 13{,}9\,\text{m/s}$. A rendszer a biztonságos követési távolságot a reakcióidő és a lassulás alapján tartja, ezért a járművet lefékezi 80 km/h-ra. Amikor a kamion letér az útról, a radar elveszti a célt, a rendszer visszagyorsítja az autót 130 km/h-ra.

2. példa (Kamera és sávtartó). A kamera a szélvédőn keresztül filmez. Ha a szélvédőt kicserélik, és az új üveg fénytörése vagy a konzol hajlása miatt a kamera optikai tengelye a hosszanti tengelyhez képest akár csak 0,5 fokkal is eltér, a kamera a hidat vagy a szalagkorlátot tévesen sávelhagyási vonalként értelmezheti. Ezért kötelező a kamera kalibrálása.

32.3.6. Érzékelőtípusok összehasonlítása

Érzékelő	Jellemző hatótávolság	Elsősorban mire való?	Előny	Hátrány
Ultrahang	0,2–5 m	Parkolóradar, parkolóasszisztens, tolatási vészfék	Olcsó, közelre pontos	Nagyon rövid hatótáv, lassú
Kamera (mono/sztereo)	0–120 m (sztereo 0–250 m)	Sávtartás, közlekedési tábla, lámpa, gyalogos, AEB, távolsági fényszóró	2D kép, osztályozás	Rossz látási viszonyokra, szennyeződésre érzékeny
Radar (LRR/MRR)	1–250 m	ACC, AEB, holttérfigyelő, vészfék	Rossz időben is stabil, jól méri a sebességet	Nem ismeri fel a tárgy típusát, kisebb a szögfelbontása
Lidar	5–150 m	Térképezés, jármű környezeti modell, AEB	3D pontfelhő, nagy felbontás	Drága, időjárásra érzékenyebb

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

32.3.7. Kalibrálási eljárások

Az ADAS-érzékelők nem „plug and play” alkatrészek. A mechanikai rögzítés után a szoftveres tanítást is el kell végezni.

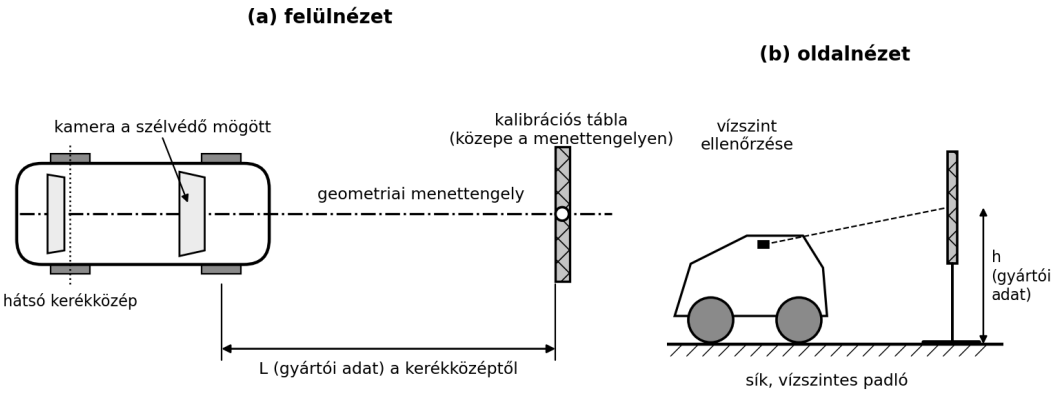
32.3.7.1. Mikor kötelező a kalibrálás?

Szabály. Kalibrálni kell az érzékelőt, ha: - a kamera vagy a radar egysége ki-/beszerelésre került, - a szélvédőt cserélték (kamera esetén), - a futóművet állították (különösen a hátsó összetartást), mert ez megváltoztatja a geometriai menettengelyt, amelyhez az előre néző érzékelők igazodnak; futómű-beállítás után a kormányszög-érzékelő nullpontját is be kell tanítani (ellenőrizendő: gyártói eljárás), - a kormányközép állapot változott, - a jármű érte olyan ütközés, amely a szenzortartó konzolt deformálhatta, - a rendszer a diagnosztikában „nincs kalibrálva” hibakódot tárol.

32.3.7.2. Statikus kalibrálás

A statikus kalibrálást műhelyben, álló járművön, sík padlón végezzük. A jármű elé, a gyártó által előírt távolságra, precíz méretű kalibrációs táblákat vagy tükröket helyezünk. A diagnosztikai műszeren keresztül elindítjuk a kalibrációs rutint. A műszer a kamera képét elemzi, és a szoftverben úgy tolja el a képkoordinátákat, hogy a táblán lévő referenciapontok a megfelelő szögben és magasságban legyenek.

Előírás. Statikus kalibrálásnál a gyártói hátsó tengely síkja és a kalibrációs tábla közötti távolságot, a tábla középpontjának a jármű hosszanti szimmetriatengelyétől való eltérését, valamint a jármű terhelési állapotát a gyártói javítási utasítás pontosan előírja. Gyakori követelmény az üres csomagtartó, a fél tank üzemanyag és a járművízszint ellenőrzése. **(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)**



32.8. ábra. A kamera statikus kalibrálásának elrendezése: (a) felülnézetben a hátsó kerekek középpontján át húzott geometriai menettengely, a tábla közepe ezen a tengelyen, a tábla távolsága (L) a gyártói adat szerint; (b) oldalnézetben a tábla középmagassága (h) és a sík, vízszintes padló

Az elrendezés tipikus hibái a tábla oldalirányú eltolása és a menettengelytől eltérő igazítás. A szöghiba hatása a távolsággal nő: 0,5° hiba 50 m-en $50\,\mathrm{m}\cdot\tan 0{,}5^\circ \approx 0{,}44\,\mathrm{m}$ oldalirányú eltérést jelent a sávbecslésben. Az interaktív változatban a tábla eltolása és a menettengely szöghibája csúszkával állítható, és a program kiírja a kamera látóirányának hibáját és a sávbecslés hibáját 50 m-en.

32.3.7.3. Dinamikus kalibrálás

Az érzékelő szoftverének van egy olyan tanuló üzemmódja, amelyet a jármű gyorsulásából, kormányzási szögéből és a környezeti képből állítunk be. Ehhez a diagnosztikai műszert csatlakoztatva, a gyártói utasítás szerinti útvonalon, meghatározott sebességgel kell haladni. A dinamikus kalibrálást gyakran kiegészítésként használják a statikus kalibrálás után, vagy egyes gyártók kizárólag ezt írják elő a futómű-beállítás utáni nullpont-egyeztetésre.

32.3.7.4. Munkalépések – kamera statikus kalibrálása

1. **Azonosítás:** Olvasd ki a rendszerteszterrel a hibakódokat és a jármű kódolását; ellenőrizd a gyártói javítási utasítást.
2. **Előkészítés:** Ellenőrizd és állítsd be a guminyomást, a jármű terhelését; zárd be az ajtókat és a motorháztetőt.
3. **Környezet:** Helyezd a járművet sík, vízszintes emelőpadlóra; ügyelj az egyenletes megvilágításra (ne érje a kamerát közvetlen napfény vagy erős lámpa).
4. **Felszerelés:** Állítsd be a jármű középvonalához igazított kalibrációs keretet és táblát; a lézeres távolságmérővel pontosan mérd be a gyártói távolságot.
5. **Futtatás:** A diagnosztikai műszerben válaszd a kamera kalibrálását; kövesd a képernyőn megjelenő utasításokat.
6. **Ellenőrzés:** Amikor a rendszer „kalibrálás sikeres” üzenetet ad, olvasd ki újra a hibakódokat; töröld a memóriát, és nézd meg az élő adatokban a kalibrálási állapotot.
7. **Dokumentálás:** A munkalapon rögzítsd a távolságot, a szoftververziót és a kapott sikeres állapotot.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

32.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azzal hozta be az autóját, hogy a szélvédő repedés miatt egy üvegcserés cég kicserélte az üveget. A csere után az ESP- és a sávtartó-visszajelző sárgán világított, és az olvasólámpa mögötti kamerasávból folyamatosan halk búgás hallatszott.

A műhelyben a rendszerteszter a kamera vezérlőegységében a következő hibakódot tárolta: „Kamera nincs kalibrálva / szenzororientáció hibás”. Az első lépés a mechanikai ellenőrzés volt: a kamera konzolja stabilan rögzült, de a beszerelés során a konzol apró, észrevehetetlen elhajlást szenvedett. A konzol új, gyári alkatrészre cserélése után a statikus kalibrációs eljárást lefuttatták. A táblát a gyártói érték szerint 1,5 m távolságra állították fel **(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)**, a jármű hátsó tengelyéhez képest milliméterre beállították. A diagnosztikai műszer a kalibrálás után megfelelőnek találta a kamera dőlés- és legyezési szögét. A hibakódot törölték, és az autó próbaútján a sávtartó újra pontosan felismerte a felfestést. A hiba oka a mechanikai elhajlás volt, amelyet a szoftveres kalibrálás egyedül nem tudott volna kompenzálni.

32.3.9. Tipikus hibák

- **A futóművet kalibrálják, a kamerát nem.** A kerékösszetartás vagy a dőlés megváltoztatásával a jármű a volán egyenes állása mellett is oldalra húzhat. Ha a kamera kalibrálása elmarad, a sávtartó „ferdén” látja a világot, és folyamatosan a sáv széléről befelé kormányozhat.

- **Nem ellenőrzik a szenzortartó mechanikáját.** A kalibrálás előtti konzol-ellenőrzés kihagyása a leggyakoribb mechanikai mulasztás. Ha a konzol deformálódott, a kalibrálás elvileg is lehetetlen (a kamera látómezeje fizikailag eltér).
- **Kódolás és kalibrálás nélkül építenek be új érzékelőt.** A radar vagy kamera cseréjekor a rendszerek gyakran kódolást és adaptálást igényelnek. Ha a beszerelés után nem fut le a kalibrálás, az autó még akkor is hibát jelez, ha az alkatrész fizikailag tökéletesen működik.
- **A szintet nem ellenőrzik.** A statikus kalibrációnál a padló enyhe lejtése is nagy szöghibát okozhat, mert a járművízszint eltér a valóságtól.

32.3.10. Önellenőrzés

1. Sorold fel az ADAS-rendszerek három alapvető érzékelőjét, és írd le, melyik miben jó.
2. Miért kötelező a kamera kalibrálása szélvédőcsere után?
3. Mi a különbség a direkt és az indirekt TPMS között?
4. Igaz vagy hamis? Az AEB (autonóm vészfék) rendszer kizárólag a kamera jelét használja fel, ezért csak nappal működik. Indokold!
5. Melyik kalibrálás történik álló járművön, kalibrációs táblával?

32.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Hasonlítsd össze a radar és a kamera előnyeit/hátrányait a rossz látási viszonyok és a tárgyfelismerés szempontjából.

2. feladat (A). Írd le, mi a különbség az LDW és az LKA között.

3. feladat (B). Egy autó 30 m/s sebességgel halad. Az ACC rendszer érzékeli az előtte 20 m/s sebességgel haladó járművet. Mekkora a relatív sebesség? Ha a rendszer 4 s alatt lassít a követési sebességre, mekkora a jármű átlagos lassulása? Összeférhet-e ez az ACC jellemző fékezési tartományával (kb. legfeljebb 2–3,5 m/s², ellenőrizendő)?

4. feladat (B). Sorold fel azokat az eseményeket, amelyek után a gyártói utasítás szerint kötelező a radar kalibrálása.

5. feladat (C). Miért tilos a futóművet úgy beállítani, hogy a kormány nincs középállásban, ha az autón aktív sávtartó rendszer van? Mi a következménye a jármű egyenesfutására?

6. feladat (D). Az ügyfél panasza: „a holttérfigyelő tévesen riaszt, amikor szalagkorlát mellett haladok”. A diagnosztikai műszer nem mutat hibakódot a hátsó radarban. Mi lehet a jelenség két leggyakoribb oka?

32.3.12. Megoldások

32.3.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Ultrahang:** parkolás, közelre pontos, rövid hatótáv. **Kamera:** 2D kép, tárgyfelismerés, sávtartás; rossz időjárásra érzékeny. **Radar:** távolság és sebesség mérése, rossz időben is működik, de típusfelismerésre nem alkalmas.
2. Mert az üvegcsere miatt a kamera optikai tengelye a jármű hosszanti tengelyéhez képest eltérhet, és a rendszer tévesen ítéli meg a sávfelfestés helyzetét.
3. A direkt TPMS a kerékben méri a nyomást és rádiójelben küldi; az indirekt a kerékfordulatszám-érzékelők jeléből számol (a leengedett kerék gyorsabban forog).

4. Hamis. Az AEB gyakran a radar és a kamera jeleit egyesíti (szenzorfúzió), és a radar rossz látási viszonyok között is működik.
5. A statikus kalibrálás.

32.3.12.2. Feladatok – válaszok

1. feladat (A). A radar a rádióhullámok visszaverődését méri: jól méri a távolságot és a sebességet, esőben, ködben is stabil. A kamera a látható fényt érzékeli, ezért a tárgyak típusát (autó, gyalogos, tábla, sáv) egyedül ő tudja azonosítani, viszont koszos szélvédő, erős napsütés vagy éjszakai fényhiány esetén a jel megbízhatósága csökken.

2. feladat (A). Az LDW (sávelhagyás-figyelmeztetés) passzív rendszer: ha a jármű irányjelző nélkül átlépi a sávvonalat, a vezetőt hanggal vagy kormányrezgéssel figyelmezteti. Az LKA (sávtartó asszisztens) aktív: az EPS (szervokormány) segítségével nyomatékot ad a kormányra, és visszatereli a járművet a sávba, vagy folyamatosan a sávközépen tartja.

3. feladat (B). Adott: $v_{\text{saját}} = 30\,\text{m/s}$, $v_{\text{cél}} = 20\,\text{m/s}$, $t = 4\,\text{s}$. Keresett: v_{rel} és a. $v_{rel} = v_{\text{saját}} - v_{\text{cél}} = 30 - 20 = 10\,\text{m/s}$. Az átlagos lassulás: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{cél}} - v_{\text{saját}}}{t} = \frac{20-30}{4} = -2{,}5\,\text{m/s}^2$. Tehát a relatív sebesség 10 m/s, az átlagos lassulás 2,5 m/s². Igen, ez az ACC tartományába esik; ha ennél nagyobb lassulás kellene, a rendszer a vezetőt figyelmezteti, illetve az AEB lép közbe.

4. feladat (B). A radart kalibrálni kell (a gyártói utasítás szerint): a radaregység cseréjekor; a radartartó konzol állításakor vagy deformációja utáni javításkor; a hátsó kerekek összetartásának (menettengely-változás) vagy az összkerékgeometria utáni állításakor; a radart érő ütközés után; ha a diagnosztika kalibrálási hibát jelez.

5. feladat (C). Ha a kormánykerék egyenes haladásnál nem áll középen, a kormányszög-érzékelő egyenesfutás közben is elfordított kormányt jelez (ellenőrizendő: gyártói javítási adat). Az ESP és a sávtartó ezt kormányzási szándéknak veszi: a sávtartó ellenkormányoz vagy aszimmetrikusan avatkozik be, az ESP hamis beavatkozást végezhet. Ezért a beállítást kormányközépállásban végezzük, utána a kormányszög-érzékelőt nullázzuk, és szükség szerint a kamerát kalibráljuk.

6. feladat (D). A leggyakoribb okok: 1. **Érzékelő szögének romlása.** A radar rögzítése a lökhárító vagy a kocsiszekrény enyhe deformációja miatt elhajlott. A szalagkorlát fémfelülete erős radarvisszaverő, ezért a tévesztett szögben álló radar az oldalsó sávban lévő korlátot tévesen járműként azonosítja. 2. **Szennyeződés vagy jég.** A hátsó lökhárító mögötti radar sárral vagy hóval lepermetezve szintén torzíthatja a jelet. Ilyenkor először a szenzort és a konzolt kell átvizsgálni, majd szükség szerint kalibrálni.

32.3.13. Rövid összefoglaló

A vezetőtámogató rendszerek az érzékelőik (kamera, radar, ultrahang) jeleit a CAN- vagy FlexRay-buszon osztják meg, és a fék, motor, kormány vagy világítás rendszerébe avatkoznak be. Az ACC a követési távolságot tartja, az AEB vészfékez, a sávtartó asszisztens a kormányzást segíti, a holttérfigyelő oldalra néz, a TPMS a guminyomást ellenőrzi, az aktív kormányzás az áttételt módosítja. Az ADAS-érzékelő csak akkor működik pontosan, ha a járműhöz képesti geometriája a gyártói specifikáció szerinti. Ezért a szélvédőcsere, a futómű beállítása, az érzékelő kicserélése vagy a szenzortartó javítása után kötelező a statikus vagy dinamikus kalibrálás; a munkát diagnosztikai műszerrel, az előírt táblákkal, a járműterhelés és a padló vízszintjének ellenőrzése mellett végezzük. **Továbbvitt eredmény.** A hibás ADAS-kalibrálás a Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezetben a javítási munka kiindulópontja; az itt megismert érzékelő- és beavatkozó-lánc elengedhetetlen az ok-okozati hibakereséshez.

32.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípus: uniós általános biztonsági rendelet (GSR – General Safety Regulation, korábbi (EK) 661/2009, újabb (EU) 2019/2144 – pontos hatály és alkalmazandó rendszerek ellenőrizendő).
- Forrástípus: gyártói javítási utasítások (statikus kalibrációs távolságok, terhelési állapot, várakozási idők, meghúzási nyomatékok – ellenőrizendő).
- Forrástípus: ISO-szabványok a kalibrációs környezetre és az ADAS-rendszerelemekre (pontos szabványszámok ellenőrizendők).
- A táblázatban szereplő hatótávolságok és rendszernevek gyártónként eltérnek, tanulási példák.

VIII. RÉSZ – Hibrid és elektromos járművek

33 Hibrid és elektromos hajtás

33.1. Hibrid és elektromos hajtások áttekintése

33.1.1. Motiváció

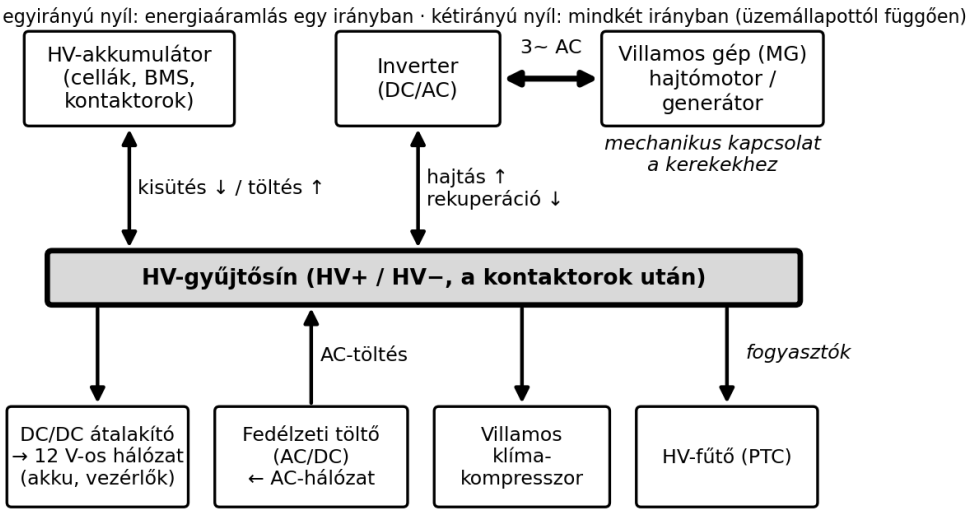
A szervizbe érkezik egy jármű, amelynek a csomagtartójában narancssárga kábelkötegek futnak, a motorháztető alatt pedig a benzinmotor mellett egy villamos gép is van. A munkafelvételi lapon csak annyi áll: „hibrid, nem indult reggel”. A szerelőnek néhány perc alatt el kell döntenie, milyen hajtással dolgozik, mert egészen más a helyes diagnosztikai út egy 48 V-os enyhe hibrid, egy külső tölthető plug-in hibrid vagy egy tisztán akkumulátoros elektromos jármű esetén. Ha minden „hibrid” feliratú autót ugyanúgy kezel, hibásan értelmezheti a tünetet, a hibakódot és a biztonsági előírásokat is.

A fejezet célja, hogy a tanuló biztonsággal besorolja a járművet a hibridizálási fokozat és a hajtáslánc-architektúra szerint, és megnevezze a nagyfeszültségű (HV) rendszer fő egységeit. Ez az alap a későbbi akkumulátoros, motoros és feszültségmentesítési fejezetekhez.

33.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy modern plug-in hibridet. A motorháztető alatt bal oldalon egy 1,6 literes benzinmotor helyezkedik el, tőle jobbra egy villamos hajtógép, kettejük között pedig egy bolygóműves teljesítményelágazó egység. A csomagtér padlója alatt nagy feszültségű lítiumion-akkumulátor található, amely narancssárga, árnyékolt kábeleken keresztül kapcsolódik a teljesítményelektronikához. Az utastér fűtését nem a motor hulladékhője, hanem elektromos fűtőelem végzi, a klímakompresszort pedig villanymotor hajtja, mert akkor is hűtenie kell, amikor a benzinmotor áll. Ez a leírás nem egyetlen jármű pontos tervrajza, hanem a tipikus HV-elrendezés vázlata; a konkrét elrendezés gyártónként és típusonként eltér.

A HV-rendszer egységeinek és energiafolyamának áttekintését mutatja az alábbi ábra.



DC-gyorstöltésnél a töltőoszlop egyenárama a fedélzeti töltőt megkerülve, külön kontaktoron át jut a gyűjtősínre.

33.1. ábra. A HV-rendszer fő egységei és energiafolyama: a HV-gyűjtősínre (a kontaktorok után) kapcsolódik az akkumulátor (kétirányú: kisütés és töltés), az inverter és a villamos gép (kétirányú: hajtás és rekuperáció), a DC/DC átalakító (a 12 V-os hálózat felé), a fedélzeti töltő (az AC-hálózat felől) és a HV-fogyasztók (klímakompresszor, HV-fűtő)

Az ábra az energia útját mutatja: a HV-akkumulátor a kontaktorokon át a HV-gyűjtősínre kapcsolódik, és onnan adja vagy oda fogadja vissza az energiát. Az inverter a sín egyenfeszültségéből a villamos gép háromfázisú áramát állítja elő (hajtás), rekuperációkor pedig fordítva, a gép generátoros áramát egyenirányítja a sín felé. A HV-fogyasztók (villamos klímakompresszor, HV-fűtő) közvetlenül a sínről kapnak energiát, nem a villamos gépen keresztül; a DC/DC átalakító a sínről táplálja a 12 V-os hálózatot, a fedélzeti töltő pedig AC-töltéskor a hálózat felől tölti a sínen át az akkumulátort. A BMS (akkumulátor-felügyelet) a cellákat, a kontaktorok pedig az akkumulátor leválasztását védik.

33.1.3. Definíciók és a hibridizálási fokozatok

Definíció. A hibrid hajtáslánc olyan járműhajtás, amelyben legalább két eltérő energiaátalakító működik együtt. Személygépkocsikban ez általában belső égésű motor és villamos gép kombinációja; a cél a fogyasztás, a károsanyag-kibocsátás csökkentése és a komfort növelése.

Definíció. A hibridizálási fokozat azt fejezi ki, hogy a villamos gép és az akkumulátor mekkora teljesítményt és funkciót vállal a hajtásban. A fokozatok: micro (mikro), mild (enyhe), full (teljes) és plug-in (külső tölthető) hibrid.

A négy fokozatot az alábbi táblázat foglalja össze.

Fokozat	Jellemző feszültség	Villamos teljesítmény	Fő funkció	Tipikus megoldás
Micro	12 V	2–5 kW	start-stop, indítás	erősített indítómotor-generátor

Fokozat	Jellemző feszültség	Villamos teljesítmény	Fő funkció	Tipikus megoldás
Mild	48 V (ritkábban 36 V)	5–20 kW	rekuperáció, gyorsítási rásegítés, vitorlázás	szíjhajtású vagy főtengelyre szerelt gép
Full	200–400 V	20–60 kW	rövid elektromos haladás, rekuperáció	párhuzamos vagy teljesítményelágazásos
Plug-in	300–800 V	50–150 kW	hosszabb elektromos hatótáv, külső töltés	párhuzamos, teljesítményelágazásos vagy soros

Az értékek tanulási példák, típusonként eltérnek (ellenőrizendő: gyártói adat).

A **micro hibrid** nem tisztán elektromosan haladó jármű; csupán a start-stop rendszer és a fékezési energia kis mértékű visszatáplálása jellemzi. A **mild hibrid** már képes a jármű lassításából energiát visszanyerni, gyorsításkor nyomatékot adni, de a gyakorlatban rendszerint nem tud hosszan tisztán elektromosan közlekedni. A **full hibrid** rövid, alacsony sebességű elektromos szakaszokra képes, belső égésű motorja kikapcsolhat, és a fékezési energia visszatöltődik. A **plug-in hibrid** nagyobb akkumulátora külső hálózatról tölthető, így a mindennapokban hosszabb elektromos hatótávot biztosít.

Előírás. A hibrid és elektromos járművek típusjóváhagyására az uniós keretrendelet és az ENSZ-EGB előírások vonatkoznak (ellenőrizendő: az (EU) 2018/858 keretrendelet, az ECE R100 elektromos hajtásbiztonsági, az ECE R85 hajtásteljesítmény-mérési előírás és a fékezési előírások).

33.1.4. Hajtáslánc-architektúrák

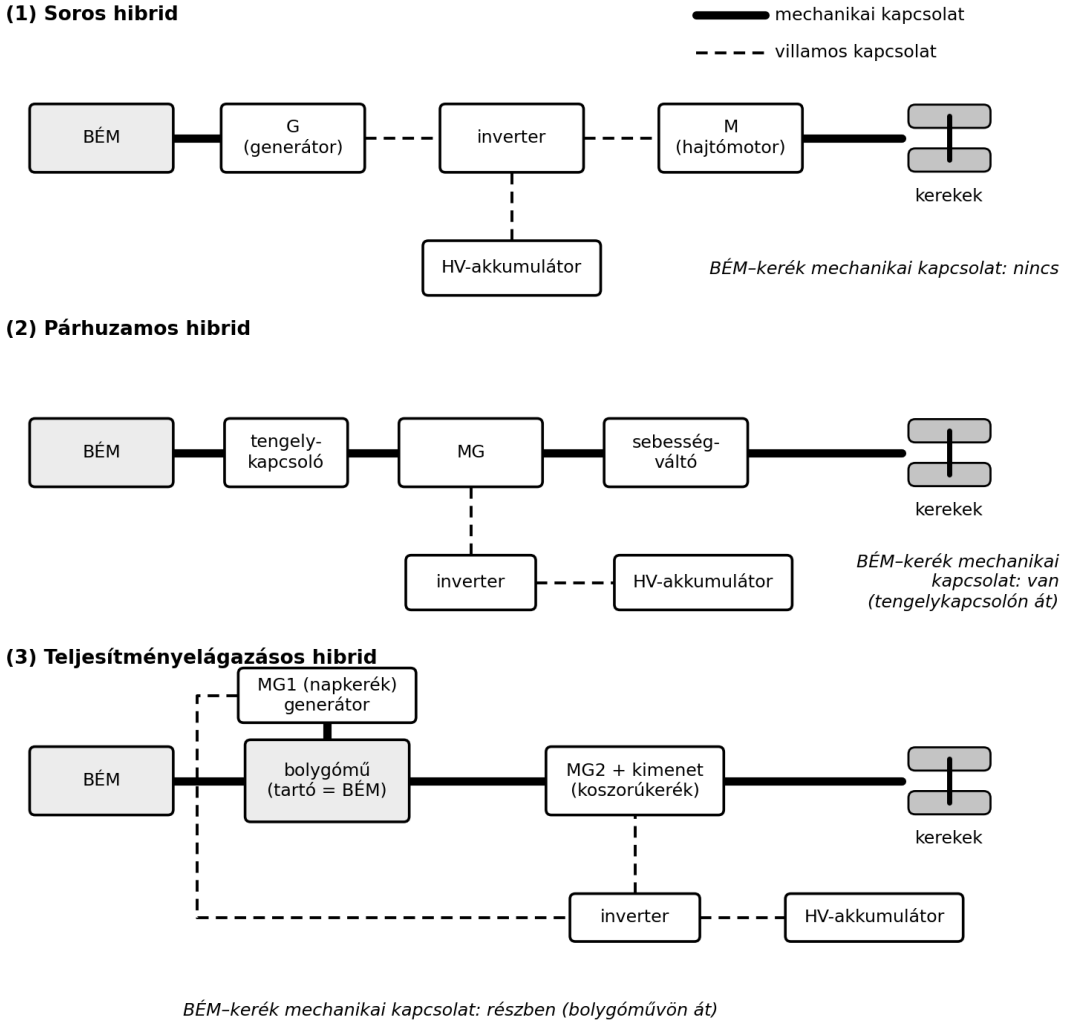
A hibrid hajtáslánc nemcsak a villamos részvétel mértékében, hanem a belső égésű motor és a villamos gép mechanikai kapcsolatában is eltérhet.

Definíció. Soros hibrid esetén a belső égésű motor kizárólag egy generátort hajt, amely villamos energiát termel; a kerekeket mindig a villamos hajtómotor hajtja. A belső égésű motor és a kerekek között nincs mechanikus kapcsolat. Így a belső égésű motor olyan fordulatszám- és terheléstartományban üzemeltethető, ahol a hatásfoka kedvező.

Definíció. Párhuzamos hibrid esetén a belső égésű motor és a villamos gép is mechanikusan hozzá tud kapcsolódni a hajtáslánchoz. A két nyomaték összegezhető: egyik, másik vagy mindkettő hajthat. A villanymotor jellemzően ugyanazt a tengelyt hajtja, mint a belső égésű motor, esetleg tengelykapcsolóval leválasztható.

Definíció. Teljesítményelágazásos (power-split) hibrid esetén a belső égésű motor nyomatékát bolygómű osztja meg a hajtás és a generátor között. A bolygómű egy része a kerekeket hajtja, másik része generátort forgat, a harmadik pedig a belső égésű motorral kapcsolódik. A rendszer a soros és a párhuzamos üzem előnyeit ötvözi; hagyományos fokozatos váltóra gyakran nincs szükség.

A három architektúra besorolásához a gyártói javítási útmutató kapcsolási rajza és a hajtáslánc-ábra az elsődleges forrás. A mai plug-in hibridek többsége párhuzamos vagy teljesítményelágazásos, a kisebb hatótávnövelők soros elrendezésűek.



33.2. ábra. Soros, párhuzamos és teljesítményelágazásos hibrid hajtáslánc energiaútjai azonos jelkulccsal (vastag folytonos vonal: mechanikai, szaggatott vonal: villamos kapcsolat); a BÉM és a kerekek között sorosnál nincs, párhuzamosnál van, teljesítményelágazásosnál a bolygóművön át részben van mechanikai kapcsolat

A besorolás kulcsa az, hogy hol fut mechanikai (vastag) vonal a belső égésű motortól a kerekekig: sorosnál sehol, párhuzamosnál a tengelykapcsolón és a váltón át, teljesítményelágazásosnál a bolygóművön át, ahol a bolygókerék-tartót a BÉM, a napkereket az MG1 generátor, a koszorúkereket az MG2 és a kimenet köti. Az interaktív változatban üzemmód (elektromos haladás, gyorsítás, töltés menet közben, rekuperáció) választható, és az aktív energiautak kiemelődnek.

33.1.5. Akkumulátoros, hatótávnövelő és üzemanyagcellás járművek

Definíció. Akkumulátoros elektromos jármű (BEV, battery electric vehicle): kizárólag akkumulátorról táplált villamos hajtómotorral rendelkezik; nincs belső égésű motorja. Az energiát a HV-akkumulátor tárolja, a hajtást egy vagy több villamos gép végzi.

Definíció. Hatótávnövelő jármű (REEV, range-extended electric vehicle): soros hibrid, amelyben a kerekeket mindig villanymotor hajtja, de egy kis belső égésű motor generátort

hajtva növeli az akkumulátor hatótávját. A belső égésű motor nem kapcsolódik mechanikusan a kerekekhez.

Definíció. Üzemanyagcellás jármű (FCEV, fuel cell electric vehicle): az elektromos energiát hidrogénből üzemanyagcella állítja elő; az akkumulátor puffertárolóként segíti a gyors terhelésváltozásokat. A kerekeket villanymotor hajtja. A jármű hidrogént tankol, nem hálózati áramról töltődik.

Összefüggés. A fenti fogalmak egymástól jól megkülönböztethetők: a BEV-ben nincs belső égésű motor, a REEV-ben van, de nincs mechanikus hajtáskapcsolata a kerékhez, a FCEV-ben az energiaforrás legfontosabb átalakítója az üzemanyagcella, a hibridben pedig a belső égésű motor és a villamos gép együtt dolgozik.

33.1.6. 48 V-os rendszerek

A **48 V-os rendszer** a mild hibrid tipikus megvalósítása. A jármű 12 V-os fedélzeti hálózatát egy DC/DC átalakító kapcsolja a 48 V-os hálózathoz. A 48 V-os oldalon nagyobb teljesítmény érhető el, miközben a feszültség még alacsonyabb, mint a full vagy plug-in hibridek HV-szintje.

Számítás. Ha egy 48 V-os indítómotor-generátor rövid ideig 10 kW teljesítményt ad le, az egyenáramú oldalon folyó áram:

$$P = U \cdot I,$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10\,000\,\mathrm{W}}{48\,\mathrm{V}} \approx 208\,\mathrm{A}.$$

A 12 V-os rendszer ugyanekkora teljesítményéhez 833 A kellene; ezért a 48 V lényegesen kisebb keresztmetszetű kábeleket és kisebb feszültségesést tesz lehetővé. A 48 V-os rendszerben a nagy áramok miatt az érintkezők ívterhelése és a rövidzárlat energiája már komoly, ezért a javításnál a gyártói előírást és a speciális csatlakozókezelést be kell tartani.

Továbbvitt eredmény. A 12 V-os és a HV-hálózat közötti DC/DC átalakító szerepét a(z) A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) alfejezetben is használjuk, amikor az akkumulátor-leválasztás utáni 12 V-os ellátást vizsgáljuk.

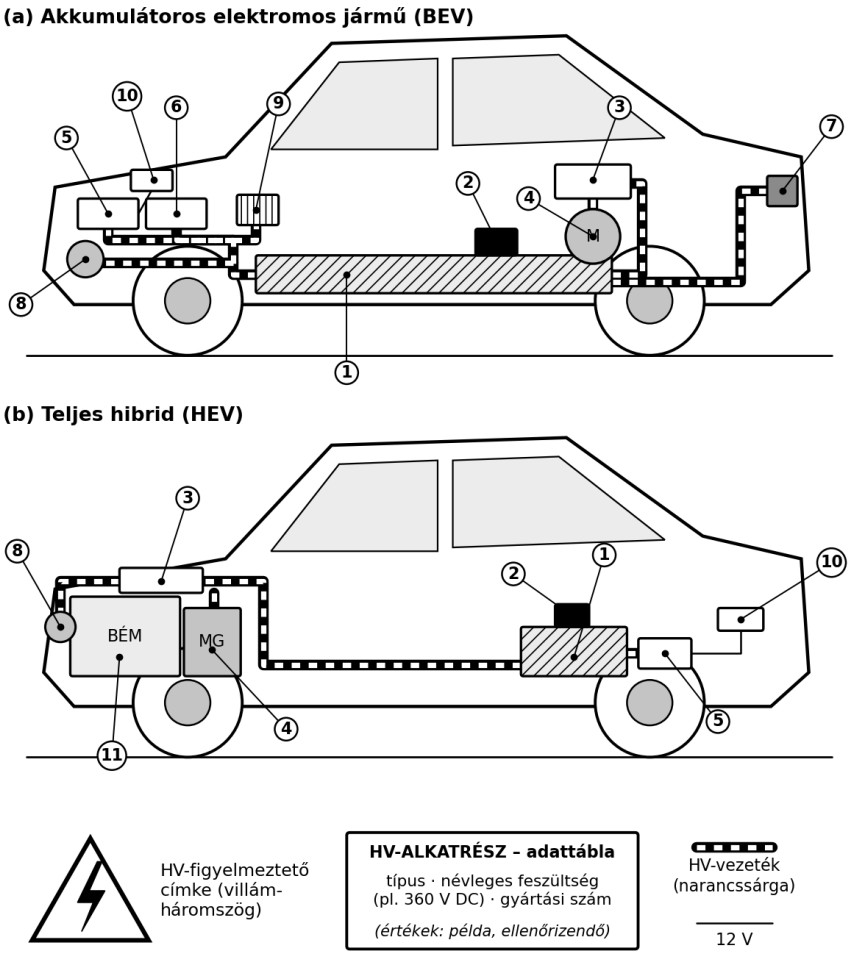
33.1.7. A HV-rendszer fő egységei

A HV-rendszer fő egységei a járműben több helyen oszlanak meg:

- **HV-akkumulátor:** jellemzően a padlólemez alatt, a csomagtartóban vagy a hátsó ülés alatt; a cellákat, a BMS-t és a kontaktorokat tartalmazó, biztonságosan zárt egység.
- **Inverter:** a HV-akkumulátor egyenfeszültségét változó frekvenciájú háromfázisú feszültséggé alakítja a hajtómotor számára, illetve rekuperációkor a váltakozó áramot egyenirányítja vissza.
- **Villamos hajtógép (motor/generátor, MG):** hajtáskor nyomatékot ad, fékezéskor generátorként visszatölti az energiát. Típusa tipikusan állandó mágneses szinkronmotor vagy aszinkron motor (lásd a Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok alfejezetet).
- **DC/DC átalakító:** a HV-hálózatból tölti a 12 V-os fedélzeti hálózatot és az indítóakkumulátort.

- **Fedélzeti töltő:** a külső váltakozó áramú hálózatot egyenirányítja és a HV-akkumulátort tölti; a gyors egyenáramú töltésnél gyakran a töltőállomás kommunikál a járművel, és közvetlenül a kábel felőli egyenfeszültség töltheti az akkumulátort.
- **Elektromos klímakompresszor:** a HV-hálózatról üzemel, hogy a belső égésű motor álló helyzetében is hűthessen.
- **HV-fűtés:** az utastér és az akkumulátor melegen tartását villamos fűtőelem vagy hőszivattyú végzi.

A pontos elrendezés és az egységek jelölése a gyártói javítási útmutatóban, valamint a jármű HV-kapcsolási rajzán szerepel.



33.3. ábra. A HV-elemek elhelyezkedése (a) akkumulátoros elektromos és (b) teljes hibrid járműben, sematikus „átlátszó” oldalnézetben: 1 HV-akkumulátor, 2 szervizcsatlakozó, 3 inverter, 4 hajtómotor / villamos gép, 5 DC/DC átalakító, 6 fedélzeti töltő, 7 töltőcsatlakozó, 8 villamos klímakompresszor, 9 PTC-fűtés, 10 12 V-os akkumulátor, 11 belső égésű motor; a csíkozott vastag vonal a narancssárga HV-vezeték; alul a HV-figyelmeztető címke és az adattábla

Az ábrán látszik, hogy a BEV-ben a HV-akkumulátor a padlóban, a HEV-ben kisebb pakkként hátul van, a szervizcsatlakozó pedig mindkét esetben az akkumulátoron vagy annak közelében található. Ezekhez az egységekhez és a narancssárga vezetékekhez csak jogosult személy nyúlhat, a feszültségmentesítés után. Az interaktív változatban BEV és HEV között lehet váltani, a HV- és a 12 V-os hálózat rétegként ki-be kapcsolható, rámutatásra az egység neve jelenik meg.

Definíció. A HV-vezetékek narancssárga színűek, hogy a szerelő és a mentőszemélyzet egy pillantással megkülönböztesse őket a 12 V-os hálózattól. A szín alkalmazása nemzetközi gyakorlat,

a pontos árnyalat és a jelölés a gyártói és ENSZ-EGB előírások szerint történik (ellenőrizendő: a hatályos ECE R100 jelölési követelményei).

33.1.8. HV-biztonság

HV-biztonság. A full, plug-in, BEV és FCEV járművek nagyfeszültségű rendszere jellemzően 200–800 V egyenfeszültséggel dolgozik; ez érintésvédelem, ívveszély és áramütés szempontjából életveszélyes lehet. A HV-rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat, a gyártói javítási utasítás szerint. A narancssárga vezetéket és a HV-figyelmeztető címkéket mindig úgy kell kezelni, mint ami feszültség alatt állhat akkor is, ha a jármű gyújtása ki van kapcsolva; a rendszerben lévő kondenzátorok és a HV-akkumulátor tárolt energiája továbbra is veszélyes lehet. A feszültségmentesítés lépéseit – jogosultság ellenőrzése, gyújtás ki, 12 V-os akkumulátor lekötése, HV-szervizcsatlakozó eltávolítása, várakozási idő, feszültségmentesség ellenőrzése és dokumentálás – a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezet tanítja. **Biztonsági korlát.** A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

33.1.9. Kidolgozott példák

Példa 1 – Besorolás plug-in hibridként. Egy jármű 1,8 literes benzinmotorral, 60 kW-os villamos hajtógéppel, 8,8 kWh hasznos energiatartalmú HV-akkumulátorral és külső töltőcsatlakozóval rendelkezik. A gyártó által megadott elektromos hatótáv 55 km (ellenőrizendő: a hatályos mérési ciklus szerinti gyári érték). Besorolás: plug-in hibrid, mert a jármű külső hálózatról tölthető, és az elektromos hatótáv jelentősen nagyobb, mint egy full hibridé. Architektúra: a benzinmotor és a villamos gép ugyanarra a hajtásláncra dolgozik, ezért párhuzamos plug-in hibrid kategóriába sorolható; a pontos felépítés a gyártói dokumentációból ellenőrizendő.

Példa 2 – BEV hatótáv-becslés. Egy BEV hasznos akkumulátor-energiája 20 kWh, az átlagos energiafogyasztása 15 kWh/100 km. A becsült hatótáv:

$$D = \frac{20\,\mathrm{kWh}}{15\,\mathrm{kWh}/100\,\mathrm{km}} = 133\,\mathrm{km}.$$

Ez az érték csak közelítő, mert a fogyasztást a sebesség, a terep, a külső hőmérséklet, a fűtés és a klíma erősen befolyásolja.

Példa 3 – 48 V-os áram. A fenti számításban láttuk, hogy 10 kW teljesítmény 48 V-on 208 A áramot igényel. Ezért a 48 V-os rendszer kábelezése és csatlakozói nagy terhelhetőségűek, a kötések meghúzási nyomatékát és a csatlakozók tisztaságát a gyártói adatok szerint kell ellenőrizni.

33.1.10. Minőségellenőrzés

A hibrid vagy elektromos jármű azonosításakor az alábbiakat ellenőrzöm:

1. **Járműazonosítás:** a típustábla, a járműazonosító szám (VIN) és a gyártói szervizutasítás alapján meghatározom a hajtástípust.
2. **Töltőcsatlakozó:** ha van külső töltőcsatlakozó, akkor plug-in vagy BEV; ha nincs, akkor micro/mild/full hibrid vagy hagyományos jármű.
3. **HV-címkék:** a narancssárga vezetékek és a HV-figyelmeztető címkék meglétét, olvashatóságát, valamint a HV-egységek elhelyezkedését dokumentálom.

4. **Rendszerfeszültség:** a 48 V-os mild hibrid és a HV-rendszer ELV/HV szintje jól elkülöníthető a javítási útmutató és a kapcsolási rajz alapján.
5. **A munkalap hajtásmezője:** csak a pontos típus (például „M1 plug-in hibrid, teljesítményelágazásos") kerüljön a dokumentációba, ne az általános „hibrid" megnevezés.

33.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt mondja, hogy a „hibrid" autó reggel nem indult. A szerelő azonosítja a járművet: nincs külső töltőcsatlakozó, a motorháztető alatt 48 V-os indítómotor-generátor és 12 V-os hálózat található, a start-stop rendszer működik. A diagnosztikai műszerrel a 48 V-os akkumulátor töltöttsége megfelelő, de a hajtószíj kopott, és a 48 V-os gép hidegindításkor megcsúszik. A szerelő kicseréli a hajtószíjat, ellenőrzi a feszítőt, és elvégzi a gyártói adaptációs lépéseket. Tanulság: a „hibrid" elnevezés nem elég; a mild hibrid és a plug-in hibrid teljesen más javítási és biztonsági eljárást igényel.

33.1.12. Tipikus hibák

- **Minden hibridet full hibridként kezelni:** a micro és mild hibrid nem feltétlenül tud tisztán elektromosan haladni, ezért ilyen tünetet várni hibás.
- **A 48 V-ot 12 V-os rendszerként kezelni:** a 48 V-os oldalon nagyobb áram és ívterhelés érhető el, a csatlakozók és a kábelek ellenőrzése más.
- **A narancssárga kábelt gyújtás nélkül biztonságosnak tekinteni:** a HV-rendszerben a kondenzátorok és az akkumulátor a gyújtás kikapcsolása után is életveszélyes feszültséget tarthat.
- **A plug-in hibridet nem töltik külső hálózatról:** így a jármű nem hozza a gyári elektromos hatótávot, a vásárlói elégedetlenség téves hibamegállapításhoz vezethet.
- **A soros és a párhuzamos hibrid összekeverése:** a soros hibridben a belső égésű motor nem hajtja mechanikusan a kerekeket, ezért a hibakeresés során más vezérlési logikát kell ellenőrizni.

33.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e: a micro hibrid tisztán elektromosan is képes városi haladásra? Indokolja.
2. Melyik hibridizálási fokozatba tartozik egy 48 V-os, külső hálózatról nem tölthető, rekuperációra és gyorsítási rásegítésre képes jármű?
3. Számítsa ki egy 15 kW-os, 48 V-os indítómotor-generátor áramfelvételét.
4. Mit jelölnek a járműben a narancssárga kábelek?
5. Miben különbözik a REEV a FCEV-től?

33.1.14. Feladatok

1. feladat (A)
Sorolja fel a hibridizálási fokozatokat, és adjon meg mindegyikhez egy-egy jellemző feszültségszintet.

2. feladat (A)
Definiálja a BEV és a FCEV fogalmát, és adja meg, miből nyeri az energiát a hajtáshoz.

3. feladat (B)
Egy jármű 100 kW villamos hajtógéppel, 15 kWh hasznos energiatartalmú HV-akkumulátorral

rendelkezik, külső tölthető, és a gyártó szerint tisztán elektromosan 60 km-t tud megtenni. A benzinmotor és a villanymotor is mechanikusan hajtja a kerekeket. Milyen hibridizálási fokozatba és milyen architektúrába sorolja? Indokolja.

4. feladat (B)
Egy 48 V-os indítómotor-generátor 20 kW teljesítményt ad le rövid időre. Számítsa ki az áramerősséget. Becsülje meg egy 25 kWh hasznos energiájú BEV hatótávját 18 kWh/100 km átlagos fogyasztással.

5. feladat (C)
Magyarázza el, miért nem érdemes minden járműből plug-in hibridet készíteni a tömeg, a költség, a csomagtér és a hőmenedzsment szempontjából.

6. feladat (D)
Egy műhelyben a szerelő sérült szigetelésű, narancssárga HV-kábelt talál a jármű alatt. Mit kell tennie, és milyen sorrendben? Ne végezzen javítást, csak írja le a biztonságos lépéseket.

33.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A micro hibrid csak start-stop indítást és kis mértékű rekuperációt végez; tisztán elektromos haladásra nem alkalmas.
2. Mild hibrid.
3. $$I = \frac{P}{U} = \frac{15\,000\,\mathrm{W}}{48\,\mathrm{V}} \approx 313\,\mathrm{A}.$$
4. A narancssárga kábelek a nagyfeszültségű (HV) hálózatot jelölik, amely életveszélyes feszültséget is vihet akkor is, ha a gyújtás ki van kapcsolva.
5. A REEV hatótávnövelővel rendelkezik: a kerekeket villanymotor hajtja, a belső égésű motor csak generátort hajt. A FCEV üzemanyagcellából nyeri az elektromos energiát hidrogénből, nincs belső égésű motor.

1. feladat megoldása
Micro: 12 V; mild: 48 V (ritkán 36 V); full: 200–400 V; plug-in: 300–800 V. Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

2. feladat megoldása
BEV: tisztán akkumulátoros elektromos jármű; az energia kizárólag a HV-akkumulátorban tárolódik, a kerekeket villanymotor hajtja. FCEV: üzemanyagcellás jármű; a hidrogénből üzemanyagcella állít elő elektromos energiát, az akkumulátor pufferként működik, a kerekeket villanymotor hajtja.

3. feladat megoldása
Plug-in hibrid, mert külső hálózatról tölthető és az elektromos hatótáv nagy. Párhuzamos architektúra, mert a benzinmotor és a villanymotor is mechanikusan hajtja a kerekeket. A pontos besorolást a gyártói javítási adat alapján kell megerősíteni.

4. feladat megoldása
Áramerősség 48 V-on:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{20\,000\,\mathrm{W}}{48\,\mathrm{V}} \approx 417\,\mathrm{A}.$$

Hatótáv:

$$D = \frac{25\,\text{kWh}}{18\,\text{kWh}/100\,\text{km}} \approx 139\,\text{km}.$$

5. feladat megoldása
A plug-in hibrid nagyobb HV-akkumulátort, erősebb villamos gépet, töltőt és hőmenedzsmentet igényel. Ez növeli a jármű tömegét, csökkenti a hasznos teherbírást és a csomagtér méretét, emeli a gyártási és fenntartási költséget. Ha az ügyfél nem tudja rendszeresen tölteni, a jármű nem hozza a gyári elektromos hatótávot.

6. feladat megoldása
A nem HV-jogosult szerelő a sérült kábelhez és a HV-egységekhez nem nyúl, a járművet nem indítja és nem tölti. Teendői: (1) a munka leállítása, a terület lezárása és HV-figyelmeztető jelölése, (2) a gyújtás kikapcsolása és a kulcs biztonságos helyre tétele (ha ez a sérüléstől távol, a jármű érintése nélkül megoldható), (3) a HV-felelős, jogosult személy értesítése és a dokumentálás. A feszültségmentesítést – a jogosultság és az EVE ellenőrzése (szigetelő kesztyű légnyomásos ellenőrzése, arcvédő), a 12 V-os akkumulátor lekötése, a HV-szervizcsatlakozó eltávolítása és visszakapcsolás elleni biztosítása, a gyártó által előírt várakozási idő, feszültségmentesség-ellenőrzés ellenőrzött műszerrel (előtte és utána a műszer ellenőrzése), dokumentálás – a jogosult személy végzi a gyártói eljárás szerint (lásd: Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése). Sérült szigetelésnél a gyártói sérült-jármű eljárás is kötelező, mert a karosszéria is feszültség alá kerülhet. A tényleges javítást csak HV-jogosult személy végezheti.

33.1.16. Rövid összefoglaló

A hibrid és elektromos hajtás nem egyetlen rendszer, hanem fokozatok és architektúrák sokasága. A hibridizálási fokozat a villamos gép teljesítménye és az akkumulátor mérete szerint micro, mild, full vagy plug-in; az architektúra lehet soros, párhuzamos vagy teljesítményelágazásos. A BEV kizárólag akkumulátoros, a REEV hatótávnövelőt használ, a FCEV üzemanyagcellából állítja elő a villamos energiát. A 48 V-os mild hibrid a 12 V-os és a HV-rendszer között foglal helyet; teljesítménye a 12 V-nál nagyobb, de feszültségszintje alacsonyabb a full/plug-in hibrideknél. A HV-rendszer fő egységei: HV-akkumulátor, inverter, villamos hajtógép, DC/DC átalakító, fedélzeti töltő, elektromos klímakompresszor és HV-fűtés. A narancssárga HV-vezetékek és a figyelmeztető címkék alapján a rendszer feszültség alatti állapota sosem tételezhető fel biztonságosnak; feszültségmentesítés csak a gyártói eljárás szerint, jogosult személy által végezhető. **Továbbvitt eredmény.** Ez az áttekintés a(z) A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS) alfejezetben az akkumulátor, a Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment alfejezetben az inverter és a motor, a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezetben pedig a HV-biztonsági lépések alapja.

33.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

- Az elektromos gépek, a hajtáslánc és a 48 V-os rendszerek működési elve: stabil járműtechnikai és elektrotechnikai ismeret.
- Az ENSZ-EGB előírások: ECE R100 (elektromos hajtás biztonsága), ECE R85 (hajtásteljesítmény mérése) (ellenőrizendő: aktuális kiadások és hatály).
- Az uniós típusjóváhagyási keretrendelet: (EU) 2018/858 (ellenőrizendő: aktuális módosítások).
- A táblázatban szereplő feszültség- és teljesítménytartományok tanulási példák, nem hatósági határértékek (ellenőrizendő: gyártói adat).

- A 48 V-os rendszer feszültségszintjének HV/ELV besorolásához a vonatkozó járműbiztonsági előírás pontos határértéke (ellenőrizendő: ECE R100 szerinti osztályok).

33.2. A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS)

33.2.1. Motiváció: miért a HV-akkumulátor a diagnosztika szíve?

Hibrid vagy elektromos jármű érkezik a műhelybe, és a vezető azt mondja: „a kocsi nem akar elindulni, csak beveszi a fokozatot, de nem hajt, és feljött valami akkumulátoros hibaüzenet.” A rendszerteszter a hajtáslánc-vezérlőből nemcsak motorkódot, hanem a nagyfeszültségű (HV) akkumulátorra, a BMS-re (battery management system), a kontaktorokra vagy a szigetelésfigyelésre utaló hibakódokat is olvashat. Ha a szerelő nem érti a cellák, modulok és a biztonsági kapcsolóáramkör felépítését, akkor nem tudja eldönteni, hogy egy cella, egy érzékelő, egy kontaktor, vagy éppen a hűtőrendszer hibás-e. Ez az alfejezet ezért a cellától a teljes akkumulátorrendszerig vezet: megismerjük a Li-ion cellákat, a soros–párhuzamos kapcsolást, a BMS feladatait, a HV-kontaktorokat, az előtöltést és a hőmenedzsmentet.

33.2.2. Szemléletes kép: egy padlóba épített HV-akkumulátor

Képzeljünk el egy elektromos személyautót, amelynél a HV-akkumulátor a padlólemez alatt, az első és hátsó tengely között helyezkedik el. Az alumínium házban több modul sorakozik, mindegyikben több, sorba kötött Li-ion cella. A cellák kék vagy ezüst fóliába, illetve prizmatikus dobozba zárt egységek, közöttük hűtőlemezek futnak, amelyeken folyadék kering. A pakk oldalán narancssárga HV-kábelek vezetnek a hajtásinverterhez, elöl pedig egy narancssárga szervizcsatlakozó (service disconnect) található, amely feszültségmentesítéskor kézzel eltávolítható. A pakk tetején, kis árnyékolt kábelezéssel a BMS mérővezetékei futnak a cellafeszültség- és hőmérséklet-érzékelőkhöz. A pakk elején külön dobozban vannak a fő kontaktorok, az előtöltő ellenállás, a HV-biztosító és a mérőérzékelők.

33.2.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. HV-akkumulátor (high-voltage traction battery): a hibrid vagy elektromos jármű hajtási energiáját tároló, narancssárga jelöléssel ellátott, több száz voltos egyenfeszültségű akkumulátor. A „HV” itt a járműtechnikai nagyfeszültséget jelenti, nem a hálózati épületvillamossági feszültségszinteket.

Definíció. Cella, modul, pakk. A **cella** a legkisebb elektrokémiai egység. A **modul** több cella mechanikailag és elektromosan összekapcsolt csoportja, jellemzően kerettel, hűtőlemezzel és érzékelőkkel. A **pakk** a modulok, hűtőelemek, érzékelők, kontaktorok, biztosítók és BMS közös házba szerelt, járműbe építhető rendszere.

Definíció. BMS (battery management system): az akkumulátor villamos, hő- és biztonsági állapotát felügyelő elektronikus rendszer.

Összefüggés. A soros és párhuzamos cellaösszeköttetésből a pakk feszültsége, kapacitása és energiája:

$$U_{\text{pakk}} = n_{\text{s}}\, U_{\text{cella}}, \qquad Q_{\text{pakk}} = n_{\text{p}}\, Q_{\text{cella}},$$
$$W_{\text{pakk}} = U_{\text{pakk}}\, Q_{\text{pakk}} = n_{\text{s}}\, n_{\text{p}}\, U_{\text{cella}}\, Q_{\text{cella}},$$

ahol n_{s} a soros cellák száma, n_{p} a párhuzamos cellák száma, U_{cella} a cella névleges feszültsége, Q_{cella} a cella kapacitása (Ah), W_{pakk} a pakk energiája (Wh). A pakk kapacitását amperórában párhuzamos kapcsolás növeli, feszültségét soros kapcsolás.

Definíció. SoC (state of charge) a töltöttségi szint, **SoH** (state of health) az egészségi állapot. Képlettel:

$$SoC = \frac{Q_{\mathrm{maradék}}}{Q_{\mathrm{névleges}}} \cdot 100\%, \qquad SoH = \frac{C_{\mathrm{aktuális}}}{C_{\mathrm{új}}} \cdot 100\%,$$

ahol $Q_{\mathrm{maradék}}$ a még kivehető töltésmennyiség, $Q_{\mathrm{névleges}}$ a névleges kapacitás, $C_{\mathrm{aktuális}}$ a jelenlegi, $C_{\mathrm{új}}$ az új állapotban mért kapacitás. A gyakorlatban a SoH-t a kapacitáscsökkenés és a belső ellenállás növekedése együttesen jellemzi.

Definíció. HV-kontaktor (contactor): nagyfeszültségű egyenáramú relé, amely a HV-akkumulátor pozitív és negatív pólusát a jármű hajtásrendszeréhez kapcsolja. **Előtöltő ellenállás** (precharge resistor): a fő kontaktor zárása előtt a DC-köri kondenzátort korlátozott árammal feltöltő ellenállás. **Szervizcsatlakozó** (service disconnect): a mechanikai leválasztást lehetővé tevő, általában narancssárga reteszelt elem, amely kiveszése megszakítja a cellák közötti áramkört. **Szigetelésfigyelés**: a HV+ és HV− vezetékek test (karosszéria) felé mért szigetelési ellenállásának folyamatos vagy időszakos ellenőrzése.

33.2.4. Felépítés és működés

33.2.4.1. Cella és cellakémia

A hajtásakkumulátorokban ma elsősorban lítiumion (Li-ion) cellákat használunk. Két elterjedt katódkémia:

Jellemző	NMC (nikkel-mangán-kobalt)	LFP (lítium-vas-foszfát)
Névleges cellafeszültség	kb. 3,6–3,7 V	kb. 3,2–3,3 V
Energiasűrűség	nagyobb	kisebb
Biztonsági viselkedés	érzékenyebb	stabilabb
Tipikus alkalmazás	személyautó	busz, teherszállító, energiatároló

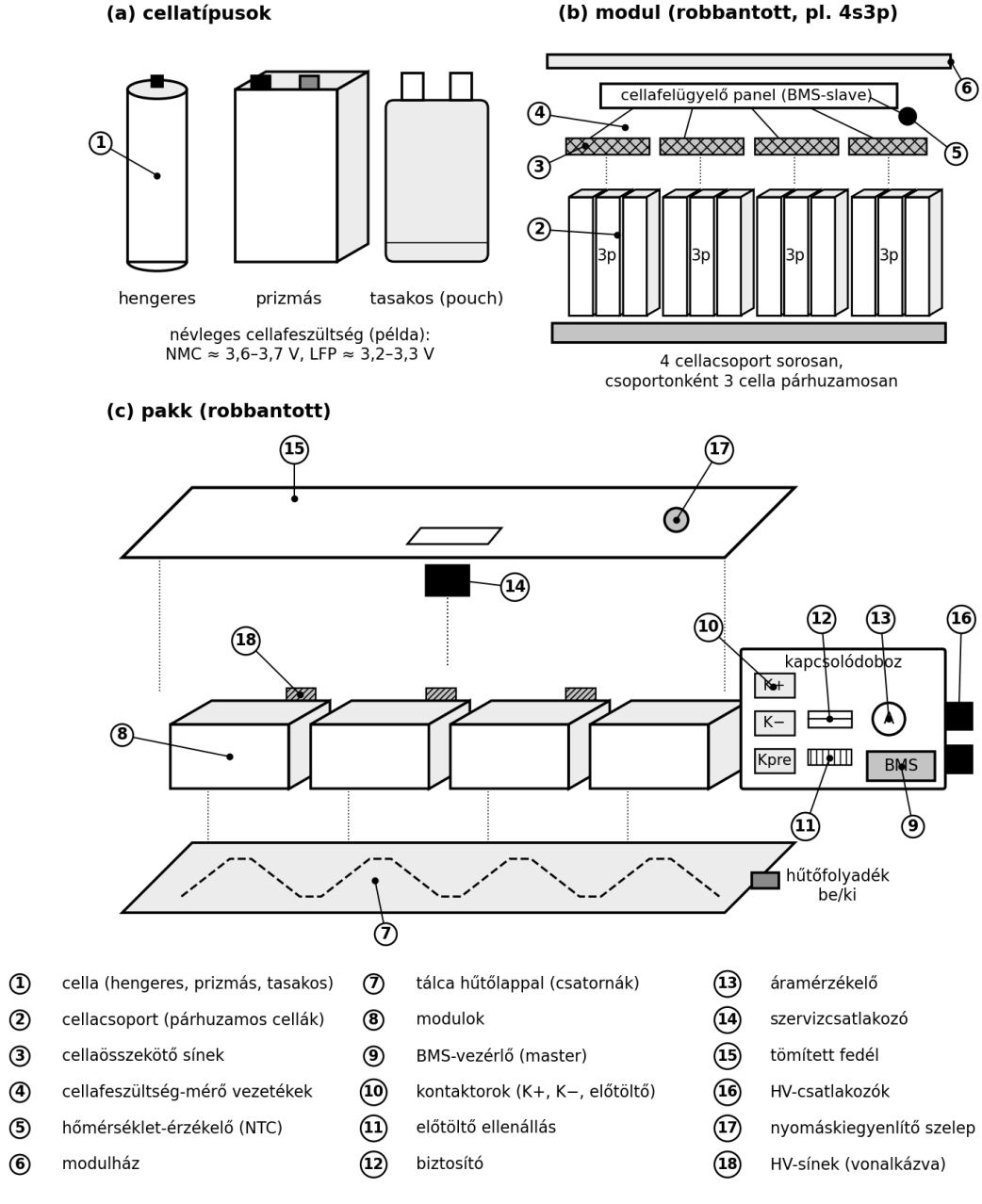
Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

Cellák kialakítás szerint lehetnek **hengeres** (pl. 18650, 21700 méretjelölés), **prizmatikus** (sík oldalfalú fém doboz) vagy **pouch** (fóliatasakos, párnázott) cellák. A járműpakkokban a párhuzamosan kötött cellacsoportokat gyakran egy cellának tekintik (pl. 3 db 50 Ah-s pouch párhuzamosan = 150 Ah-s cellacsoport), mert elektromos szempontból ugyanúgy viselkednek.

33.2.4.2. Soros–párhuzamos elrendezés, modul és pakk

A pakk jelölése általában `nsnp` alakú, például `96s2p`: 96 soros cellacsoport, csoportonként 2 párhuzamos cella. A soros kapcsolás növeli a feszültséget, a párhuzamos kapcsolás növeli az amperóra kapacitást és a terhelhetőséget. A soros füzért **stringnek** is nevezzük. Egy nagyobb személyautó-pakk jellemzően 96–108 soros cellacsoportból áll, így a névleges feszültség 350–450 V körül van; egyes tehergépjármű-rendszerek 600–800 V-osak (ellenőrizendő: típus szerint).

A modul feladata a soros string szakaszokba osztása, a mechanikai rögzítés, a hűtőlemezekkel való érintkezés és a BMS-mérések bekötése. A modulok egymáshoz csavarozott, rugalmas vagy sínezett összekötőkkel csatlakoznak; minden modulnál kivezetnek a cellafeszültség-mérő vezetékek és a belső hőmérséklet-érzékelők.



33.4. ábra. A HV-akkumulátor felépítése robbantott vonalrajzon: (a) hengeres, prizmás és tasakos cella; (b) modul soros–párhuzamos cellacsoportokkal, összekötő sínekkel, mérővezetékekkel, NTC-vel és cellafelügyelő panellel; (c) pakk hűtőlapos tálcával, modulokkal, kapcsolódobozzal (kontaktorok, előtöltő ellenállás, biztosító, áramérzékelő, BMS), szervizcsatlakozóval és tömített fedéllel (sematikus, nem méretarányos)

A rajzon a cella–modul–pakk szintek egymásra épülése követhető: a cellacsoportokat sínek kötik sorba, a modulok a hűtőlapon ülnek, a kapcsolódobozban vannak a kontaktorok és az előtöltés elemei, a szervizcsatlakozó pedig a fedélen át hozzáférhető. Az interaktív változatban a lejátszás pakk → modul → cella sorrendben „szedi szét” az akkumulátort, rámutatásra az elem neve

jelenik meg, a kalkulátor pedig a soros és párhuzamos cellaszámból és a cellaadatokból kiszámítja a pakkfeszültséget, a kapacitást és az energiát (alapérték: az 1. példa 96s2p pakkja).

33.2.4.3. A BMS feladatai

A BMS a HV-akkumulátor „felügyeleti központja”. Feladatai:

1. **Cellafeszültség-figyelés.** Minden cellacsoport feszültségét időről időre megméri, és a cellák közötti eltérést figyeli. Új, kiegyenlített pakkon az eltérés néhány millivolt; a gyártói határ gyakran 20–40 mV alatti (ellenőrizendő).
2. **Hőmérséklet-figyelés.** A modulokon elosztott NTC/PT hőmérséklet-érzékelőkkel méri a cellák hőmérsékletét, és a hűtő/fűtő rendszert ennek megfelelően szabályozza.
3. **Cellakiegyenlítés (balancing).** A soros cellák öregedése vagy hőmérséklete eltérő lehet, ezért a BMS **passzív kiegyenlítést** (a magasabb feszültségű cellák kis ellenálláson kisütik) vagy **aktív kiegyenlítést** (többletenergiát töltésmozgató kapcsolóval más cellába visznek) végez.
4. **SoC- és SoH-becslés.** A SoC-t áramintegrálással (coulomb-counting) és feszültség-nyitott áramköri görbe alapján becsli; a SoH-t a kapacitáscsökkenésből és a belső ellenállás emelkedéséből.
5. **Védelem.** Túlfeszültség, mélykisülés, túláram, túlmelegedés vagy belső szigetelési hiba esetén a BMS utasítja a vezérlőt a kontaktorok nyitására, illetve teljesítménykorlátozást kér.
6. **Kommunikáció.** A BMS adatokat küld a hajtáslánc-vezérlőnek (CAN buszon), és diagnosztikai adatokat szolgáltat a rendszerteszternek.

33.2.4.4. HV-kapcsolóáramkör és előtöltés

A cellák önmagukban is veszélyes feszültséget adnának, ezért a járműhöz csak zárt kontaktorokon keresztül kapcsolódnak. A pakk pozitív és negatív kivezetésén egy-egy fő kontaktor, valamint egy előtöltő ág található. Az alábbi elvi ábra ezt mutatja:

33.5. ábra. HV-akkumulátor kapcsolóáramköre előtöltéssel (elvi rajz) - Elvi rajz tanulási célra. Alapállapot: a kontaktorok nyitottak (gyújtás ki), a szervizcsatlakozó (SD1) bedugva. Az SD1 és a HV-biztosító (F1) a cellasor közepén, sorosan bont; kihúzott SD1 mellett a két cellasor-fél egyenként még feszültség alatt van. Az értékek példák (ellenőrizendő: gyártói rajz).

A rajzon a $\mathrm{HV}_{\mathrm{BAT1}}$ és a $\mathrm{HV}_{\mathrm{BAT2}}$ a cellasor két felét, `SD1` a szervizcsatlakozót (a cellasor közepén, sorosan, a HV-biztosítóval, `F1`), a szaggatott keret a pakk határát, `K_MN` a negatív fő kontaktor, `K_MP` a pozitív fő kontaktor, `K_PRE` és `R_pre` az előtöltő ág, `C_dc` pedig az inverter DC-köri kondenzátora. Az alapállapotban a kontaktorok nyitva vannak, ezért a csatlakozón kívül nincs feszültség a jármű HV-kábelezésén.

Bekapcsoláskor a vezérlő először a negatív fő kontaktort (`K_MN`) zárja, majd az előtöltő kontaktort (`K_PRE`) zárja, hogy a `C_dc` kondenzátor az `R_pre` ellenálláson keresztül korlátozott árammal töltődjön. Amikor a DC-köri feszültség eléri a pakkfeszültség 90–95%-át, a vezérlő zárja a pozitív fő kontaktort (`K_MP`), majd az előtöltő kontaktort elengedi. Előtöltő ellenállás nélkül a kondenzátor üres állapotban gyakorlatilag rövidzárként viselkedne, és az áramlökés a kontaktorokat összehegeszthetné, a biztosítókat kinyithatná.

A HV-rendszerben a szervizcsatlakozó mellett gyakran olvadóbiztosító (HV-biztosító) és gyakran

pirotechnikai leválasztó (pyro fuse) is van. Ez utóbbit ütközéskor a légzsák-vezérlő (egyes típusoknál a BMS is) gyújtójellel oldja ki: egy kis töltet mechanikusan elvágja a vezetőt, és gyorsan megszakítja az akkumulátor áramkörét. Pirotechnikai elemként ellenállásmérővel mérni tilos, a kioldott és a ki nem oldott egységet a gyártói előírás szerint kell kezelni (ellenőrizendő: gyártói adat). A **szigetelésfigyelés** a HV+ és HV− test felé mért ellenállását méri; ha az érték a megengedett határ alá esik, a vezérlő hibát tárol és leválasztja a rendszert.

HV-biztonság. HV-rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat a gyártói eljárás szerint. A feszültségmentesítés lánca: jogosultság és EVE ellenőrzése (szigetelő kesztyű légnyomásos próbája, arcvédő), a munkaterület lezárása és jelölése, gyújtás ki, kulcs távol, 12 V lekötése, szervizcsatlakozó eltávolítása és visszakapcsolás elleni biztosítása, gyártói várakozási idő, a feszültségmentesség ellenőrzése megfelelő mérési kategóriájú (pl. CAT III, ellenőrizendő) műszerrel, amelyet előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrzünk, végül dokumentálás. A megadott értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói javítási utasítás).

33.2.4.5. Hőmenedzsment és öregedés

A Li-ion cellák a 20–40 °C közötti tartományban működnek a legjobban. Hidegen a töltés (lítiumkiválás veszélye) és a nagyáramú kisütés korlátozott, melegen gyorsul az öregedés és nő a hőmegfutás kockázata. A HV-akkumulátorokat ezért **folyadékhűtés** (hűtőlemezek, hűtőközeg-víz/glykol keverék) vagy ritkábban levegőhűtés, és **fűtőbetét/hőszivattyú** hűtőkör tartja az ideális hőmérsékleten. A BMS a hőmérsékletjelek alapján kéri a hűtőközeg-szivattyú és a hűtőventilátor teljesítményét, illetve a fűtést.

Az **öregedés** két fő megjelenési formája: a kapacitáscsökkenés (ciklikus és naptári öregedés) és a belső ellenállás növekedése. A nagy töltőáram, a magas hőmérséklet, a 100%-os töltöttségen tartás, a mélykisütés és az egymástól eltérő cellaterhelés gyorsítja. A **hőmegfutás (thermal runaway)** ritka, de életveszélyes állapot: belső rövidzár, mechanikai sérülés vagy túltöltés következtében a cella hőmérséklete öngerjesztő módon emelkedik, gázok, füst, láng keletkezhet. A BMS ezért több független védelmi szintet alkalmaz: cellafigyelés, kontaktorleválasztás, pyro fuse, feszültség- és hőmérséklet-határok.

Környezetvédelem. A Li-ion HV-akkumulátor életciklusa végén értékes másodnyersanyag-forrás, de veszélyes hulladékként kezelendő. Sérült, feszült cellás akkumulátort nem szabad szétszerelni, tűzveszélyes állapotban a gyártói mentési adatlap szerint kell tárolni. A bontásnál és újrahasznosításnál a hulladékstátuszú akkumulátorokat a hatályos hazai és uniós hulladékszabályozás szerint, engedéllyel rendelkező kezelőnek kell átadni (ellenőrizendő: hatályos hulladékjogszabály).

33.2.5. Kidolgozott példák

33.2.5.1. 1. példa: Pakkfeszültség és -energia számítása NMC cellákból

Adott: NMC cella névleges feszültsége $U_{\text{cella}} = 3{,}65\,\text{V}$, kapacitása $Q_{\text{cella}} = 58\,\text{Ah}$; elrendezés 96s2p, azaz $n_{\text{s}} = 96$, $n_{\text{p}} = 2$.

Keresett: a pakk feszültsége, amperóra-kapacitása és energiája kWh-ban.

Képlet: $U_{\text{pakk}} = n_{\text{s}} U_{\text{cella}}$, $Q_{\text{pakk}} = n_{\text{p}} Q_{\text{cella}}$, $W_{\text{pakk}} = U_{\text{pakk}} Q_{\text{pakk}}$.

Behelyettesítés: $U_{\text{pakk}} = 96 \cdot 3{,}65 = 350{,}4\,\text{V}$, $Q_{\text{pakk}} = 2 \cdot 58 = 116\,\text{Ah}$, $W_{\text{pakk}} = 350{,}4 \cdot 116 = 40\,646{,}4\,\text{Wh} \approx 40{,}6\,\text{kWh}$.

Ellenőrzés: U_{pakk} a 3,65 V és a 4,0 V közötti cellafeszültségeknél 350–400 V, ami a személyautós HV-osztályba illik. A kapacitás 116 Ah, az energia 40 kWh nagyságrendű, ami egy kisebb elektromos autóra reális.

33.2.5.2. 2. példa: Előtöltő számítás

Adott: $U_{\text{pakk}} = 390\,\text{V}$, $R_{\text{pre}} = 80\,\Omega$, $C_{\text{dc}} = 1{,}2\,\text{mF} = 1{,}2 \cdot 10^{-3}\,\text{F}$.

Keresett: a bekapcsolás pillanatában a legnagyobb előtöltő áram, az előtöltő időállandó, a feltöltés kb. 5 időállandónyi ideje, és a kondenzátor végső energiája.

Képlet: $I_{\text{csúcs}} = \frac{U_{\text{pakk}}}{R_{\text{pre}}}$, $\tau = R_{\text{pre}} C_{\text{dc}}$, $t \approx 5\tau$, $W_{\text{kond}} = \frac{1}{2} C_{\text{dc}} U_{\text{pakk}}^2$.

Behelyettesítés: $I_{\text{csúcs}} = \frac{390}{80} = 4{,}875\,\text{A} \approx 4{,}88\,\text{A}$, $\tau = 80 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} = 0{,}096\,\text{s}$, $5\tau = 0{,}48\,\text{s}$, $W_{\text{kond}} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 390^2 = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 152\,100 = 91{,}26\,\text{J}$.

Ellenőrzés: 4,9 A csúcsáram sokkal kisebb, mint a fő kontaktor közvetlen zárásánál fellépő, több száz A-t is elérő áramlökés; az időállandó 0,1 s alatti, a teljes előtöltés fél másodperc alatt lejátszódik. A 91 J energia a kondenzátorban tárolt energia, amely kis kontaktoroknál is biztonságosan kezelhető, de a DC-kör feszültség alatt még veszélyes lehet.

33.2.6. Minőségellenőrzés a HV-akkumulátoron

A diagnosztikai gyakorlatban a BMS élő adatai alapján ellenőrizhető:

- **Cellafeszültség-különbség:** terhelésmentes állapotban az egymáshoz képest mért eltérésnek jellemzően néhány 10 mV alatt kell lennie; tartós, nagy eltérés hibás vagy erősen öregedett cellát jelez (ellenőrizendő: gyártói határérték).
- **Hőmérséklet-különbség:** a modulok közötti hőmérsékletkülönbség több Celsius-foknál ne legyen (ellenőrizendő: gyártói határérték).
- **Szigetelési ellenállás:** a HV+ és HV− test felé mért ellenállását kikapcsolt kontaktorokkal, szigetelési ellenállásmérővel (szigetelésvizsgálóval) vagy a jármű szigetelésfigyelőjével ellenőrzik; elterjedt tervezési alsó határ 100 Ω/V egyenfeszültségű rendszernél (ellenőrizendő: gyártói adat/ECE R100).
- **SoC/SoH:** a rendszerteszterrel kiolvasható a becsült töltöttség és az egészségi állapot. A SoH általában új pakknál 100%, a jármű élettartama alatt fokozatosan csökken; a gyártói küszöb alatt a cellák, modulok cseréje válhat szükségessé.
- **Előtöltés időtartama:** ha a rendszerteszter élő adataiban a DC-köri feszültség nem éri el a pakkfeszültség 90–95%-át a megadott időn belül, az előtöltő ágat vagy a kondenzátort kell vizsgálni.

A szigetelés- és alkatrészméréseket (nem a BMS élő adatainak olvasását) csak a gyártói feszültségmentesítés után, megfelelő mérőműszerrel, jogosult személynek szabad végezni.

Előírás. A nagyfeszültségű járművek elektromos biztonságára az UNECE ECE R100 előírás vonatkozik; a HV-rendszeren dolgozó személyzet képesítési szintjeit a hatályos hazai jogszabályok szabályozzák. A HV-akkumulátor szigetelési ellenállására és leválasztó eszközeire a gyártói javítási adat és az ECE R100 szerinti ellenőrzés az irányadó (ellenőrizendő: hatályos előírás).

33.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy hibrid személyautó a hajtás bekapcsolásakor csak a „Készenléti üzem nem elérhető, HV-rendszer hiba” üzenetet jeleníti meg. A rendszerteszter a hibrid hajtáslánc-vezérlőben „előtöltési idő túllépés” hibát tárol. Élő adatban az akkumulátorfeszültség 385 V, de a DC-link feszültség a bekapcsolási kísérletnél csak 112 V-ig emelkedik, és ott megáll, majd a rendszer visszanyitja a kontaktorokat.

Hipotézis: az előtöltő ág ellenállása megnőtt, vagy a DC-link kondenzátor hibás. A jogosult szerelő a gyártói feszültségmentesítés után, a narancssárga HV-kábelt leválasztva, az előtöltő ellenállást méri: a névleges 80 Ω helyett kb. 280 Ω-ot mutat a multiméter; a DC/DC átalakító már a bekapcsolás alatt terhel (kb. 110 Ω egyenértékű terhelés), ezért a DC-link feszültsége $U \approx 385 \cdot 110/(280 + 110) \approx 109$ V körül megáll, ami az észlelt 112 V-hoz közeli érték. A kondenzátor kapacitásmérése a csatlakozón 1,18 mF, tehát az jó. Az előtöltő ellenállás cseréje után a vezérlő próbája sikeres: a DC-link feszültség 0,4 s alatt eléri a 385 V 95%-át, a fő kontaktor zár, a jármű készenlétbe kapcsol.

Tanulság: a BMS a hibát nem mindig a konkrét alkatrészre lokalizálja; a szerelőnek a mérési értékekből kell visszavezetnie a meghibásodást. A HV-rendszeren végzett munka előtt a feszültségmentesítés lépéseit mindig a gyártói eljárás szerint, méréssel igazolva kell elvégezni.

Biztonsági korlát. A fenti diagnosztika tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott mérési értékek tanulási példák.

33.2.8. Tipikus hibák

1. **Hiba:** a tanuló a soros cellák amperóra-kapacitását is összeadja. **Helyes gyakorlat:** soros kapcsolásnál a feszültség adódik össze, a kapacitás Ah-ban nem nő; párhuzamos kapcsolás növeli a kapacitást.
2. **Hiba:** Li-ion cellát BMS nélkül tölteni, vagy a BMS védelmi küszöbértékeit megnövelni. **Helyes gyakorlat:** a Li-ion cellák csak BMS-védelemmel üzemelhetnek; a küszöbök a gyártói adat szerint rögzítettek, ezeket nem szabad átírni.
3. **Hiba:** az előtöltő ellenállást áthidalni vagy a fő kontaktort működése közben nyomogatni. **Helyes gyakorlat:** az előtöltő szerepe a kondenzátor áramlökésének korlátozása; kiiktatása kontaktorhegesztéshez, biztosító-kioldáshoz, tűzhöz vezethet.
4. **Hiba:** a szigetelésmérést feszültség alatt végezni. **Helyes gyakorlat:** először feszültségmentesítés, majd a HV+ és HV− test felé történő szigetelésmérés megfelelő műszerrel, a gyártói érték szerint.
5. **Hiba:** a cellakiegyenlítést úgy értelmezni, mintha az a rossz cellát automatikusan megjavítaná. **Helyes gyakorlat:** a kiegyenlítés kismértékű energiaeltérést szüntet meg; tartósan gyenge cellát diagnosztizálni, szükség esetén modult cserélni kell.

33.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e: ha 96 darab 3,65 V-os, 58 Ah-s cellát sorba kötünk, a pakk kapacitása 96 × 58 Ah lesz?
2. Miért kell előtöltő ellenállás a pozitív fő kontaktor párhuzamos ágában?
3. Mit jelent a SoH, és milyen két fizikai változás jellemzi?
4. Igaz-e: az LFP cella névleges feszültsége nagyobb, mint az NMC celláé?
5. Mi a szerepe a szervizcsatlakozónak a HV-akkumulátoron?
6. Milyen jellegű veszélyt jelent a hőmegfutás, és hogyan védekezik ellene a BMS?

33.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Egy LFP cella névleges feszültsége 3,20 V, kapacitása 100 Ah. Sorba kötünk 108 cellát, párhuzamosan nem. Számítsd ki a pakk feszültségét, kapacitását és energiáját kWh-ban.

2. feladat (A). Röviden definiáld a SoC és a SoH különbségét! Melyik jellemző utal a jármű töltöttségi szintjére, és melyik az akkumulátor elöregedésére?

3. feladat (B). Egy NMC pakk 96s3p elrendezésű. A cella névleges feszültsége 3,65 V, kapacitása 52 Ah. Mekkora a pakk feszültsége, amperóra-kapacitása és energiája? Hasonlítsd össze a 96s2p, 58 Ah-s pakkal: melyiknek nagyobb az energiája?

4. feladat (B). A HV-akkumulátor kapcsolási rajzán (fenti `diagram`) írd le a kontaktorok bekapcsolási sorrendjét, és indokold, miért nem a pozitív fő kontaktor zár először!

5. feladat (C). Egy használt HV-pakkban 96 soros cellacsoport van. A BMS adatai szerint a 17. cellacsoport kapacitása csak 80%-a a többinek, és a feszültsége terhelt állapotban gyorsan esik. Magyarázd el, miért csökkenti ez a leggyengébb cellacsoport a teljes pakk használható kapacitását, és milyen BMS funkció védi a rendszert!

6. feladat (D). Egy elektromos autó nem kapcsol készenlétbe. A rendszerteszter a BMS-ből a következő élő adatokat mutatja: a cellafeszültségek 3,58–3,61 V között egyenletesek; a modulhőmérsékletek 28–32 °C; a szigetelési ellenállás HV+–test 480 kΩ, HV−–test 490 kΩ; a bekapcsolási kísérletnél a DC-link feszültség 0,02 s alatt eléri a 385 V-ot. A BMS viszont túláram-eseményt rögzített. Melyik alkatrészre gyanakszol, és hogyan ellenőrzöd?

33.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Soros kapcsolásnál a feszültség adódik össze, a kapacitás Ah-ban ugyanannyi marad; a pakk kapacitása 58 Ah, a feszültsége 350,4 V.
2. Az előtöltő ellenállás korlátozza az üres DC-kondenzátor feltöltési áramlökését, így védi a kontaktorokat és a HV-rendszert.
3. SoH az egészségi állapot, a kapacitáscsökkenés és a belső ellenállás növekedése jellemzi. A SoC a töltöttségi szint, a SoH az elöregedést mutatja.
4. Hamis. Az LFP 3,2–3,3 V-os, az NMC 3,6–3,7 V-os, tehát az LFP feszültsége kisebb.
5. A szervizcsatlakozó mechanikailag megszakítja a cellacsoportok közötti áramkört, így a jármű oldalán a HV-vezetékek már nem kapcsolódnak a cellasorhoz.
6. A hőmegfutás öngerjesztő hő- és gáztermelés, amely tűzhöz vezethet. A BMS cellafeszültség-, hőmérséklet- és szigetelésfigyeléssel, kontaktorleválasztással, pyro biztosítóval és kiegyenlítéssel védekezik.

1. feladat (A). Adott: $U_{\text{cella}} = 3{,}20\,\text{V}$, $Q_{\text{cella}} = 100\,\text{Ah}$, $n_{\text{s}} = 108$, $n_{\text{p}} = 1$. Keresett: U_{pakk}, Q_{pakk}, W_{pakk}. Képlet: $U_{\text{pakk}} = n_{\text{s}} U_{\text{cella}}$, $Q_{\text{pakk}} = n_{\text{p}} Q_{\text{cella}}$, $W = UQ$. Behelyettesítés: $U_{\text{pakk}} = 108 \cdot 3{,}20 = 345{,}6\,\text{V}$; $Q_{\text{pakk}} = 1 \cdot 100 = 100\,\text{Ah}$; $W_{\text{pakk}} = 345{,}6 \cdot 100 = 34\,560\,\text{Wh} = 34{,}56\,\text{kWh}$.

2. feladat (A). SoC a még elérhető töltés aránya a névleges kapacitáshoz; SoH az aktuálisan mérhető kapacitás aránya az új állapothoz. Elöregedésre a SoH utal, pillanatnyi töltöttségre a SoC.

3. feladat (B). 96s3p: $U = 96 \cdot 3{,}65 = 350{,}4\,\text{V}$; $Q = 3 \cdot 52 = 156\,\text{Ah}$; $W = 350{,}4 \cdot 156 = 54\,662{,}4\,\text{Wh} \approx 54{,}7\,\text{kWh}$. Az 1. példa 96s2p 58 Ah-s pakkja 40,6 kWh volt, tehát a 96s3p 52 Ah-s pakk energiája nagyobb, mert a három párhuzamos cella 156 Ah-t ad.

4. feladat (B). Bekapcsoláskor először `K_MN` zár, majd `K_PRE` zár; az `R_pre` korlátozott árammal feltölti `C_dc`-t. Amikor `C_dc` feszültsége eléri a pakkfeszültség 90–95%-át, zár `K_MP`, majd `K_PRE` nyit. A pozitív fő kontaktor nem zárhat először, mert az üres kondenzátor rövidzárszerű áramlökést okozna, ami a kontaktorokat és a biztosítót károsítaná.

5. feladat (C). Soros kapcsolásban ugyanaz az áram folyik át minden cellacsoporton, ezért a leggyengébb, 80%-os kapacitású cellacsoport éri el először a teljes lemerülést vagy a teljes feltöltést. A pakk kapacitása így a leggyengébb elemhez igazodik. A BMS cellafeszültség-figyeléssel és kiegyenlítéssel, szükség esetén teljesítménykorlátozással védi a gyenge cellát a túlmerüléstől, de a kapacitáscsökkenést kiegyenlítés nem tudja visszanyerni.

6. feladat (D). A cellafeszültségek és a hőmérsékletek kiegyenlítettek, a szigetelési ellenállás jó. A DC-link feszültség 0,02 s alatt eléri a 385 V-ot, ami túl gyors, tehát az előtöltő ág nem korlátoz. Túláram-esemény és azonnali feszültségfelugrás a fő pozitív kontaktor hibájára vagy az előtöltő ellenállás rövidzárjára utalhat. Ellenőrzés: feszültségmentesítés után az előtöltő ellenállást mérni (pl. névleges 80 Ω helyett 0 Ω rövidzár vagy a fő kontaktor érintkező beragadva). A fő kontaktor ki-bekapcsolását is tesztelni kell. A hibás alkatrészt a gyártói előírás szerint kell cserélni.

33.2.12. Rövid összefoglaló

A HV-akkumulátor a hibrid és elektromos járművek hajtási energiaforrása: cellákból, modulokból és pakkból épül fel. A Li-ion cellák leggyakrabban NMC (3,6–3,7 V, nagyobb energiasűrűség) vagy LFP (3,2–3,3 V, stabilabb) kémiájúak, hengeres, prizmatikus vagy pouch kivitelűek. Soros kapcsolás növeli a feszültséget, párhuzamos kapcsolás a kapacitást: $U_{\text{pakk}} = n_{\text{s}} U_{\text{cella}}$, $Q_{\text{pakk}} = n_{\text{p}} Q_{\text{cella}}$, $W = UQ$. A BMS felügyeli a cellafeszültséget, hőmérsékletet, kiegyenlítést, SoC/SoH-t, és védelmet ad túlfeszültség, mélykisülés, túláram, hőmegfutás ellen. A HV-kapcsolóáramkör fő kontaktorokat, előtöltő ellenállást, szervizcsatlakozót, pyro biztosítót és szigetelésfigyelést tartalmaz. Az előtöltő ellenállás a DC-kondenzátort korlátozott árammal tölti fel, mielőtt a fő pozitív kontaktor zár. A hőmenedzsment 20–40 °C közötti cellahőmérsékletet tart, az öregedést kapacitáscsökkenés és belső ellenállás-növekedés jellemzi.

Továbbvitt eredmény. A cella, modul, pakk felépítése, a BMS feladatai, valamint a HV-kontaktorsor és az előtöltés működése közvetlenül szükséges a(z) Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment alfejezetben az inverter DC-köri kondenzátora és az energiamenedzsment, valamint a(z) HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés alfejezetben a HV-rendszer leválasztásának megértéséhez.

33.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

- Az akkumulátor elektrokémiai alapjai: az Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió alfejezetre épül.
- Az UNECE ECE R100 előírás a nagyfeszültségű járművek elektromos biztonságára; a szigetelési ellenállás határértékei, a BMS védelmi küszöbök és a képesítési követelmények ellenőrizendők.
- A Li-ion cellák névleges feszültségei, kapacitásai, a cellafeszültség-eltérés határértékei, az előtöltő ellenállás értéke és a szigetelési határérték tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).
- A HV-rendszeren végzett munka feszültségmentesítési lépéseihez a gyártói javítási utasítás és a hatályos hazai munkavédelmi jogszabályok az irányadók.

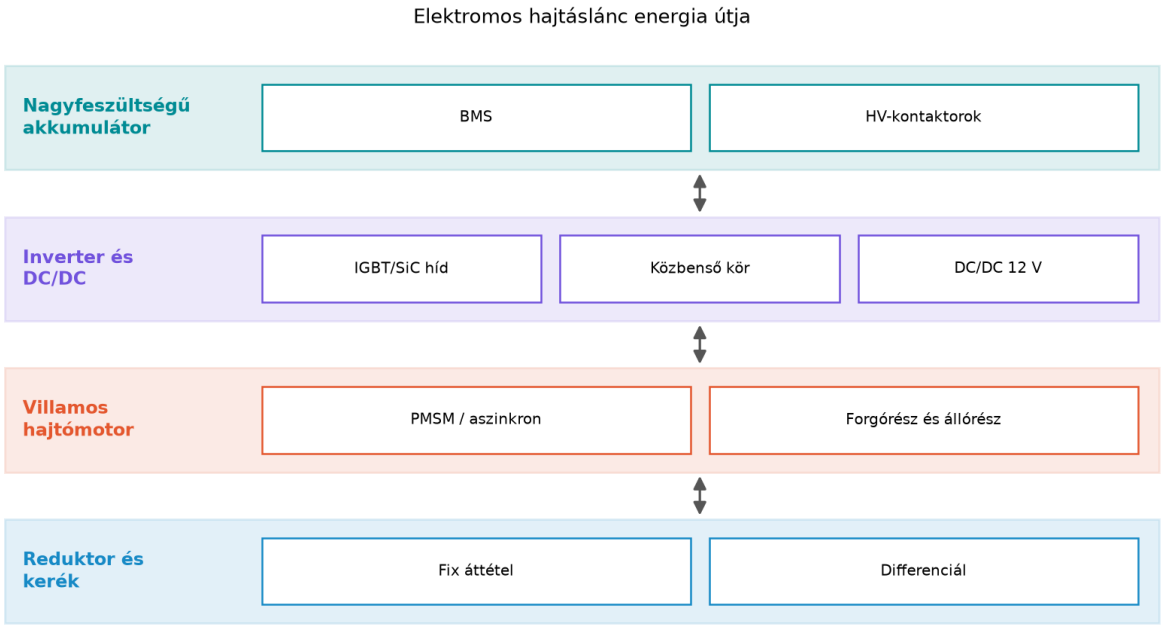
33.3. Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment

33.3.1. Motiváció

Egy hibrid vagy elektromos jármű az olajcsere és a légszűrő világánál sokkal kevesebb gondozást igényel, de amikor megjelenik egy „Rendszerhiba, csökkentett teljesítmény” vagy „12 V akkumulátor nem töltődik” panasz, a szerelőnek pontosan kell látnia, merre folyik az energia. Ebben az alfejezetben az akkumulátortól a kerékig vezető nagyfeszültségű útra és a visszafelé, a fékezéskor megvalósuló energia-visszanyerésre koncentrálunk. Azt is megértjük, miért van szükség a modern elektromos autóban ugyanúgy 12 V-os hálózatra, és miért veszélyes a narancssárga kábelköteg akkor is, ha a jármű ki van kapcsolva.

33.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy elektromos hajtásláncot: a padló alatt lévő nagyfeszültségű akkumulátor egyenáramot ad, a motor fölött elhelyezkedő inverter ebből háromfázisú váltakozó áramot készít, a hajtómotor pedig ezt mechanikus forgássá alakítja. A forgást egy egyszerű reduktor viszi át a kerekekre. Fékezéskor a folyamat megfordul: a kerék forgatja a motort, amely generátorként dolgozik, az inverter egyenirányít, és a visszanyert energia visszaáramlik az akkumulátorba.



33.6. ábra. Elektromos hajtáslánc energia útja - Szemléltető rétegábra a fő energiafolyamról; a visszafelé nyíl a rekuperációt jelzi. A valós járművekben további hűtőkörök és biztonsági kapcsolók is vannak.

Ez a rétegábra a kétirányú energiautat mutatja: akkumulátor → inverter → motor → reduktor → kerék, visszafelé pedig kerék → motor (generátor üzem) → inverter (egyenirányító üzem) → akkumulátor.

33.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Hajtómotor. Az elektromos hajtású járműben a kerékhajtást végző villamos gép. Az autóiparban leggyakrabban háromfázisú váltakozó áramú motorokat használnak: állandó mágneses szinkronmotor (PMSM, permanent magnet synchronous motor), aszinkron motor (induction motor), ritkábban gerjesztett szinkronmotor (externally excited synchronous motor). A motor nyomatéka az állórész mezője és a forgórész mágneses tere közötti erőhatásból származik.

Definíció. Inverter. Az inverter (átalakító) a nagyfeszültségű egyenfeszültségből három, egymástól 120°-kal eltolt fázisú váltakozó feszültséget állít elő, a motor fordulatszámának és nyomatékigényének megfelelően. A kapcsolóelemek (IGBT vagy SiC MOSFET) gyorsan ki- és bekapcsolják a feszültséget, az így kapott impulzusszélesség-modulált (PWM) jel a motor induktivitásán keresztül közelítőleg szinuszos áramot eredményez.

Definíció. DC/DC átalakító. Olyan feszültségátalakító, amely a nagyfeszültségű akkumulátor feszültségét (jellemzően több száz volt, típusonként ellenőrizendő) a 12 V-os fedélzeti hálózat számára megfelelő, kb. 13,5–14,5 V feszültséggé alakítja. Az elektromos jármű ezen keresztül tölti a 12 V-os akkumulátort és táplálja a hagyományos fogyasztókat.

Definíció. Regeneratív fékezés (rekuperáció). A jármű mozgási energiájának visszanyerése úgy, hogy a hajtómotor generátoros üzemmódban fékező nyomatékot fejt ki, a keletkező villamos energiát az inverter egyenirányítja, és az akkumulátorba tölti.

Összefüggés. Az energiaátalakítás teljesítménye a hajtásláncban:

$$P_{\text{be}} = \frac{P_{\text{kerék}}}{\eta_{\text{inverter}} \cdot \eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{reduktor}}}$$

ahol P_{be} az akkumulátorból felvett egyenáramú teljesítmény, $P_{\text{kerék}}$ a kerekeken leadott mechanikus teljesítmény, az η tényezők az egyes részegységek hatásfokai. A gyakorlatban egyszerűbb átlagos hatásfokkal számolni, de részegységenként is lehetséges.

33.3.4. Felépítés és működés

33.3.4.1. Hajtómotorok

Az elektromos járművek motorjának három fő típusa van. Az állandó mágneses szinkronmotor (PMSM) forgórésze neodímium- vagy más ritkaföldfém-mágneseket tartalmaz, így a forgórész mágneses tere állandó. Az állórész háromfázisú tekercselésű, a forgó mágneses mező húzza magával a forgórészt, ezért a motor fordulatszáma szinkronban van a mezővel. A PMSM nagy teljesítménysűrűségű, kiváló hatásfokú, ezért a legelterjedtebb. Hátránya a ritkaföldfém-alapú mágnesek ára és a magas fordulatszámon növekvő veszteség.

Az aszinkron motor forgórésze rövidrezárt kalickás tekercselésű, tehát nincs benne állandó mágnes. Az állórész forgó mezeje feszültséget indukál a kalickában, az indukált áram és a mező kölcsönhatása hozza létre a nyomatékot. Az aszinkron motor olcsóbb, mágneseket nem igényel, és nagy fordulatszámon is jól szabályozható. Hatásfoka valamivel alacsonyabb, mint a PMSM-é, ezért gyakran kiegészítő motorként vagy nagyobb teljesítményű, összkerékhajtású jármű hátsó hajtásánál alkalmazzák.

A gerjesztett szinkronmotor forgórészében tekercs van, amelyet csúszógyűrűn vagy indukciós úton táplálnak. A gyártók azért választják néha, mert nincs ritkaföldfém-mágnes, és a gerjesztést terhelés szerint szabályozva a motor hatásfoka széles tartományban kedvező maradhat. A csúszógyűrűk kopó alkatrészek, ezért a karbantartási igény valamivel nagyobb.

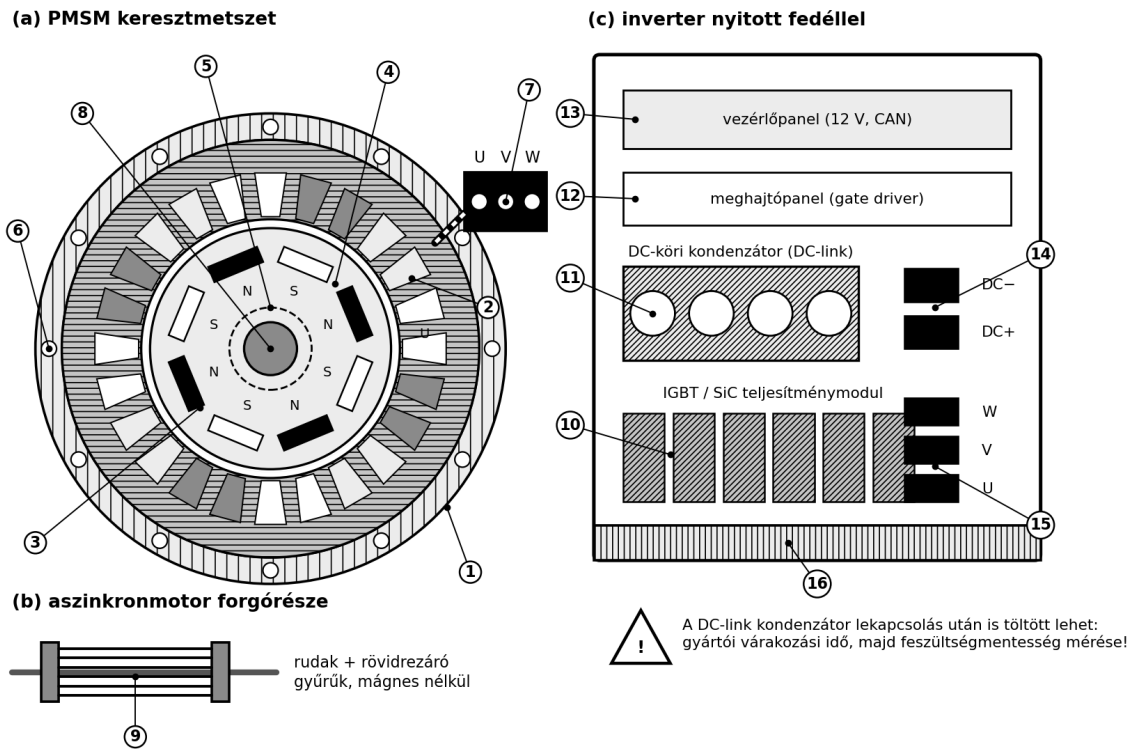
A hajtómotor rendszerint nem közvetlenül a kerékhez kapcsolódik: egy egyszerű, egyfokozatú reduktor (fix áttételű fogaskerékpár) csökkenti a motor fordulatszámát és növeli a nyomatékot. A reduktor elláthatja a differenciálmű feladatát is. A motor fordulatszáma gyakran eléri a 12 000–18 000 1/min értéket, ezért a reduktor áttétele jellemzően 8:1–10:1 (ellenőrizendő: járműtípus adata).

33.3.4.2. Inverter és közbenső kör

Az inverter felépítése három félhídból áll, mindegyik fázisra kettő-kettő kapcsoló félvezetővel. A vezérlő mikrokontroller a motor szöghelyzetét és az áramokat folyamatosan méri, és a kapcsolókat PWM jellel vezérli. A kívánt nyomaték alapján az inverter beállítja az áram nagyságát, a fordulatszám alapján pedig a feszültség frekvenciáját: ez a mezőorientált (vektoros) szabályozás lényege.

Az inverterben a bemeneti oldalon nagy kapacitású közbenső kör kondenzátorok simítják az egyenfeszültséget, és feszültségcsúcsokat nyelnek el. A kondenzátorok a jármű kikapcsolása után is életveszélyes töltést tarthatnak, ezért a feszültségmentesítésnél a gyártó szerinti várakozási idő és a feszültségmentesség külön mérése kötelező. A modern inverterek passzív kisütő ellenállásokat és gyors kisütési funkciót is tartalmaznak, de erre nem szabad vakon hagyatkozni.

A kapcsolóelemek hagyományosan IGBT (bipoláris tranzisztor szigetelt kapuval), újabban szilícium-karbid (SiC) MOSFET eszközök. A SiC kisebb kapcsolási veszteségű, magasabb hőmérsékletet bír, és kisebb hűtési igényű, ezért a nagyobb hatásfokú, hosszabb hatótávú járművekben egyre gyakoribb.



33.7. ábra. A villamos hajtás „fekete dobozai” sematikus vonalrajzon: (a) állandó mágneses szinkronmotor keresztmetszete hűtőköpennyel, háromfázisú tekercseléssel, beágyazott mágnesekkel és rezolverrel; (b) aszinkronmotor kalickás forgórésze összehasonlításként; (c) inverter nyitott fedéllel: teljesítménymodul, DC-köri kondenzátor, meghajtó- és vezérlőpanel, HV DC bemenet, háromfázisú kimenet, hűtőlap

Az ábra figyelmeztetése a legfontosabb műhelyi szabály: a DC-köri kondenzátor a lekapcsolás után is töltött lehet, ezért az inverter fedelét csak a gyártói várakozási idő és a feszültségmentesség mérése után, jogosult személy nyithatja. Az interaktív változatban a hűtés, a HV-részek és a panelek rétegként kapcsolhatók, rámutatásra az elem neve jelenik meg.

HV-biztonság. A nagyfeszültségű rendszeren – így az inverteren, a hajtómotoron, a DC/DC átalakítón és a narancssárga kábelkötegen – csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat. Minden munka előtt el kell végezni a gyártói feszültségmentesítést: jogosultság és szigetelő kesztyű ellenőrzése, munkaterület lezárása, gyújtás ki, 12 V-os akkumulátor lekötése, HV-leválasztó eltávolítása és visszakapcsolás elleni biztosítása, a gyártói várakozási idő letelte, majd a feszültségmentesség mérése megfelelő mérési kategóriájú (CAT III, ellenőrizendő) műszerrel. A műszert mérés előtt és után ismert feszültségforráson ellenőrizni kell, az eredményt dokumentálni.

33.3.4.3. DC/DC átalakító és a 12 V-os hálózat

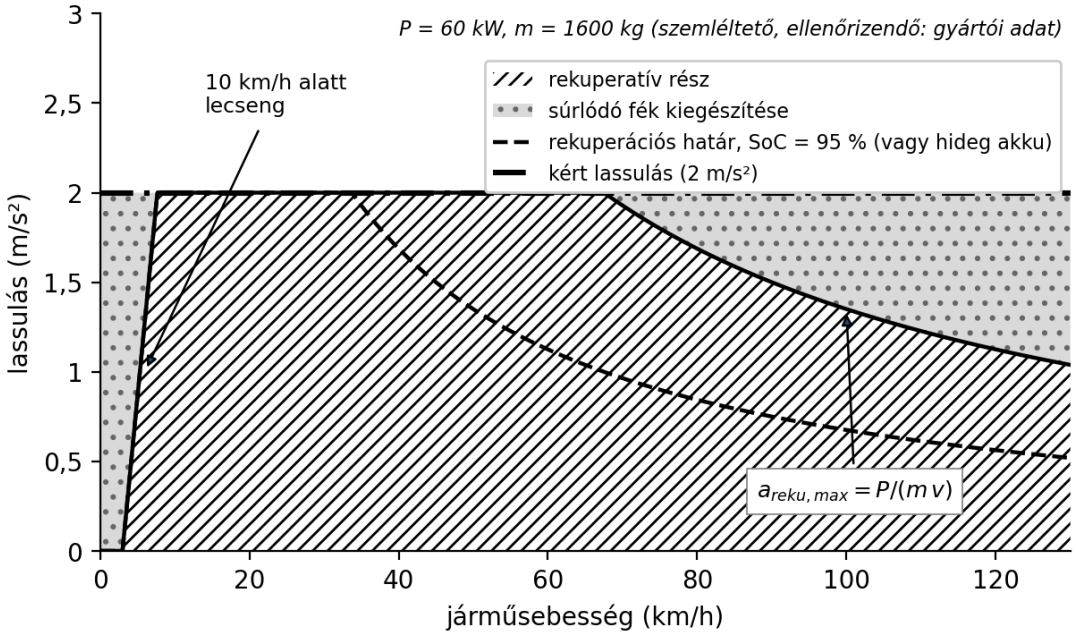
Az elektromos jármű vezérlőegységei, biztonsági rendszerei, világítása, ablakemelői, rádiója és számos érzékelője 12 V-ról működik. A nagyfeszültségű akkumulátor feszültsége ehhez túl magas, ezért a DC/DC átalakító a HV-feszültséget galvanikusan leválasztott, stabil 12 V-os hálózati feszültséggé alakítja, és tölti a 12 V-os akkumulátort. A DC/DC átalakító a HV-rendszer egyik legfontosabb eleme: ha meghibásodik, az autó nem tud elindulni, mert a vezérlőegységek és a HV-kontaktorok működéséhez is 12 V kell.

A 12 V-os hálózatban találjuk az elektromos segédberendezéseket is. A fékrásegítőhöz szükséges vákuumot elektromos vákuumszivattyú állítja elő (ha a rendszer nem elektromechanikus rásegítésű), a klímakompresszort pedig nagyfeszültségű, villamos hajtású kompresszor működteti. A szervokormány leggyakrabban 12 V-os elektromechanikus kormánymű, a hűtőventilátor és a vízpumpa pedig a hűtőkörökben villamos hajtású.

33.3.4.4. Regeneratív fékezés és fék-blending

A rekuperáció során a vezető lábát leemelve a gázpedálról a motor generátorként kezd fékezni. Az inverter egyenirányító üzemmódba vált, és a megtermelt energiát az akkumulátorba tölti. A rekuperáció mértéke a jármű sebességétől, az akkumulátor töltöttségétől, a hőmérséklettől és a vezérlési stratégiától függ. Teljesen feltöltött akkumulátornál az energia-visszatáplálás korlátozott, ilyenkor a motor féknyomatékát is csökkenteni kell.

A hidraulikus fék és a motorfék összehangolását fék-blendingnek nevezzük. A vezető ugyanazt a pedálerőt érzi, miközben a rendszer eldönti, hogy a kívánt lassulás mekkora részét állítja elő rekuperációval, és mekkora részét hidraulikus súrlódó fékekkel. Az ABS/ESP rendszerrel együttműködve a szabályozás biztosítja, hogy a kerék soha ne blokkoljon, és a rekuperáció ne okozzon instabil fékezést. A rekuperációval a fékbetétek kopása jelentősen csökken, de a hidraulikus féket nem szünteti meg: vészfékezéskor, alacsony sebességen és hideg akkumulátornál a súrlódó fékre is szükség van.



33.8. ábra. Fék-blending szemléltető modellje: állandó, 2 m/s²-es kért lassulásnál a rekuperatív rész (sraffozott) nagy sebességnél a motor teljesítményhatára miatt $P/(m\,v)$ szerint csökken, 10 km/h alatt lecseng; a hiányzó részt a súrlódó fék adja (pontozott). Szaggatott vonal: a rekuperációs határ 95 %-os töltöttségnél vagy hideg akkumulátornál ($P = 60$ kW, $m = 1600$ kg, szemléltető adatok)

Az ábrából a műhelyi tünetek is érthetők: feltöltött vagy hideg akkumulátornál a súrlódó fék nagyobb részt vállal, ezért a fékbetét gyorsabban kophat, és a pedálérzet is változhat. Példa: 100 km/h-nál $a_{\text{reku,max}} = 60\,000\,\text{W}/(1600\,\text{kg} \cdot 27{,}8\,\text{m/s}) \approx 1{,}35\,\text{m/s}^2$, tehát a 2 m/s²-es lassulásból kb. 0,65 m/s²-et a súrlódó fék ad. Az interaktív kalkulátorban a kért lassulás, a töltöttség, az akkumulátor-hőmérséklet, a teljesítményhatár és a tömeg állítható; kiírja a rekuperált teljesítményt és a súrlódó fék részarányát.

33.3.4.5. Hőmenedzsment

A villamos hajtás nem termel annyi hulladékhőt, mint a belső égésű motor, ezért az utastér fűtése külön rendszert igényel. A hőszivattyú a levegőből vagy a hajtásrendszer hulladékhőjéből von el hőt, és a hűtőközeg kompressziójával magasabb hőmérsékleten adja le az utastér felé. A hőszivattyú hatásfokként értelmezett jósági tényezője (COP) elérheti a 2–4 értéket is, tehát 1 kW villamos teljesítménnyel 2–4 kW hőteljesítményt mozgat.

A HV-akkumulátort, az invertert és a motort zárt hűtőkörök hűtik vagy fűtik. Az akkumulátor optimális üzemi hőmérséklete általában 20–30 °C körül van, ezért hideg időben előfűtik, melegben hűtik. Az inverter és a motor hűtőköre a keletkező veszteséghőt szállítja el; a hőszivattyú ezt a hulladékhőt is hasznosíthatja, javítva a téli hatótávot.

33.3.5. Kidolgozott példák

1. számítás – Hajtáslánc hatásfok. Egy elektromos jármű sík úton, 100 km/h sebességnél 18 kW teljesítményt igényel a kerekeken. A motor hatásfoka 93%, az inverteré 96%, a reduktoré 98%. Mennyi teljesítményt vesz fel a nagyfeszültségű akkumulátorból?

Adott: $P_{\text{kerék}} = 18{,}0\,\text{kW} = 18\,000\,\text{W}$; $\eta_{\text{motor}} = 0{,}93$; $\eta_{\text{inverter}} = 0{,}96$; $\eta_{\text{reduktor}} = 0{,}98$.

Keresett: P_{be}

Képlet: $P_{\text{be}} = P_{\text{kerék}}/(\eta_{\text{motor}}\eta_{\text{inverter}}\eta_{\text{reduktor}})$

Behelyettesítés:

$$P_{\text{be}} = \frac{18\,000}{0{,}93 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}98} = \frac{18\,000}{0{,}875} \approx 20\,570\,\text{W} \approx 20{,}6\,\text{kW}$$

Ellenőrzés: a hatásfokok szorzata 1-nél kisebb, így a bemenő teljesítmény nagyobb, mint a kerékteljesítmény; a 20,6 kW reális érték egy kompakt elektromos autónál. ∎

2. számítás – Rekuperált energia. Egy 1500 kg tömegű jármű 100 km/h-ról 20 km/h-ra lassul rekuperációval. A mozgási energia hány százalékát lehet visszatölteni, ha a kerék–motor–inverter–akkumulátor lánc hatásfoka 70%? Mennyi az akkumulátorba visszatöltött energia kWh-ban?

Adott: $m = 1500\,\text{kg}$; $v_1 = 100\,\text{km/h} = 27{,}78\,\text{m/s}$; $v_2 = 20\,\text{km/h} = 5{,}56\,\text{m/s}$; $\eta_{\text{reku}} = 0{,}70$.

Keresett: E_{vissza}

Képletek:

$$E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2, \quad \Delta E_{\text{k}} = E_{\text{k1}} - E_{\text{k2}}, \quad E_{\text{vissza}} = \eta_{\text{reku}} \cdot \Delta E_{\text{k}}$$

Behelyettesítés:

$$E_{\text{k1}} = \frac{1}{2} \cdot 1500 \cdot 27{,}78^2 = 750 \cdot 771{,}8 \approx 578\,850\,\text{J}$$

$$E_{\text{k2}} = \frac{1}{2} \cdot 1500 \cdot 5{,}56^2 = 750 \cdot 30{,}9 \approx 23\,175\,\text{J}$$

$$\Delta E_{\text{k}} = 578\,850 - 23\,175 = 555\,675\,\text{J} \approx 0{,}154\,\text{kWh}$$

$$E_{\text{vissza}} = 0{,}70 \cdot 0{,}154 = 0{,}108\,\text{kWh}$$

Ellenőrzés: 1 kWh = 3,6 MJ, ezért 555 675 J ≈ 0,154 kWh. A 0,108 kWh visszatáplált energia 15 kWh/100 km átlagfogyasztás mellett kb. 0,7 km megtételére elég (100 km/h-nál, 20,6 kW-os felvétellel kb. 20 s haladásra); városi forgalomban viszont a sok fékezés miatt összeadódik. ∎

3. számítás – DC/DC átalakító. A DC/DC átalakító 400 V bemeneti feszültségből 14,5 V kimeneti feszültséget állít elő, a 12 V-os hálózat áramfelvétele 100 A. Az átalakító hatásfoka 92%. Mekkora a bemeneti áram?

Adott: $U_{\text{ki}} = 14{,}5\,\text{V}$; $I_{\text{ki}} = 100\,\text{A}$; $\eta = 0{,}92$; $U_{\text{be}} = 400\,\text{V}$.

Keresett: I_{be}

Képletek: $P_{\text{ki}} = U_{\text{ki}}I_{\text{ki}}$, $P_{\text{be}} = P_{\text{ki}}/\eta$, $I_{\text{be}} = P_{\text{be}}/U_{\text{be}}$.

Behelyettesítés: $P_{\text{ki}} = 14{,}5 \cdot 100 = 1450\,\text{W}$; $P_{\text{be}} = 1450/0{,}92 \approx 1576\,\text{W}$; $I_{\text{be}} = 1576/400 \approx 3{,}94\,\text{A}$.

Ellenőrzés: a bemeneti áram jóval kisebb, mint a kimeneti, mert a feszültség sokkal magasabb. ∎

33.3.6. Minőségellenőrzés

A villamos hajtás ellenőrzése diagnosztikai műszerrel kezdődik: kiolvassuk a hajtásvezérlő hibakódjait, megnézzük az élő adatokat (motor fordulatszám, fázisáram, inverter hőmérséklet, DC/DC kimeneti teljesítmény, HV-akkumulátor SoC és hőmérséklet). Mechanikusan ellenőrizni kell a hajtómotor felfogatását, a hűtőcsövek szivárgását, a csatlakozók szoros illeszkedését és a narancssárga kábelek szigetelését. A DC/DC átalakító 12 V-os kimenetét a 12 V-os akkumulátor sarkain mérjük: terhelés nélkül jellemzően 13,5–14,5 V közötti értéket kell kapnunk (ellenőrizendő: gyártói adat). A hibrid/EV járműveknél a 12 V-os akkumulátor nem rendelkezik hagyományos generátorról töltéssel, ezért a töltőfeszültséget kizárólag a DC/DC átalakító biztosítja.

A nagyfeszültségű oldal szigetelési ellenállását csak feszültségmentesített állapotban, szigetelésmérővel mérheti jogosult személy. A mérőfeszültség és a határérték a gyártói előírásból származik, a tipikus nagyságrend 500 V DC mérési feszültségnél több MΩ (ellenőrizendő). A szigetelési hiba tűzbiztonsági és áramütésveszélyes állapotot jelezhet, ezért azt soha nem szabad áthidalni.

33.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy hibrid jármű tulajdonosa azt panaszolja, hogy az autó hideg reggeleken nem indul, a műszerfal elsötétül, és a 12 V-os akkumulátor töltöttsége folyamatosan alacsony. A szerelő diagnosztikai műszerrel kiolvassa a hibakódot: a DC/DC átalakító kommunikációs hibája vagy alacsony kimeneti feszültsége jelenik meg (ellenőrizendő: konkrét gyártói hibakód). A 12 V-os akkumulátor sarkain üzemkész (READY) állapotban 11,8 V-ot mér, ami alacsony. A HV-oldalon a szerelő nem mér (üzemkész állapotban ez feszültség alatti HV-munka lenne, feszültségmentesített állapotban pedig 0 V-ot kellene mérni): a rendszerteszter élő adataiban a DC/DC átalakító HV-bemeneti feszültsége (pl. 385 V) megfelelő, tehát az átalakító bemenete rendben van. A hiba a DC/DC átalakító 12 V-os kimeneti csatlakozójában vagy magában az átalakítóban keresendő. A csatlakozó oxidált, ellenállása túl nagy, ezért a kimeneti feszültség összeesik. A javítás a csatlakozó tisztítása, a kábelköteg ellenőrzése, szükség esetén az átalakító cseréje, majd a rendszer tesztelése. Tanulság: elektromos és hibrid járművön a 12 V-os akkumulátor nem „a motor melletti hagyományos” elem, hanem a DC/DC átalakítón keresztül függ a nagyfeszültségű rendszertől.

33.3.8. Tipikus hibák

1. **„Az elektromos autóban nincs is 12 V-os akkumulátor.”** Valójában a vezérlőegységek, a biztonsági rendszerek és a HV-kontaktorok indítása 12 V-ról történik. A DC/DC átalakító és a 12 V-os akkumulátor meghibásodása megakadályozhatja az indítást.
2. **„A rekuperáció miatt soha nem kell fékbetétet cserélni.”** A fékbetétek kopása valóban csökken, de vészfékezés, hideg akkumulátor vagy nagy terhelés esetén a hidraulikus fék dolgozik. Ráadásul a ritkább használat miatt a féktárcsák korrodálhatnak, a féknyergek vezetőcsapjai beragadhatnak, ezért a rendszeres kenést és ellenőrzést nem szabad elhagyni.
3. **„A motor és az inverter egyetlen egység, ezért ha melegszik, az csak vezérléstechnikai hiba.”** A hűtőkör szivárgása, elégtelen hűtőfolyadék vagy hibás szivattyú is okozhat túlmelegedést, amit a diagnosztikai műszer „inverter hőmérséklet túl magas” hibakódként jelez. Ilyenkor a hűtőrendszert is vizsgálni kell.

4. **„A DC/DC átalakítót multiméterrel közvetlenül a HV-oldalon mérem.”** Ez tilos. A HV-oldal mérése csak jogosult személynek, feszültségmentesítés után, megfelelő műszerrel és egyéni védőeszközökkel engedélyezett.

33.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A PMSM forgórésze állandó mágneseket tartalmaz, ezért a fordulatszáma szinkronban van az állórész forgó mágneses mezőjével. (Indokold.)
2. Miért van szükség az elektromos járműben 12 V-os hálózatra?
3. Számítás: Ha a kerekeken leadott teljesítmény 80 kW, a reduktor hatásfoka 97%, a motoré 94%, az inverteré 96%, mekkora a HV-akkumulátorból felvett teljesítmény? (Kerekíts egész kW-ra.)
4. Mit jelent a fék-blending?
5. Mi a szerepe a közbenső kör kondenzátorainak az inverterben, és miért veszélyesek?

33.3.10. Feladatok

1. feladat (A) Nevezd meg a három leggyakoribb elektromos hajtómotortípust, és foglald össze egy-egy mondatban a működési elvüket!

2. feladat (A) Egy DC/DC átalakító 400 V-ról 14,0 V-ra alakít át. A 12 V-os akkumulátor töltőárama 20 A. Mennyi a kimeneti teljesítmény, és mekkora a bemeneti áram, ha az átalakító hatásfoka 90%?

3. feladat (B) Egy 1600 kg tömegű elektromos autó 80 km/h-ról 30 km/h-ra lassul. A rekuperációs lánc hatásfoka 75%. Számold ki a mozgási energia csökkenését (kJ-ban) és a visszatölthető energiát (kWh-ban)!

4. feladat (B) A fenti rétegábrát követve írd le röviden, milyen útja van az energiának akkor, amikor a jármű gyorsít, és mi történik fékezéskor!

5. feladat (C) Hasonlítsd össze az állandó mágneses szinkronmotor és az aszinkron motor előnyeit és hátrányait egy elektromos jármű hajtására! Milyen szempontok dönthetnek a gyártó választásában?

6. feladat (D) Egy elektromos járműnél a diagnosztikai műszer „inverter túlmelegedés” hibát jelez, a jármű korlátozott teljesítményre vált. Sorold fel, milyen mérésekkel és ellenőrzésekkel szűkítenéd a hiba okát! Melyik mérés igényel nagyfeszültségű jogosultságot?

33.3.11. Megoldások

33.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A forgórész állandó mágneses tere csak akkor ad állandó (nem nulla átlagú) nyomatékot, ha az állórész forgó mezejével azonos fordulattal forog; eltérő fordulatnál a nyomaték előjele periodikusan változna, átlaga nulla. A nyomaték nagyságát a két mező közötti szög (terhelési szög) határozza meg, amelyet az inverter a forgórész-helyzet mérése alapján szabályoz.
2. A 12 V-os hálózat látja el a vezérlőegységeket, biztonsági rendszereket, világítást, komfortberendezéseket, valamint a HV-kontaktorok működtetését. A nagyfeszültséget DC/DC átalakító csökkenti, és tölti a 12 V-os akkumulátort.
3. A felvett teljesítmény: $P_{\text{be}} = 80\,000/(0{,}97 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}96) \approx 91{,}4\,\text{kW}$, tehát kb. 91 kW.

4. A fék-blending a hidraulikus súrlódó fék és a regeneratív motorfék összehangolása úgy, hogy a vezető kívánt lassulása a rekuperáció korlátait figyelembe véve mindig biztonságos és stabil legyen.
5. A közbenső kör kondenzátorai simítják az egyenfeszültséget, csökkentik a feszültségcsúcsokat és átmeneti energiaforrásként szolgálnak. A jármű kikapcsolása után nagy töltés maradhat bennük, ezért feszültségmentesítés előtt mindig ki kell sütni, és mérni kell a feszültségmentességet.

33.3.11.2. 1. feladat megoldása

- **PMSM:** állandó mágneses forgórész, az állórész forgó mezeje szinkronban forgatja; nagy teljesítménysűrűség.
- **Aszinkron motor:** rövidrezárt kalickás forgórész, az indukált áram és a mező kölcsönhatása hozza a nyomatékot; nincs mágnes, olcsóbb.
- **Gerjesztett szinkronmotor:** a forgórész tekercsét külön táplálják, így mágnes nélkül is szinkron üzem; a gerjesztés szabályozható.

33.3.11.3. 2. feladat megoldása

Adott: $U_{\mathrm{ki}} = 14{,}0\,\mathrm{V}$; $I_{\mathrm{ki}} = 20\,\mathrm{A}$; $\eta = 0{,}90$; $U_{\mathrm{be}} = 400\,\mathrm{V}$.

P_kimeneti: $P_{\mathrm{ki}} = 14{,}0 \cdot 20 = 280\,\mathrm{W}$.

Bemeneti teljesítmény: $P_{\mathrm{be}} = 280/0{,}90 \approx 311\,\mathrm{W}$.

Bemeneti áram: $I_{\mathrm{be}} = 311/400 \approx 0{,}78\,\mathrm{A}$. ∎

33.3.11.4. 3. feladat megoldása

Adott: $m = 1600\,\mathrm{kg}$; $v_1 = 80\,\mathrm{km/h} = 22{,}22\,\mathrm{m/s}$; $v_2 = 30\,\mathrm{km/h} = 8{,}33\,\mathrm{m/s}$; $\eta = 0{,}75$.

Energia csökkenés:

$$E_{\mathrm{k1}} = \frac{1}{2} \cdot 1600 \cdot 22{,}22^2 = 800 \cdot 493{,}7 \approx 395\,000\,\mathrm{J} = 395\,\mathrm{kJ}$$

$$E_{\mathrm{k2}} = \frac{1}{2} \cdot 1600 \cdot 8{,}33^2 = 800 \cdot 69{,}4 \approx 55\,500\,\mathrm{J} = 55{,}5\,\mathrm{kJ}$$

$$\Delta E_{\mathrm{k}} = 395 - 55{,}5 = 339{,}5\,\mathrm{kJ}$$

Visszatölthető energia: $E_{\mathrm{vissza}} = 0{,}75 \cdot 339{,}5\,\mathrm{kJ} \approx 254{,}6\,\mathrm{kJ} \approx 0{,}0707\,\mathrm{kWh}$. ∎

33.3.11.5. 4. feladat megoldása

Gyorsításkor a nagyfeszültségű akkumulátor egyenárama az inverterbe jut, ahol háromfázisú váltakozó áram lesz. A motor ezt mechanikus forgássá alakítja, a reduktor pedig csökkenti a fordulatszámot és növeli a nyomatékot, végül a differenciálmű a kerekekre viszi az erőt. Fékezéskor a kerék forgatja a motort, amely generátorként termel, az inverter egyenirányít, és az energia visszafelé, az akkumulátorba töltődik.

33.3.11.6. 5. feladat megoldása

PMSM: nagy teljesítménysűrűség, kiváló hatásfok, kompakt méret; hátránya a ritkaföldfém-mágnesek költsége, hőmérséklet-érzékenység, nagy fordulatszámon növekvő veszteség. Aszinkron: olcsó, nincs mágnes, robusztus, nagy fordulatszámon is jól szabályozható; hátránya valamivel alacsonyabb hatásfok, nagyobb hűtési igény, kisebb teljesítménysűrűség. A gyártó a célpiac, a hatótáv, a költségvetés és a motor karakterisztikája alapján választ, néha kombinálva is.

33.3.11.7. 6. feladat megoldása

Először a diagnosztikai műszerrel ellenőrizzük a hibakódot és az élő hőmérsékleti adatokat (inverter, motor, hűtőfolyadék). Ellenőrizzük a hűtőfolyadék szintjét, a hűtőkör nyomását, a szivattyú működését, a csövek szivárgását. Vizuálisan ellenőrizzük az inverter bordázatát, szellőzését. A HV-oldali mérések (inverter tápellátás, szigetelési ellenállás) feszültségmentesítés után, jogosult személy által végezhetők. A hűtőkör és a 12 V-os oldal mérései nem igényelnek HV-jogosultságot, de a HV-rendszer közelében végzett munka miatt a biztonsági előírásokat be kell tartani.

33.3.12. Rövid összefoglaló

Az elektromos hajtásláncban a nagyfeszültségű egyenáramú energiát az inverter háromfázisú váltakozó árammá alakítja, a hajtómotor pedig mechanikus energiává. A leggyakoribb a PMSM, de használnak aszinkron és gerjesztett szinkronmotorokat is. A motor forgását egyszerű reduktor viszi a kerekekre. Az inverter kapcsolóelemei (IGBT vagy SiC) PWM-mel szabályozzák az áramot, a közbenső kör kondenzátorai töltést tárolnak, ezért mindig feszültségmentesítés és ellenőrző mérés szükséges. A DC/DC átalakító a HV-feszültséget 12 V-ra csökkenti, és a 12 V-os hálózatot, az akkumulátort tölti. A regeneratív fékezés a mozgási energia egy részét visszatölti, a fék-blending pedig a súrlódó fék és a motorfék összhangját biztosítja. A hőszivattyú és a hűtőkörök az akkumulátort, az invertert és a motort tartják optimális hőmérsékleten. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a villamos hajtásláncot és energiautat használjuk a Töltés: AC és DC töltés, töltőcsatlakozók, töltési módok alfejezetben a töltési teljesítmény, a fedélzeti töltő és a rekuperációs energia kezelésének tárgyalásakor.

33.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: villamos gépek és hajtások tankönyvek, gyártói képzési anyagok, ISO/EN szabványok a villamos járművek hajtásrendszerére; az ENSZ-EGB előírások közül a villamos hajtás biztonságára vonatkozó követelmények (ECE R100) – a pontos számok és hivatkozások ellenőrizendők. A motor fordulatszám-tartománya, a reduktor áttétele, a DC/DC feszültségszintek, a fék-blending határértékei és a hőszivattyú jellemzői járműtípusonként eltérőek, ezért a könyvben szereplő értékek tanulási példák. A nagyfeszültségű mérések eszközbesorolása és a szigetelésvizsgálati határértékek a gyártói javítási előírás szerint ellenőrizendők.

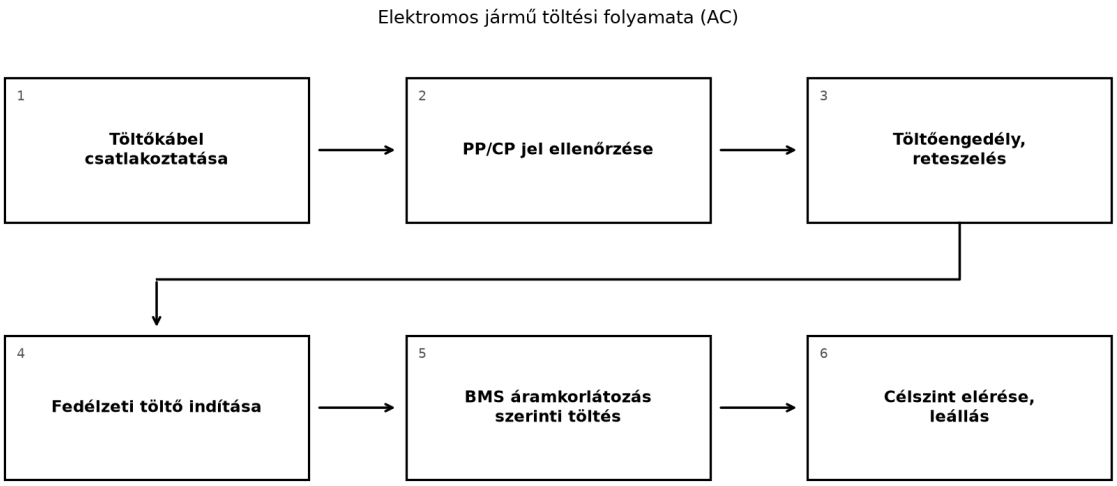
33.4. Töltés: AC és DC töltés, töltőcsatlakozók, töltési módok

33.4.1. Motiváció

Egy villanyautó-tulajdonos azzal jön a műhelybe, hogy az autó otthon „egész éjjel töltött”, mégsem lett meg a várt hatótáv, a fali csatlakozó pedig melegedett. Egy másik ügyfél a gyorstöltő oszlopnál azt tapasztalja, hogy a kijelző szerint 150 kW-os töltő 20 perc alatt alig töltött 40%-ot, pedig a táblázat szerint gyorsabbnak kellett volna lennie. Szerelőként ilyenkor nem elég annyit mondani, hogy „az elektromos autó ilyen”: ismerni kell a töltési módokat, a csatlakozók jeleit, a fedélzeti töltő és a BMS szerepét, valamint a töltési idő valósághű számítását. Ez az alfejezet ezt az ismeretet építi fel a gyakorlati diagnosztikához.

33.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy láncot az elektromos hálózattól az akkumulátorig. Az AC-töltésnél az energia útja:



33.9. ábra. Elektromos jármű töltési folyamata (AC) - Szemléltető folyamatábra; a valós töltési menet a jármű- és töltőoldali kommunikációval pontosabb.

Az áramút: hálózati csatlakozó → töltőkábel (Mode 2/3) → a jármű fedélzeti töltője (on-board charger, OBC) → nagyfeszültségű egyenáramú (DC) csatlakozás az akkumulátorra. DC-gyorstöltésnél a fedélzeti töltő kimarad: a töltőoszlop külső AC/DC-átalakítója közvetlenül a HV-akkumulátorra dolgozik. A töltési teljesítményt mindkét esetben a jármű akkumulátor-felügyeleti rendszere (BMS) és a töltőoldali szabályzás közösen határozza meg.

33.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **töltési mód** (charging mode) az elektromos járművek töltésére szolgáló villamos kapcsolódási és védelmi elrendezések osztályozása az IEC 61851 szabványsorozat szerint (ellenőrizendő: a szabvány aktuális kiadása). A gyakorlatban négy módot különböztetünk meg: Mode 1, Mode 2, Mode 3, Mode 4.

Definíció. A **fedélzeti töltő** (on-board charger, OBC) a járműbe épített váltakozó/egyenáramú (AC/DC) átalakító, amely a hálózati váltakozó feszültségből az akkumulátor számára megfelelő egyenfeszültséget és töltőáramot állít elő. A fedélzeti töltő teljesítménye korlátozza az AC-töltés sebességét; tipikus egyfázisú 3,7 kW, háromfázisú 11 kW vagy 22 kW (ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. A **DC-gyorstöltés** (DC fast charging) olyan töltési mód, amelyben a töltőoszlop saját, nagy teljesítményű AC/DC-átalakítóval rendelkezik, és a jármű fedélzeti töltőjét megkerülve közvetlenül a HV-akkumulátorra kapcsolódik. Ezt Mode 4-nek nevezik.

Összefüggés. A töltési idő első közelítésben:

$$t = \frac{E_{\text{hasznos}}}{P_{\text{töltő}} \cdot \eta_{\text{töltés}}},$$

ahol: - t a töltési idő (h), - E_{hasznos} a betárolandó energia (kWh), - $P_{\text{töltő}}$ a töltő vagy a fedélzeti töltő névleges teljesítménye (kW), - $\eta_{\text{töltés}}$ a töltő és a vezeték veszteségeit együttesen figyelembe vevő hatásfok (jellemzően 0,85–0,95, ellenőrizendő).

Megjegyzés. A $P_{\text{töltő}}$ AC-töltésnél a fedélzeti töltő teljesítménye, DC-töltésnél a töltőoszlop teljesítménye, de a valós töltési görbe miatt ez utóbbi nem állandó.

33.4.4. Töltési módok és csatlakozók

Az alábbi táblázat a négy töltési mód jellemzőit foglalja össze példaértékekkel.

Mód	Csatlakozó/töltő	Áram, feszültség	Védelem	Jellemző teljesítmény	Megjegyzés
Mode 1	Háztartási aljzat (Schuko)	max. 10–16 A, 230 V AC	csak a lakáshálózat védelme	2,3–3,6 kW	elektromos járműhöz EU-ban általában nem ajánlott
Mode 2	Háztartási aljzat + kábelbe épített IC-CPD	10–16 A (ritkán 32 A), 230 V AC	IC-CPD	2,3–7,2 kW	otthoni, hordozható megoldás
Mode 3	Dedikált töltőállomás/wallbox, Type 2 csatlakozó	16–63 A, 1 vagy 3 fázis	töltőbe épített	3,6–22 kW AC	EU szabványos AC-töltés
Mode 4	DC-gyorstöltő, CCS Combo 2 / CHAdeMO	100–500 A DC	töltőbe épített, külső AC/DC	50–350 kW DC	fedélzeti töltő nélkül, közvetlen DC

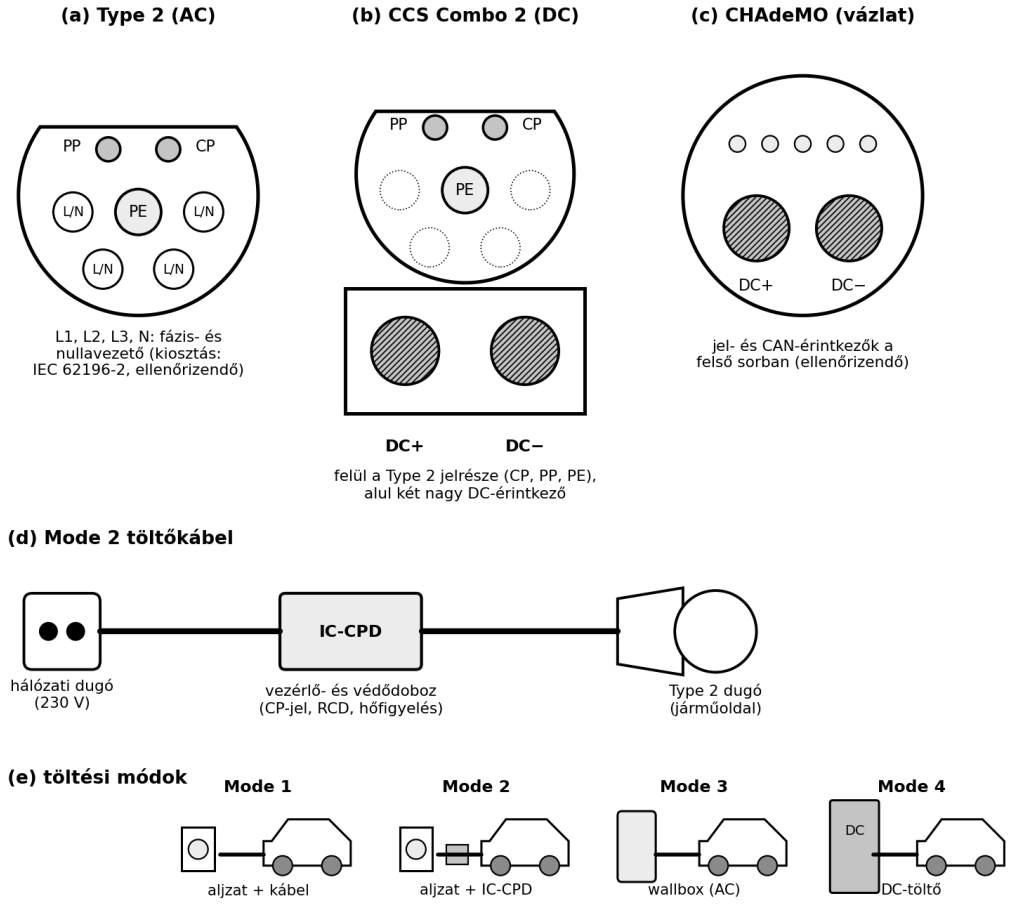
Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: IEC 61851, járműgyártói adat).

A **Mode 1** a járművet háztartási aljzatból közvetlenül, külön töltésszabályzó nélkül tölti. Ez azért problémás, mert a lakáshálózati védelem nem érzékeli a jármű földelési hibáját, és a tartós nagy áram melegítheti az aljzatot. Modern elektromos autók ezt a módot gyakran elutasítják.

A **Mode 2** gyakorlatilag egy hordozható töltőkábel, amelybe egy kis elektronika, az úgynevezett IC-CPD (in-cable control and protection device) van beépítve. Az IC-CPD figyeli a földelést, a hőmérsékletet, és megszakítja a töltést, ha hibát észlel. Magyarországon gyakori otthoni töltési mód.

A **Mode 3** a dedikált töltőállomás vagy fali töltő (wallbox) használata. Itt a kommunikáció és a védelem a töltőben, illetve a járműben van. A csatlakozó Európában leggyakrabban **Type 2** (IEC 62196-2), amely egy- és háromfázisú AC-töltést is támogat.

A **Mode 4** a DC-gyorstöltő. A csatlakozó Európában a **CCS Combo 2**, amely a Type 2 felső részét egészíti ki két nagy egyenáramú lábbal. Japánban és régebbi járműveken a **CHAdeMO** található. A CCS a jármű és a töltő közötti digitális kommunikációra **PLC**-t (power line communication) használ, míg a CHAdeMO hagyományos CAN-alapú jelet (ellenőrizendő).



33.10. ábra. Töltőcsatlakozók sematikus elölnézete: (a) Type 2 aljzat a CP, PP és PE jelérintkezővel és a négy AC-teljesítményérintkezővel (L1, L2, L3, N); (b) CCS Combo 2: felül a Type 2 jelrésze, alul két nagy DC-érintkező; (c) CHAdeMO vázlat; (d) Mode 2 töltőkábel kábelbe épített vezérlő- és védődobozzal (IC-CPD); (e) a Mode 1–4 töltési módok piktogramja

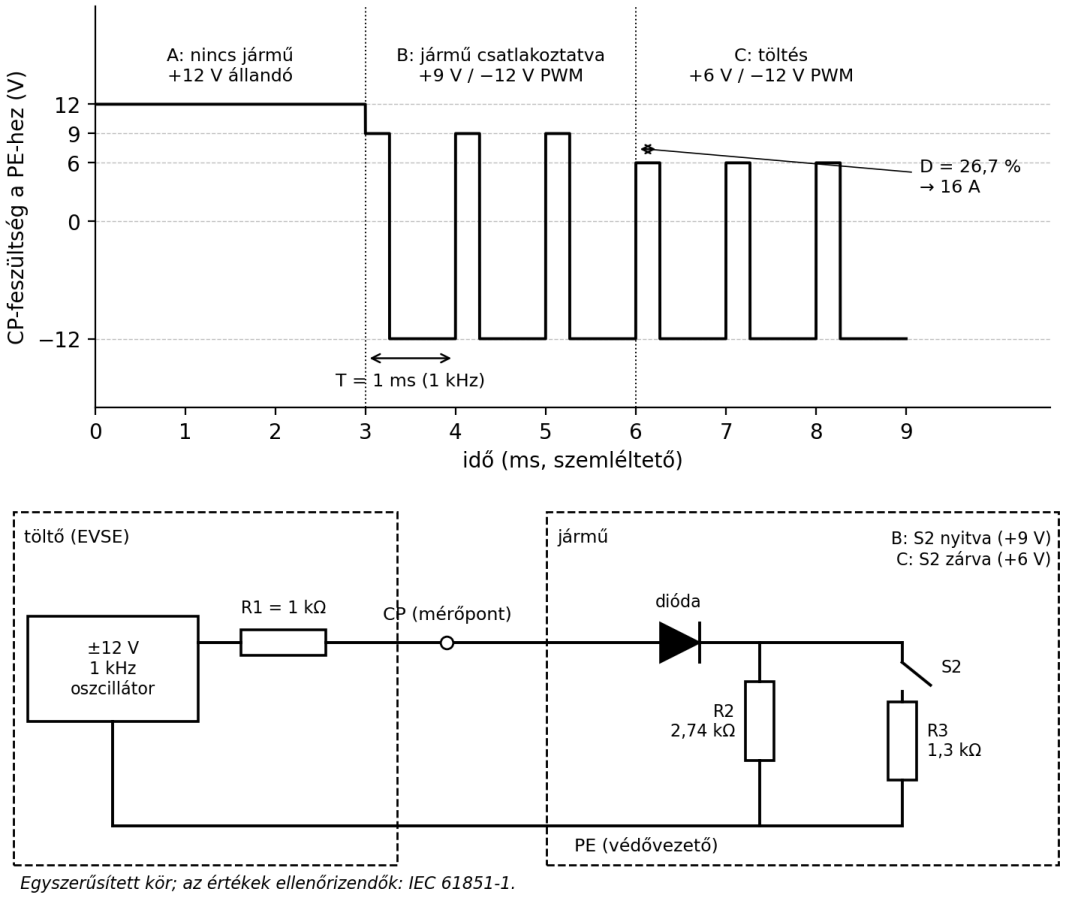
Az ábrán látszik, hogy a CP és a PP a két kis jelérintkező a Type 2 (és a CCS2) felső részén; a gyakorlati útmutató méréseit ezeken és a PE-n kell végezni. Az érintkezők pontos kiosztását a

mérés előtt a gyártói rajzon és az IEC 62196-2/-3 szerint ellenőrizni kell. Az interaktív változatban rámutatásra az érintkező neve és szerepe jelenik meg.

33.4.4.1. Kommunikáció a töltés során

Az AC-töltésnél a jármű és a töltő közötti összeköttetést két jel biztosítja:

- **CP (Control Pilot):** 1 kHz-es négyszögjel, amelynek kitöltési tényezője arányos a töltő által engedélyezett maximális árammal. 10–85 % kitöltésnél $I = 0{,}6\,\mathrm{A}/\% \cdot D$: 10% → 6 A, 25% → 15 A, 26,7% → 16 A, 53,3% → 32 A, 85% → 51 A; 5% kitöltés digitális kommunikációt jelent (ellenőrizendő: IEC 61851-1).
- **PP (Proximity Pilot):** ellenállás-jel, amely a kábel csatlakoztatottságát és a kábel töltőáram-korlátját jelzi.



Egyszerűsített kör; az értékek ellenőrizendők: IEC 61851-1.

33.11. ábra. A CP-jel A, B és C állapota (felül) és az egyszerűsített CP-kör (alul): A állapotban +12 V állandó, B állapotban (jármű csatlakoztatva) +9 V / −12 V-os 1 kHz-es PWM, C állapotban (töltés, S2 zárva) +6 V / −12 V; a 26,7 %-os kitöltés 16 A engedélyezett áramnak felel meg (szemléltető jel; ellenőrizendő: IEC 61851-1)

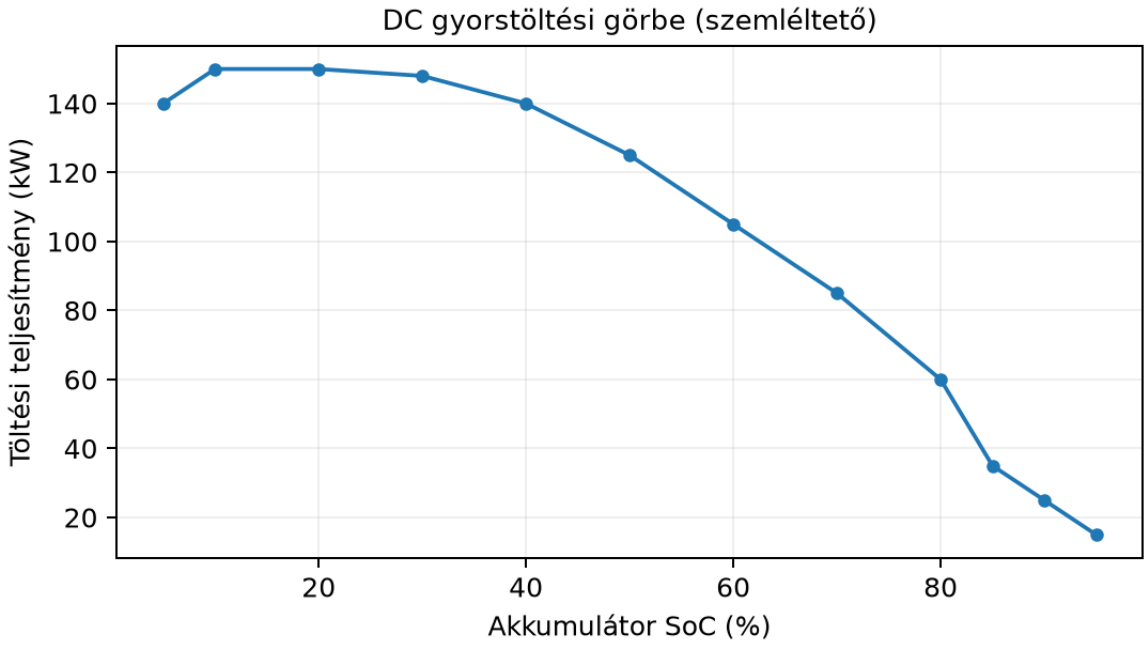
A CP-jel felső szintjét a jármű ellenállásai húzzák le: a dióda után az R2 (kb. 2,74 kΩ) már csatlakoztatáskor +9 V-ra, az S2 kapcsolóval bekötött R3 (kb. 1,3 kΩ) töltéskérésnél +6 V-ra. A kitöltési tényezőből 10–85 % között $I = 0{,}6\,\mathrm{A}/\% \cdot D$ adja a megengedett áramot (pl. 26,7 % → 16 A); névlegesen 5 % kitöltés digitális kommunikációt jelent (ellenőrizendő: IEC 61851-1). Az interaktív kalkulátorban a kitöltés és az állapot (A, B, C, E) állítható, és a program kiírja a feszültségszinteket és az engedélyezett áramot.

Csatlakoztatáskor a jármű a CP-vezeték és a védővezető közé egy ellenállást kapcsol, ettől a CP-jel pozitív csúcsa +12 V-ról kb. +9 V-ra esik (B állapot: jármű csatlakoztatva); amikor a jármű tölteni kész, egy további ellenállást kapcsol be, a csúcs kb. +6 V-ra esik (C állapot: töltés), és ekkor kapcsolja be a töltő a hálózati feszültséget. A CP–PE rövidzár vagy a hiányzó negatív félhullám hibaállapot, ilyenkor a töltő nem kapcsol be (ellenőrizendő: IEC 61851-1). A töltő a jelszintet érzékeli, majd a BMS a CP jel alapján korlátozza a fedélzeti töltő áramfelvételét. DC-töltésnél a jármű a BMS által kért áramot és feszültséget digitálisan küldi a töltőoszlopnak, és a töltő ezt szabályozza.

Előírás. Az Európai Unióban az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájáról szóló (EU) 2023/1804 rendelet (AFIR; a korábbi 2014/94/EU irányelv helyébe lépett) a nyilvános töltőpontokra AC-töltésnél a Type 2, DC-töltésnél a CCS2 (Combo 2) csatlakozót írja elő (ellenőrizendő: hatályos szöveg). A töltési módokat az IEC 61851 szabvány rendezi; a jármű elektromos biztonságát az ECE R100 előírás (ellenőrizendő: aktuális változat) követeli meg. A lakossági villamos hálózatra és a wallbox-szerelésre a hazai villamos biztonsági szabványok (MSZ HD 60364 sorozat) és az áramszolgáltatói előírások vonatkoznak.

33.4.5. Töltési görbe és teljesítmény

A töltési teljesítmény nem állandó. AC-töltésnél a fedélzeti töltő teljesítménye közel állandó, amíg a BMS nem korlátozza az akkumulátor magas töltöttségi szintjénél. DC-gyorstöltésnél a töltési görbe határozottan csökken: az akkumulátor hidegen vagy magas hőmérsékleten nem fogad el nagy áramot, és ahogy a feszültsége nő, a BMS a cellavédelem miatt visszaveszi az áramot.



33.12. ábra. DC gyorstöltési görbe (szemléltető) - Szemléltető, egyszerűsített töltési görbe (nem mért adat): kb. 10–40% között plató, utána fokozatos, 80% fölött meredek csökkenés; a valós érték a gyártói BMS-stratégia, hőmérséklet és akkumulátorkopás függvénye.

A görbe jól mutatja, hogy a 150 kW-os töltő csak alacsony töltöttségnél, ideális hőmérsékleten adja le a névleges teljesítményt: kb. 10–40% között a teljesítmény közel állandó (plató), utána

fokozatosan csökken. A 80% fölött a lassulás drasztikus: 85%-nál már csak kb. 35 kW, 95%-nál kb. 15 kW.

33.4.6. Kidolgozott számítási példák

33.4.6.1. 1. példa – AC-töltési idő otthoni wallboxról

Adott: egy elektromos jármű akkumulátorának hasznos kapacitása 60 kWh, a fedélzeti töltője háromfázisú 11 kW, a töltési hatásfokot 0,90-nak vesszük. Az ügyfél 20% SoC-ról 80% SoC-ra szeretne tölteni.

Az energiaigény:

$$E_{\text{hasznos}} = (0{,}80 - 0{,}20) \cdot 60\,\text{kWh} = 36\,\text{kWh}.$$

A töltési idő:

$$t = \frac{E_{\text{hasznos}}}{P_{\text{töltő}} \cdot \eta_{\text{töltés}}} = \frac{36\,\text{kWh}}{11\,\text{kW} \cdot 0{,}90} = \frac{36}{9{,}9}\,\text{h} \approx 3{,}6\,\text{h}.$$

Ellenőrzés: 3,6 h $\approx$ 3 óra 36 perc, ami reális egy 11 kW-os otthoni töltőnél.

33.4.6.2. 2. példa – DC-gyorstöltés átlagos teljesítménnyel

Ugyanez a jármű egy 150 kW-os CCS-töltőn tölt 10% SoC-ról 70% SoC-ra. Az energiaigény:

$$E_{\text{hasznos}} = (0{,}70 - 0{,}10) \cdot 60\,\text{kWh} = 36\,\text{kWh}.$$

A névleges 150 kW nem állandó; a töltési görbéből (a SoC szerinti időátlaggal) az átlagos teljesítmény ebben a tartományban körülbelül 125 kW (ellenőrizendő: járműmodelltől függő). A töltési idő:

$$t = \frac{36\,\text{kWh}}{125\,\text{kW} \cdot 0{,}92} \approx \frac{36}{115}\,\text{h} \approx 0{,}31\,\text{h} \approx 19\,\text{min}.$$

Hibás számítás ellenpélda. Ha valaki a 150 kW-os csúcsteljesítménnyel számol lineárisan: $36/150 = 0,24$ h $\approx 14,4$ min. Ez alábecsüli a valós időt, mert a görbe ellaposodik, és a hatásfok sem 100%.

33.4.6.3. 3. példa – háztartási Mode 2 töltőkábel

Egyfázisú, 230 V-os aljzatból a Mode 2 töltőkábel 12 A-t vesz fel. A hálózati felvett teljesítmény:

$$P_{\text{hálózat}} = U \cdot I = 230\,\text{V} \cdot 12\,\text{A} = 2760\,\text{W} = 2{,}76\,\text{kW}.$$

A járműhöz a fedélzeti töltő hatásfokával (0,90) jut:

$$P_{\text{hasznos}} = 2{,}76\,\text{kW} \cdot 0{,}90 = 2{,}48\,\text{kW}.$$

Ha 10 kWh betárolandó energia szükséges, az idő:

$$t = \frac{10\,\text{kWh}}{2{,}48\,\text{kW}} \approx 4{,}0\,\text{h}.$$

Ez jól mutatja, miért fontos a dedikált áramkör és a wallbox: a 2,48 kW-os töltés egy 8 órás éjszaka alatt kb. 20 kWh-t tárol be (8 h · 2,48 kW), ami egy 60 kWh-s akkumulátornak csak kb. harmada.

33.4.7. Töltés biztonsága

Figyelem. A töltés során a jármű és a töltő együtt alkot villamos rendszert. A sérült, megtört vagy házilag javított töltőkábel, a nem megfelelő hosszabbító és a túlterhelt háztartási aljzat tüzet okozhat. A töltőkábel csatlakozója töltés közben reteszelve van; a jármű csak a kommunikáció megszakadása és a feszültségmentesítés után oldja a reteszt (ellenőrizendő: gyártói leírás).

Tilos. Háztartási elosztóból, sorba kötött hosszabbítókból, vagy a megengedettnél nagyobb beállított árammal töltött járművet felügyelet nélkül hagyni. A töltőberendezés hálózati oldalát, a wallboxot, a DC-töltőoszlopot csak megfelelő villamos képzettséggel rendelkező személy szerelheti, vizsgálhatja és javíthatja.

Szabály. A Mode 2 töltőkábel használata előtt ellenőrizni kell: - a hálózati aljzat és az azt védő kismegszakító terhelhetőségét (lakossági aljzaton jellemzően 10–16 A; tartós terhelésre a gyártói adat szerint), - a földelés meglétét, - a kábel és a csatlakozók sérülésmentességét, - a töltőkábel beállított áramkorlátját, amely ne haladja meg az aljzat és a kábel terhelhetőségét.

HV-biztonság. A jármű fedélzeti töltője a nagyfeszültségű (HV) rendszer része. A töltőberendezés csatlakoztatása előtt a jármű oldalán lévő töltőcsatlakozó nem HV-veszélyes, mert a feszültség csak a CP/PP kézfogás és a reteszelés után jelenik meg. A fedélzeti töltő és az akkumulátor közötti DC-körön, valamint a DC-gyorstöltő csatlakozóján azonban már nagyfeszültség van; ezt csak kiképzett személy, feszültségmentesítés után, gyártói utasítás szerint vizsgálhatja.

Környezetvédelem. A töltés során a jármű nem bocsát ki helyi szennyező anyagot, de a villamos energia előállítása környezeti terheléssel jár. A töltőberendezés elektromos hulladék, a jármű HV-akkumulátora pedig veszélyes hulladéknak minősülhet; az elhasznált töltőkábeleket és elektronikát szelektíven, az akkumulátort a gyártói vagy hatósági előírás szerint kell gyűjteni (ellenőrizendő: hulladékgazdálkodási jogszabály).

33.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset – „Lassan tölt, és leold a kismegszakító." Budapest környéki ügyfél elektromos autóját egy régi családi ház garázsában tölti Mode 2 kábellel. Reggelre nem éri el a 80%-ot, és néha a 16 A-es kismegszakító leold.

A szervizben átnézzük a járművet: a fedélzeti töltő és a BMS hibát nem jelez. A töltőkábel IC-CPD-jén a beállított áram 16 A, de a hálózati aljzat közelében lévő hosszabbító és a régi szerelés melegedik. A mérés szerint a feszültség a töltés alatt 215 V-ra esik, a felvett áram 15,8 A, ami a hosszabbítón 90°C feletti kötéshőmérsékletet okoz (ellenőrizendő: hőmérséklet-mérés).

Ok: a háztartási aljzat és a hosszabbító nem alkalmas folyamatos 16 A-es terhelésre, és a kábel ellenállása feszültségesést okoz.

Javítás: a jármű oldali beállítás módosítása nem elég; az ügyfélnek dedikált, legalább 2,5 mm²-es vezetéken, 16 A-es B karakterisztikájú kismegszakítóval és áram-védőkapcsolóval (a töltőpont szabványa szerinti típus, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-722) védett áramkört és 3,6 kW-os wallboxot telepítünk. A töltési idő így megbízhatóan 4–6 óra lesz, a melegedés megszűnik.

Tanulság: a „lassú töltés" gyakran nem a jármű hibája, hanem a töltőoldali infrastruktúráé. A diagnosztikát a jármű oldalán kell kezdeni, de a hálózati oldal mérését csak jogosult villanyszerelő végezheti.

33.4.9. Gyakorlati útmutató – a töltőcsatlakozó és a fedélzeti töltő ellenőrzése járműoldalról

Cél: annak megállapítása, hogy a jármű töltőcsatlakozója, a CP/PP kommunikáció és a fedélzeti töltő teljesítménye megfelelő-e, ha a töltés nem indul vagy lassú.

Jármű- és adatazonosítás: jármű típusa, VIN-száma, akkumulátor-kapacitás, fedélzeti töltő névleges teljesítménye (gyártói adat – ellenőrizendő).

Szerszámok és mérőeszközök: diagnosztikai rendszerteszter (töltőmodul adatokkal), multiméter, lakatfogó, hőmérő/hőkamera, töltőkábel-tesztadapter, szigetelésvizsgáló (ha a gyártó előírja).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A HV-rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat. A hálózati aljzat és a wallbox vizsgálata villanyszerelői jogosultságot igényel.

33.4.9.1. Számozott munkalépések

1. Készítsd elő a járművet: gyújtás ki, kulcs távol, rögzítőfék be, a jármű alatt nem dolgozunk.
2. Csatlakoztasd a rendszertesztert, olvasd ki a nagyfeszültségű rendszer és a töltőmodul hibakódjait.
3. Szemrevételezéssel ellenőrizd a töltőcsatlakozó érintkezőit: nincs-e égésnyom, deformáció, víz, szennyeződés.
4. Csatlakoztass gyári vagy tanműhelyi tesztadaptert, és mérj multiméterrel:
    - CP jel: 1 kHz, a kitöltési tényező a várt érték (példa: 26,7% → 16 A);
    - PP jel: a kábel típusának megfelelő ellenállás.

5. Indíts töltést, és lakatfogóval mérd a fedélzeti töltő bemeneti AC-áramát. Példaérték: 11 kW-os háromfázisú fedélzeti töltőnél fázisonként kb. 16 A 400 V-on (ellenőrizendő: gyártói adat).
6. A rendszerteszter élő adatában kövesd a BMS töltőáram-igényét és a fedélzeti töltő kimeneti feszültségét. Példaérték: 350–400 V DC, az akkumulátor feszültségtartománya szerint.
7. Ellenőrizd a csatlakozó hőmérsékletét töltés alatt: a környezetnél 20–30°C-nál nagyobb melegedés szennyezett vagy laza érintkezőre utal (ellenőrizendő).
8. Hasonlítsd össze a mért töltési teljesítményt az elvárttal. Ha a hálózati feszültség vagy a CP jel nem megfelelő, a töltő visszaveszi az áramot.
9. Fejezd be a töltést, állítsd le a rendszert, töröld a hibakódokat, ha a hiba oka megszűnt, és végezz próbatöltést.

33.4.9.2. Ellenőrzési pontok

- CP kitöltési tényező: a töltőoszlop engedélyének megfelelő.
- PP jel: a kábel csatlakoztatott és a kábelkorlát beállítása helyes.
- Bemeneti AC-áram: a fedélzeti töltő felveszi a névleges áramot.
- Hőmérséklet-emelkedés: nem haladja meg a gyártói határt.

Tipikus hibák. Hibás CP-jel (a töltő nem ad engedélyt), a PP-ellenállás szakadása miatt a jármű nem ismeri fel a kábelt, a fedélzeti töltő belső reléje nem húz be, a hűtőventilátor nem megy, a hűtőfolyadék szintje alacsony.

Dokumentálás: munkalapon rögzítjük a mért feszültségeket, áramokat, hőmérsékleteket, a hibakódokat és az elvégzett javítást.

33.4.10. Tipikus hibák

1. **Lineárisan számol DC-töltési időt.** A tanuló a 150 kW-os csúcsteljesítménnyel osztja az energiát, és elfelejti, hogy a töltési görbe csökken. Helyes: az átlagos teljesítménnyel és a tényleges SoC-ablakkal számolni.

2. **Nem veszi figyelembe a veszteséget.** A fedélzeti töltő, a jármű belső vezetéke és az akkumulátor is disszipál. A hálózatból felvett energia 5–15%-kal több lehet a betárolt energiánál. A számításban $\eta_{\text{töltés}}$-t használni kell.

3. **Hosszabbítóval, túlterhelt aljzatról tölt.** A hosszabbító ellenállása feszültségesést és melegedést okoz. A Mode 2 töltőkábel csak jó állapotú, megfelelő terhelhetőségű, földelt aljzatból üzemeltethető; hosszabbító használata tilos.

4. **A CP/PP jelet figyelmen kívül hagyja a diagnosztikában.** Ha a töltés nem indul, a hibakeresést a CP és PP jelek mérésével kell kezdeni, mert ezek jelzik, hol szakad meg a kommunikáció.

5. **A „nagyobb töltő = gyorsabb töltés” tévhit.** AC-töltésnél a fedélzeti töltő teljesítménye a korlát; egy 11 kW-os fedélzeti töltővel szerelt autó egy 22 kW-os wallboxról sem tölt 11 kW-nál gyorsabban.

33.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A DC-gyorstöltés a jármű fedélzeti töltőjét használja.
2. Számítsd ki: 40 kWh hasznos kapacitás, 7,4 kW-os fedélzeti töltő, 90% hatásfok, 30%-ról 80%-ra töltés. Mennyi idő?
3. Milyen csatlakozót ír elő az EU nyilvános AC-töltéshez?
4. Mi a CP jel szerepe?
5. Mi a hiba: „A 150 kW-os töltő 40 kWh-t 16 perc alatt betölt, mert 40/150=0,267 h.”

33.4.11.1. Megoldások az önellenőrzéshez

1. Hamis. A DC-töltés megkerüli a fedélzeti töltőt, a töltőoszlop saját DC-t ad.
2. $E = (0{,}8 - 0{,}3) \cdot 40 = 20$ kWh; $t = 20/(7{,}4 \cdot 0{,}9) = 3{,}0$ h.
3. Type 2.
4. A CP jel a töltő és a jármű közötti kommunikáció része, a kitöltési tényezővel az engedélyezett töltőáramot jelzi.
5. A 150 kW csúcsteljesítmény nem állandó; a töltési görbe és a hatásfok miatt az idő hosszabb, jellemzően 25–35 perc.

33.4.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a négy töltési módot, és mondd meg, melyiknél van fedélzeti töltő, és melyiknél nincs.

2. feladat (A) Egy 62 kWh-s elektromos autó fedélzeti töltője 11 kW, hatásfoka 0,91. Mennyi idő alatt tölt 15%-ról 90%-ra?

3. feladat (B) Egy háromfázisú wallbox 400 V-on, fázisonként 16 A-t ad le. Számítsd ki a leadott teljesítményt ($\cos\varphi = 1$), és a töltési időt, ha 50 kWh hasznos energiát kell betárolni és a fedélzeti töltő hatásfoka 0,92.

4. feladat (B) Az alábbi CP kitöltési tényező–áram párokat kaptad: 10% → 6 A, 20% → 12 A, 40% → 24 A. Rajzold fel a jelleggörbét kvalitatívan, és magyarázd el, mi történik, ha a kitöltési tényező 0%.

5. feladat (C) Egy jármű DC-töltése során 10% SoC-ról 80% SoC-ra 28 kWh energiát töltött. A töltőoszlop kijelzője szerint a felvett hálózati energia 31 kWh volt. Számítsd ki a töltési hatásfokot. Miért kisebb, mint 100%?

6. feladat (D) Ügyfél panasza: a töltés nem indul, a wallbox kijelzője „Waiting for vehicle” üzenetet mutat. Sorold fel, milyen járműoldali jeleket mérnél a hibakereséshez, és milyen eredmény utalna a fedélzeti töltő hibájára.

33.4.13. Megoldások

1. feladat (A) Mode 1: háztartási aljzat, fedélzeti töltő használatban. Mode 2: hordozható kábel IC-CPD-vel, fedélzeti töltő. Mode 3: wallbox, fedélzeti töltő. Mode 4: DC-gyorstöltő, a fedélzeti töltőt megkerüli.

2. feladat (A) $E = (0{,}90 - 0{,}15) \cdot 62 = 46{,}5$ kWh; $t = 46{,}5/(11 \cdot 0{,}91) = 46{,}5/10{,}01 = 4{,}65$ h $\approx$ 4 óra 39 perc.

3. feladat (B) A háromfázisú hatásos teljesítmény: $P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{vonali}} \cdot I \cdot \cos\varphi = 1{,}732 \cdot 400\,\text{V} \cdot 16\,\text{A} \cdot 1 = 11{,}1$ kW. Töltési idő: $t = 50/(11{,}1 \cdot 0{,}92) = 4{,}9$ h.

4. feladat (B) A jelleggörbe lineáris, 0,6 A/% meredekségű: az áram a kitöltési tényezővel arányos (10–85 % között). 0%-nál a CP jel nem él, a töltő nem ad engedélyt, a jármű nem tölt.

5. feladat (C) A töltési hatásfok: $\eta = E_{\text{hasznos}}/E_{\text{hálózat}} = 28/31 = 0{,}90 = 90\%$. A veszteség a töltőoszlop AC/DC-átalakítója, a kábel, az akkumulátor belső ellenállása és az akkumulátorhűtés miatt keletkezik (DC-töltésnél a fedélzeti töltő kimarad).

6. feladat (D) Mérni kell a CP jelet (van-e 1 kHz, mekkora a kitöltési tényező), a PP jelet (a kábel csatlakoztatva van-e), a fedélzeti töltő bemeneti AC-áramát, a BMS töltésengedélyét. Ha a CP-csúcs +12 V marad, a töltő nem érzékeli a járművet (CP-vezeték, dióda vagy a jármű töltésvezérlője hibás). Ha a CP és PP jel rendben van, de a fedélzeti töltő nem vesz fel áramot, és a BMS engedélyt ad, akkor a fedélzeti töltő elektronikája vagy bemeneti reléje hibás.

33.4.14. Rövid összefoglaló

A töltés AC- és DC-úton történhet. AC-töltésnél a hálózati váltakozó feszültséget a jármű fedélzeti töltője alakítja egyenárammá; a teljesítményt a fedélzeti töltő és a BMS korlátozza. A töltési módokat az IEC 61851 szerint Mode 1–4-nek nevezzük: a Mode 2 hordozható kábelt, a Mode 3 dedikált wallboxot, a Mode 4 DC-gyorstöltőt jelent. Európában az AC-töltés Type 2, a DC-töltés CCS Combo 2 csatlakozót használ (ellenőrizendő). A töltő és a jármű kommunikációja CP- és PP-jelekkel, illetve DC-töltésnél digitális protokollon keresztül történik. A töltési idő az energiaigény és a hasznos töltési teljesítmény hányadosa, figyelembe véve a hatásfokot. A DC-töltési görbe nem lineáris: a teljesítmény a SoC növekedésével csökken. A töltés biztonsága a sérült kábel, a hosszabbító és a túlterhelt aljzat elkerülésén, valamint a földelés és a védőberendezések meglétén alapul.

Továbbvitt eredmény. A töltési idő és a töltési módok számítását, a csatlakozók és a CP/PP jelek felismerését a vizsgafelkészülés komplex hibakeresési feladataiban és a gyakorlati vizsgán használjuk; a hatósági és ügyfélkommunikációban is ezzel érvelünk a töltési idő és a „miért lassú a töltés” kérdés esetén.

33.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

- IEC 61851 szabványsorozat (töltési módok, CP/PP jelek) – ellenőrizendő: aktuális kiadás és jelalak.
- (EU) 2023/1804 rendelet (AFIR) az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájáról, amely a korábbi 2014/94/EU irányelv helyébe lépett – ellenőrizendő: hatályos szöveg, módosítások.
- ECE R100 a jármű elektromos biztonságáról – ellenőrizendő: aktuális változat.
- Hazai villamos szabványok (MSZ HD 60364) és áramszolgáltatói előírások – ellenőrizendő.
- A példaértékek (töltőteljesítmény, kapacitás, hatásfok, CP kitöltési tényező) tanulási példák, gyártói adatként ellenőrizendők.

34 Nagyfeszültségű rendszerek biztonsága

34.1. HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés

34.1.1. Motiváció

Egy hibrid jármű érkezik a műhelybe: a vezető klímahibát jelzett, a szerviztanácsadó szerint a klímakompresszort kell kicserélni. A szerelő kinyitja a motorteret, és szembetalálja magát a narancssárga kábelköteggel, az inverterrel és a nagyfeszültségű akkumulátor feliratával. Az első kérdés nem az, hogy *hogyan* kell kiszerelni a kompresszort, hanem hogy *ki nyúlhat egyáltalán* a járműhöz, és milyen védőfelszerelésben. A nagyfeszültségű (HV) rendszer hibás kezelése nem „lerántja a biztosítékot”, hanem áramütést, ívzárlatot vagy a vontatási akkumulátor hőmegfutását okozhatja. Ez a fejezet megtanítja felismerni a HV-veszélyeket, a jogosultsági szinteket és a munkaszervezés alapjait, hogy a tanuló biztosan tudja: melyik műveletet végezheti, és mikor kell jogosult szakembert hívnia.

34.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy tanműhelyi állást: a hibrid jármű előtt elkerített, kordonnal és sárga-fekete szalaggal leválasztott munkaterület áll. A jármű mellett „NAGYFESZÜLTSÉG! ÉLETVESZÉLY!” tábla, a padlón szigetelő szőnyeg. A jármű motorterében jól láthatók a narancssárga, vastag HV-vezetékek, az inverter fémburkolata és a hűtőkör csatlakozói. A munkaterületen két személy dolgozik: az egyik úgynevezett szigetelő kesztyűt és arcvédőt visel, a másik a leválasztott szervizcsatlakozót biztosítja visszakapcsolás ellen, és jegyzőkönyvet tölt. Ez a kép a HV-munka alapállapota: nem a sebesség, hanem a felkészültség és a lezártság a szabály.

34.1.3. Az áram élettani hatásai egyenfeszültségen

Definíció. A gépjárművekben nagyfeszültségű (HV) rendszernek nevezzük azt az elektromos energiarendszert, amelynek üzemi feszültsége a típusjóváhagyási előírások szerint meghaladja a **60 V egyenfeszültséget** vagy a **30 V váltakozó feszültséget** (effektív érték; ellenőrizendő: ECE R100, a gyártói járműadat). A személygépjárművekben a hibrid és elektromos hajtás jellemzően **200–800 V DC** tartományban dolgozik, ezért a javítóműhelyben ezt kell életveszélyes feszültségként kezelni.

A gyakorlatban nem a feszültség öl, hanem a testen átfolyó **áram**. Az áram nagyságát az Ohm-törvény adja:

$$I = \frac{U}{R_{\text{test}}},$$

ahol I a testen átfolyó áram (A), U a feszültség (V), R_{test} az áramkörbe kapcsolt testellenállás (Ω). A bőr ellenállása erősen változik: száraz, épp bőrű kéznél 10 000 Ω felett is lehet, izzadt, sérült bőrnél vagy nagy felületű érintésnél 500–1000 Ω-ra csökkenhet.

Számítás. Tegyük fel, hogy egy szerelő puszta kézzel megérint egy 400 V-os HV-vezetéket, és a nedves keze, illetve a testén átfolyó áramút ellenállása 500 Ω.

$$I = \frac{400\,\mathrm{V}}{500\,\Omega} = 0{,}8\,\mathrm{A} = 800\,\mathrm{mA}.$$

Ez az érték már a súlyos, életveszélyes tartományba esik: a szív működésében akut zavar keletkezhet, a testben belső égés alakulhat ki. A példa azt mutatja, hogy a HV-rendszer feszültsége elegendő ahhoz, hogy a gyakorlatban előforduló alacsony testellenállásnál halálos áramot hajtson át.

A villamos áram élettani hatásainak nagyságrendje (tájékoztató, felnőttre, hosszirányú áramútra) a következőképpen foglalható össze:

Áramtartomány (mA)	Hatás váltakozó áramnál (50 Hz)	Hatás egyenáramnál (tájékoztató)
0,5–1	érzékelési küszöb	2–5 mA körül érzékelés
10–20	elengedési nehézség, izomgörcs	érzékelhető, fájdalmas izomhatás be- és kikapcsoláskor
30–50	légzési nehézség, szívritmuszavar kezdete	hosszabb behatásnál súlyos hatás (ellenőrizendő: IEC 60479-1)
100 fölött	kamrafibrilláció, súlyos égés	életveszélyes; a kamrafibrilláció küszöbe magasabb, mint váltakozó áramnál, de 400 V-on a testen átfolyó áram ennél nagyságrenddel nagyobb lehet

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: IEC 60479-1 szerinti küszöbértékek és a gyártói biztonsági oktatás). Egyenáramnál az elengedési küszöb magasabb, mint 50 Hz-es váltakozó áramnál, de a nagy egyenfeszültség miatt a testen így is könnyen életveszélyes áram folyik. Ráadásul az egyenáram a testen áthaladva erős elektrolitikus és termikus szövetkárosodást okoz, és az izomgörcs miatt a sérült nem tud elengedni egy megfogott vezetéket.

Számítás. Egy második, gyakran félreértett helyzet: a szerelő azt hiszi, hogy a kikapcsolt gyújtású járműben „nincs feszültség”. Az inverter kondenzátora azonban a leválasztás után is tárolhat töltést. Ha a kondenzátor feszültsége 350 V, és a mérési ponton a szerelő testén átfolyó áramkör ellenállása 1000 Ω, az áram:

$$I = \frac{350\,\mathrm{V}}{1000\,\Omega} = 0{,}35\,\mathrm{A} = 350\,\mathrm{mA}.$$

Ez is bőven a veszélyes tartomány. Ezért a feszültségmentesítés után mindig méréssel kell ellenőrizni a feszültségmentességet, és soha nem szabad feltételezni, hogy „biztos üres”.

34.1.4. Ívzárlat és ívfény

A nagyfeszültségű rendszerben a másik fő veszélyforrás az **ívzárlat**. Ha egy terhelés alatt álló, nagy energiájú egyenáramú áramkört megszakítanak – például egy csatlakozót feszültség alatt húznak szét – a megszakítás pillanatában villamos ív keletkezik. Az ív hőmérséklete több ezer °C, erős ultraibolya-sugárzással, fémgőzzel és robbanásszerű hanghatással jár. A HV-akkumulátor rövidzárlati árama több száz, szélsőséges esetben ezer amper fölötti is lehet.

Számítás. Egy 400 V-os akkumulátor 0,1 Ω belső ellenállással kb. $400/0{,}1 = 4000\,\mathrm{A}$ rövidzárási áramot hajthat (ellenőrizendő: típusadat). A hibahelyen (pl. ívben) leadott teljesítmény legfeljebb

$$P_{\max} = \frac{U_0^2}{4R_{\mathrm{b}}} = \frac{400^2}{4 \cdot 0{,}1} = 400\,\mathrm{kW}.$$

Már 10 ms alatt ez 4 kJ energia, amely fémet olvaszt és súlyos égést okoz; ez a teljesítmény az ívben pillanatszerűen hővé és sugárzássá alakul. Éppen ezért tilos a HV-csatlakozókat terhelés alatt bontani; a gyártói eljárás a rendszer leállításával és a szervizcsatlakozó használatával először megszakítja az áramkört, majd a kondenzátorok kisülési idejét kivárva teszi lehetővé a biztonságos munkát.

HV-biztonság. A nagyfeszültségű rendszeren – a narancssárga vezetékeken, az inverteren, a hajtómotoron, a hűtőkörbe épített elektromos alkatrészeken, a töltőcsatlakozón – csak arra kiképzett, a munkáltató által feljogosított személy dolgozhat. A tanuló feszültség alatt álló vagy ismeretlen állapotú HV-rendszeren önállóan soha nem dolgozik. Minden HV-munka a gyártói feszültségmentesítési eljárással kezdődik, és csak a feszültségmentesség műszeres ellenőrzése után folytatódhat (részletesen: Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése). A mért feszültségmentességet dokumentálni kell. A 12 V-os akkumulátor leválasztása önmagában nem mentesíti a HV-rendszert.

34.1.5. Jogosultsági szintek

A HV-munkavégzés nem „bátorság” kérdése, hanem képzéshez és írásbeli felhatalmazáshoz kötött. A gyakorlatban – a gyártói képzések és a munkáltató belső szabályzata alapján – három fő szintet különböztetünk meg:

Szint	Jellemző megnevezés (példa)	Képzés, feltétel	Jellemző munkakör
0.	Nem HV-képzett személy	nincs HV-képzés, általános munkavédelmi oktatás	Csak olyan munkát végez, amely a HV-rendszert nem érinti; HV-alkatrészt nem bonthat meg, narancssárga vezetékhez nem nyúlhat.

Szint	Jellemző megnevezés (példa)	Képzés, feltétel	Jellemző munkakör
1.	Feszültségmentesítésre jogosult HV-szakember (gyakran: HV-szakember)	gyártói vagy azzal egyenértékű tanfolyam, munkáltatói feljogosítás	Feszültségmentesítés, feszültségmentesség ellenőrzése, szerelés feszültségmentes állapotban, a HV-leválasztó reteszelése.
2.	Feszültség alatt dolgozó HV-szakértő	különleges szaktanfolyam, gyakorlat, speciális EVE és munkaszervezés	Csak kivételes, elkerülhetetlen esetben végez munkát feszültség alatt, pl. aktív rendszer hibakeresése.

A megnevezések és a képzési követelmények tájékoztató példák; a pontos hazai jogosultsági rendszert a hatályos munkavédelmi és villamos biztonsági előírások, valamint a gyártói képzési program határozza meg (ellenőrizendő: a mindenkori hazai jogszabályok és a járműgyártói tanfolyami követelmények). A tanuló alaphelyzetben a **0. szintbe** tartozik, tehát HV-rendszeren csak jogosult oktató közvetlen felügyeletével, a gyártói eljárás szerint vehet részt gyakorlatban.

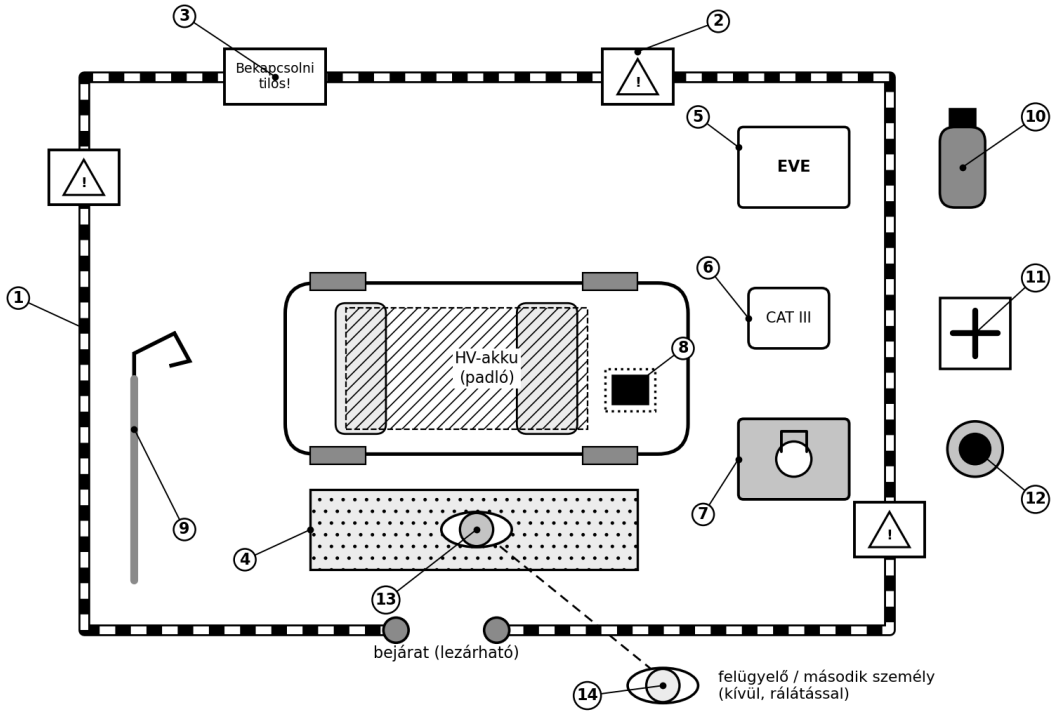
Előírás. A nagyfeszültségű járművek elektromos biztonsági követelményeit a típusjóváhagyásban az ENSZ-EGB 100. előírása (ECE R100) és a kapcsolódó EU-rendelet rögzíti; a járműjavító műhelyben végzett villamos munkára emellett a munkavédelmi törvény, a munkáltató kockázatértékelése és a vonatkozó villamos biztonsági szabványok (például az MSZ EN 50110 sorozat – ellenőrizendő) irányadók. A jogosultsági szintekhez a munkáltató belső szabályzata és a gyártói képzés előírásai adnak konkrét keretet.

34.1.6. Munkaszervezés: kijelölt munkaterület, felelősök, reteszelés

A HV-munkát soha nem végzi egyetlen személy. Alapkövetelmény a **legalább két személy** jelenléte, akik közül legalább az egyik jogosult HV-szakember. A munkát irányító **felelős személy** – például a művezető vagy a HV-biztonsági felelős – kijelöli a munkaterületet, ellenőrzi a jogosultságokat és az EVE-ket, és csak ezután adhat munkavégzési engedélyt.

A munkaterületet egyértelműen el kell keríteni, és figyelmeztető táblákkal kell jelölni: „NAGYFESZÜLTSÉG! ÉLETVESZÉLY! Belépni tilos!” A területen csak a munkában részt vevő személyek tartózkodhatnak. A munkavégzés során a **LOTO (Lockout-Tagout)** elvet kell alkalmazni: a HV-szervizcsatlakozó eltávolítása után a csatlakozóhelyet reteszelik, lakatot és egyértelmű azonosító címkét helyeznek fel. A kulcsot a munkát végző személy őrzi, a visszakapcsolás csak a munka befejezése, a terület ellenőrzése és a felelős engedélye után történhet. Ezzel akadályozzák meg, hogy valaki véletlenül visszacsatlakoztassa a rendszert, amíg valaki a jármű alatt vagy a kábelek közelében dolgozik.

A kijelölt munkaterület elrendezését felülnézetben a következő helyszínrajz mutatja.

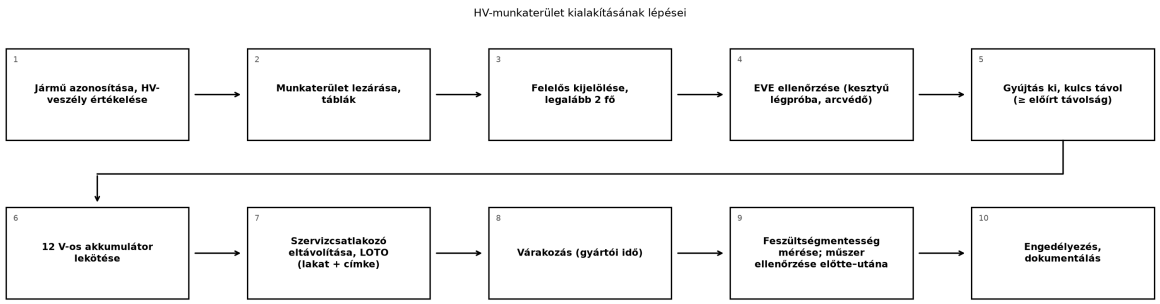


① kordon / lánc (sárga-fekete) egy bejárattal
② „NAGYFESZÜLTSÉG! ÉLETVESZÉLY!” tábla (ellenőrizendő)
③ „Bekapcsolni tilos!” tábla
④ szigetelő szőnyeg a jármű mellett
⑤ EVE-tároló
⑥ CAT III mérőműszer
⑦ a kiszerelt szervizcsatlakozó zárható tárolója (LOTO)
⑧ a 12 V-os saru szigetelő takarója
⑨ szigetelt mentőkampó a kordon szélén
⑩ tűzoltó készülék
⑪ elsősegély-felszerelés
⑫ vészleállító / áramtalanító helye
⑬ jogosult HV-szerelő a jármű mellett
⑭ felügyelő / második személy a kordonon kívül

34.1. ábra. A kijelölt HV-munkaterület sematikus helyszínrajza felülnézetben: kordon egy lezárható bejárattal, figyelmeztető táblák, szigetelő szőnyeg a jármű mellett, EVE-tároló, CAT III műszer, a kiszerelt szervizcsatlakozó zárható tárolója (LOTO), a 12 V-os saru takarója; a kordon szélén mentőkampó, tűzoltó készülék, elsősegély-felszerelés és vészleállító; a felügyelő személy kívül, rálátással

A rajzon a lényeg a helyek logikája: ami a munkához kell (szőnyeg, EVE, műszer, LOTO-tároló), az a kordonon belül van; ami a mentéshez kell (mentőkampó, tűzoltó készülék, elsősegély, vészleállító), az a kordon szélén, kívülről is elérhető; a második személy a kordonon kívül áll, rálátással a szerelőre. A táblák pontos feliratát a hazai előírás és a munkáltatói utasítás adja (ellenőrizendő). Az interaktív változatban rámutatásra az elem neve és a hozzá tartozó szabály jelenik meg.

A munkaterület kialakításának sorrendjét az alábbi folyamatábra foglalja össze:



34.2. ábra. HV-munkaterület kialakításának lépései - A folyamat a HV-munka előtti biztosítást szemlélteti; a konkrét gyártói eljárás ettől eltérhet.

A munkaterületen **mentőhorog** is szükséges: ez egy szigetelt nyelű eszköz, amellyel az áramütött sérültet az áramkörtől el lehet húzni anélkül, hogy a segítő is áramütést szenvedne. Az áramütött sérültet puszta kézzel megérinteni **tilos**; a teendőket a Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben alapján kell gyakorolni. A HV-rendszer közelében az általános műhelyi biztonsági szabályok mellett fokozottan ügyelni kell a nedvességre, az olajra és a fémtárgyakra, mert ezek csökkentik a szigetelési távolságokat.

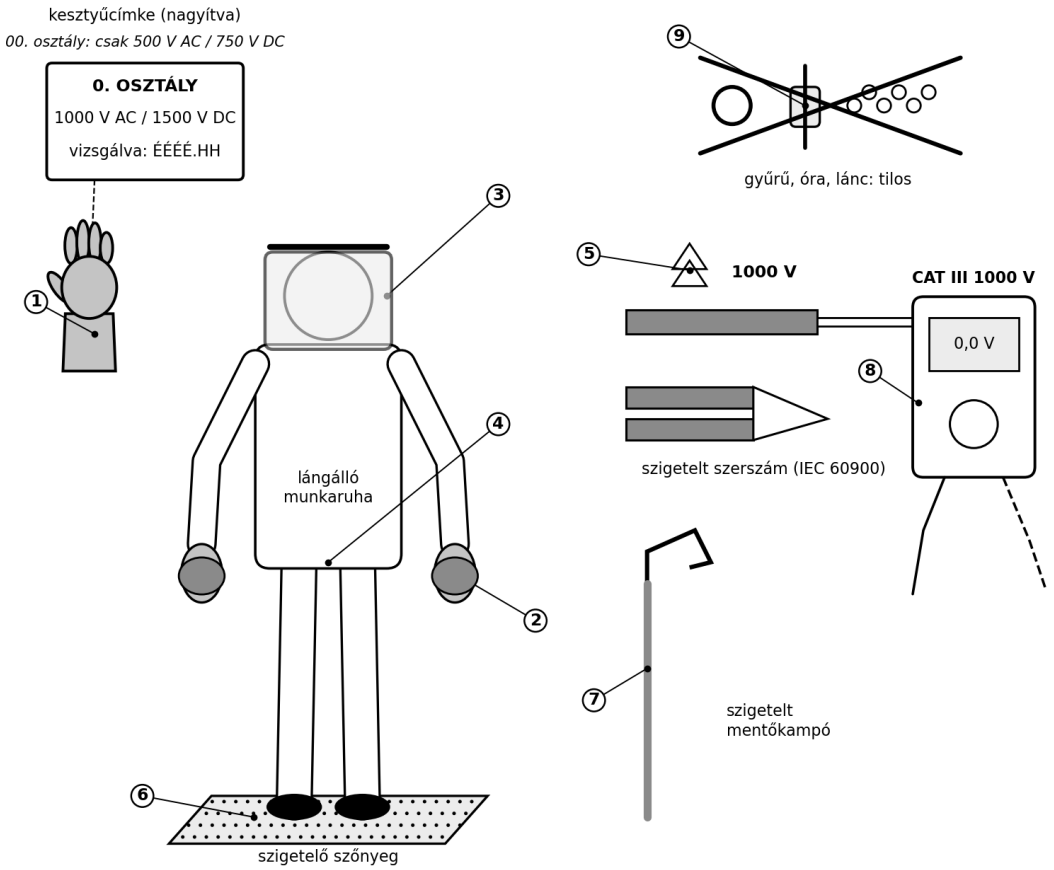
Figyelem. A HV-munkaterület kialakítása előtt a járművet biztosítani kell elgurulás ellen: rögzítőfék, kitámasztó ék, a kerekek irányának ellenőrzése. Ha a jármű megemelésére van szükség, csak a gyártói emelési pontokon szabad alátámasztani, és a jármű alá csak biztonságosan alátámasztott állapotban szabad bemenni. A munkaterületen a feszültség alatti HV-részek takarásáról szigetelő takarókkal kell gondoskodni.

34.1.7. Egyéni védőeszközök (EVE)

A HV-rendszeren végzett munka során az alábbi egyéni védőeszközöket kell használni és minden használat előtt ellenőrizni:

- **Szigetelő kesztyű:** a gépjármű HV-rendszeréhez legalább a gyártó által előírt feszültségosztályú kesztyű szükséges, jellemzően 0. osztályú (legnagyobb használati feszültség 1000 V AC / 1500 V DC; a 00. osztály csak 500 V AC / 750 V DC, ezért 800 V-os rendszerhez nem elegendő) (ellenőrizendő: IEC 60903, gyártói előírás); a kesztyűn levő jelölést (osztály, vizsgálati dátum) minden használat előtt ellenőrizni kell. A kesztyűt használat előtt légtömörség-vizsgálattal ellenőrizni kell: a kesztyűt óvatosan feltekerjük, lezárjuk a mandzsettát, és figyeljük, nem szökik-e levegő. Minden sérült, lyukas, kiszakadt kesztyűt ki kell vonni a forgalomból. A szigetelő kesztyű fölé mechanikai védőkesztyűt kell húzni, például bőrkesztyűt, hogy a szigetelő réteg ne sérüljön meg éles élek vagy csavarok miatt.
- **Arcvédő vagy arcpajzs:** az ívzárlat által okozott égés, fény és fémpermet ellen véd. A hagyományos védőszemüveg nem elegendő; teljes arcot védő, hőálló, ívzárlat elleni pajzs szükséges.
- **Szigetelt szerszámok:** csavarhúzók, fogók, kulcsok, amelyek a vonatkozó szabvány szerint 1000 V-ig szigeteltek (pl. IEC 60900 – ellenőrizendő a szerszámon). A szigetelés nem sérülhet meg; repedt, kopott, hiányos szigetelésű szerszámot tilos használni.
- **Szigetelő takarók és szőnyegek:** a közeli, feszültség alatt maradt részek letakarására, illetve a padlón álló személy szigetelésére.

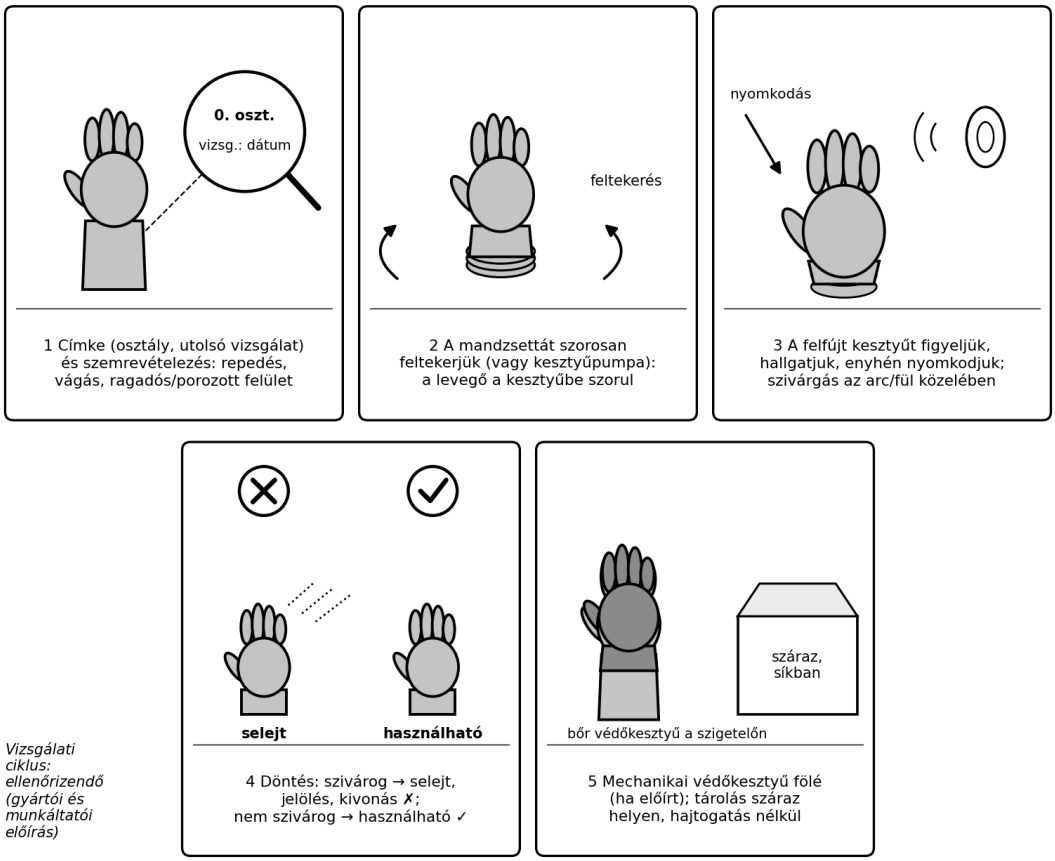
- **Lángálló, antisztatikus munkaruha:** az ívzárlat hőhatása és a fémcseppek ellen; ne legyen rajta lelógó fémzár, gyűrű, óra, nyaklánc. A fémtárgyak rövidzárlatot okozhatnak, és az áramütés kockázatát növelik.



34.3. ábra. HV-munkához felöltözött szerelő és az egyéni védőeszközök sematikus rajza: szigetelő gumikesztyű nagyított címkével (osztály, vizsgálati dátum), fölötte mechanikai védőkesztyű, ívzárlat elleni arcvédő, lángálló munkaruha fémtárgyak nélkül, szigetelt szerszámok kettős háromszög jelöléssel és „1000 V” felirattal, szigetelő szőnyeg, szigetelt mentőkampó és CAT III mérőműszer

Az ábra kesztyűcímkéje a jellemző 0. osztályt mutatja (legnagyobb használati feszültség 1000 V AC / 1500 V DC; a 00. osztály csak 500 V AC / 750 V DC – ellenőrizendő: MSZ EN/IEC 60903, gyártói előírás). Az interaktív változatban rámutatásra az eszköz neve, a jelölés jelentése és a használat előtti ellenőrzés jelenik meg.

A kesztyű légtömörség-vizsgálatának lépéseit a következő képsor mutatja.



34.4. ábra. A szigetelő kesztyű használat előtti vizsgálata öt lépésben: 1 címke és szemrevételezés, 2 a mandzsetta feltekerése, 3 a felfújt kesztyű figyelése és hallgatása, 4 döntés (szivárog: selejt, jelölés, kivonás; nem szivárog: használható), 5 mechanikai védőkesztyű és helyes tárolás (a vizsgálati ciklus ellenőrizendő: gyártói és munkáltatói előírás)

A selejtezés feltétele egyértelmű: ha a felfújt kesztyűből a levegő akár csak lassan is szökik, vagy a szemrevételezéskor repedést, vágást, ragadós felületet látunk, a kesztyűt jelölni és ki kell vonni. Az interaktív változatban a képsor lépésenként (◀ ▶) játszható le.

A védőfelszerelés csak akkor véd, ha rendszeresen ellenőrzik, szárazon, szennyeződéstől mentesen tárolják, és a lejárati vagy vizsgálati időpontokat betartják (ellenőrizendő: a kesztyűk és szerszámok vizsgálati ciklusai a gyártó és a munkáltató előírása szerint). A hibás EVE-t ki kell vonni, és nem szabad „csak ma még” használni.

34.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy márkafüggetlen műhelyben hibrid jármű hűtőrendszerét javítják. A munkalap szerint a kisnyomású hűtőköri csövet kell cserélni, és a cső az inverter hűtőköréhez csatlakozik. A fiatal szerelő úgy gondolja, hogy „csak egy csövet csavarok ki, nem érek a kábelhez”. A művezető leállítja: a cső környezetében narancssárga HV-vezetékek futnak, és az inverter burkolata is HV-tartalmú alkatrész. A munka elvégzéséhez a járművet a kijelölt HV-munkaterületre viszik, a járművet feszültségmentesítik, a szervizcsatlakozót reteszelik, és csak ezután kezdik a csőszerelést. A tanulság: a HV-veszély nem csak a közvetlen vezetékérintés; a cső, a szerszám, a fémház is vezethet, és a munkatérben való mozgás közben is érinthetünk feszültség alatt lévő részt. A határt mindig a kockázatértékelés, nem a szerelő „óvatossága” jelöli ki.

34.1.9. Tipikus hibák

1. **A 12 V-os akkumulátor leválasztását a HV-rendszer feszültségmentesítésének tekintik.** A 12 V-os hálózat leválasztása önmagában nem csökkenti a HV-akkumulátor feszültségét, és az inverterben lévő kondenzátorok is tárolhatnak energiát. Helyes gyakorlat: a gyártói HV-feszültségmentesítési eljárást kell végrehajtani, beleértve a szervizcsatlakozót és a várakozási időt, majd méréssel ellenőrizni a feszültségmentességet.
2. **A szigetelő kesztyűt nem ellenőrzik használat előtt, vagy hiányzik a mechanikai védőkesztyű.** Egy apró lyuk is teljes védtelenséget okozhat. Helyes: minden használat előtt légtömörség-vizsgálat, fölé bőrkesztyű, sérülés esetén csere.
3. **A munkaterületet nem zárják le, így kívülállók is benyúlhatnak vagy beléphetnek.** Helyes: elkerítés, táblák, felelős személy, a területen csak a munkában részt vevők tartózkodhatnak.
4. **A HV-csatlakozót terhelés alatt húzzák le, mert „gyorsan végeznek”.** Ez ívzárlatot és súlyos égést okozhat. Helyes: a gyártói eljárás szerint először a rendszert le kell állítani, a szervizcsatlakozót reteszelni, és csak a várakozási idő letelte után folytatni.
5. **Egyedül kezdenek HV-munkába.** A munkavégzéshez legalább két személy szükséges, hogy baleset esetén azonnal segítséget lehessen hívni, és a második személy feladata a mentés, illetve a munkaterület biztosítása.

34.1.10. Önellenőrzés

1. Mi okozza közvetlenül az áramütés sérülését: a feszültség vagy az áram? Indokolja az $I = U/R_{\text{test}}$ összefüggéssel.
2. Miért kell a HV-rendszeren végzett munkánál arcvédőt használni, és milyen veszély ellen véd?
3. Melyik jogosultsági szint végezhet önállóan feszültség alatt álló HV-rendszeren munkát?
4. Mi a LOTO elv lényege a járműjavításban?
5. Miért nem elég a 12 V-os akkumulátor leválasztása a HV-rendszer feszültségmentesítéséhez?
6. Mi az elsősegélynyújtás első lépése, ha egy munkatárs áramütést szenved a HV-rendszeren?

34.1.11. Feladatok

1. feladat (A) Számítsa ki a testen átfolyó áramot, ha egy 600 V-os egyenfeszültségű vezetékhez izzadt, vékony bőrű kézzel hozzáérve a testellenállás 600 Ω. Életveszélyes-e az eredmény?

2. feladat (A) Sorolja fel a három fő HV-jogosultsági szintet, és mindegyikhez írjon egy jellemző mondatot.

3. feladat (B) Az alábbi munkalépéseket helyezze helyes sorrendbe egy HV-jármű fékfolyadék-csere előtti munkaterület-előkészítésekor: (a) feszültségmentesség ellenőrzése, (b) munkaterület lezárása és táblázás, (c) EVE-k ellenőrzése, (d) jármű azonosítása és kockázatértékelés, (e) HV-leválasztó reteszelése LOTO szerint.

4. feladat (B) Egy szerelő azt mondja: „A gyújtást kikapcsoltam, a kulcsot levettem, tehát a narancssárga vezeték nem lehet feszültség alatt. Megfoghatom puszta kézzel is.” Mi a hiba az érvelésében?

5. feladat (C) Hasonlítsa össze az egyenáramú és a váltakozó áramú áramütés élettani hatását: miért veszélyes a HV-rendszer egyenfeszültsége is, annak ellenére, hogy az elengedési küszöb egyenáramnál magasabb?

6. feladat (D) Műhelyi eset: a munkatársa egy hibrid járműnél áramütést szenved, és összeesik. Milyen lépéseket tesz, és milyen sorrendben? A válaszban hivatkozzon a Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben és a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése fejezetre.

34.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Az áram; a feszültség a test ellenállásán át hajtja át az áramot ($I = U/R_{\text{test}}$).
2. Az ívzárlat hője, UV-sugárzása és fémpermete ellen.
3. Csak a 2. szint, kivételes esetben; a tanuló soha.
4. Leválasztás + lakat + azonosító címke; a visszakapcsolás csak a felelős engedélyével történhet.
5. A HV-akkumulátor és az inverter kondenzátorainak feszültsége a 12 V leválasztása után is megmarad.
6. Saját biztonság: a sérültet nem érintjük, feszültségmentesítés vagy mentőhorog, 112 hívása, újraélesztés.

1. feladat.
Adott: $U = 600\,\text{V}$, $R_{\text{test}} = 600\,\Omega$.
Keresett: I.

$$I = \frac{U}{R_{\text{test}}} = \frac{600\,\text{V}}{600\,\Omega} = 1\,\text{A} = 1000\,\text{mA}.$$

Ez az érték a halálos tartományban van, kamrafibrillációt és súlyos égést okozhat. ∎

2. feladat.
0. szint: nem HV-képzett személy – nem bonthatja meg a HV-rendszert, narancssárga vezetékhez nem nyúlhat.
1. szint: feszültségmentesítésre jogosult HV-szakember – elvégezheti a feszültségmentesítést, mérheti a feszültségmentességet, szerelhet feszültségmentes állapotban.
2. szint: feszültség alatt dolgozó HV-szakértő – speciális képzéssel és EVE-vel, kivételes esetben dolgozhat aktív rendszeren.
(A megnevezések példák, a pontos elnevezést ellenőrizni kell.)

3. feladat. Helyes sorrend: d) jármű azonosítása és kockázatértékelés → b) munkaterület lezárása és táblázás → c) EVE-k ellenőrzése → e) HV-leválasztó reteszelése LOTO szerint → a) feszültségmentesség ellenőrzése. A munka csak ezután kezdhető. ∎

4. feladat. A gyújtás kikapcsolása nem szünteti meg a HV-akkumulátor és az inverter közti feszültséget; az inverter kondenzátorai a kulcs levétele után is tárolhatnak energiát, és az energiarendszer a szervizcsatlakozó leválasztásáig, illetve a várakozási idő leteltéig aktív lehet. Puszta kézzel megfogni tilos, mert a „kikapcsolt” jármű is vezethet áramot.

5. feladat. A váltakozó áram 50 Hz-en már 10–20 mA-nél erős izomgörcsöt, elengedési nehézséget okoz, és 100 mA fölött kamrafibrillációt. Az egyenáram elengedési küszöbe magasabb, de a HV-rendszer feszültsége (200–800 V) miatt a testen átfolyó áram az 500–1000 Ω-os gyakorlati ellenállásoknál is eléri a több száz mA-es tartományt. Ráadásul az egyenáram hosszú ideig folyó áram esetén súlyos belső égési sérüléseket okoz, és a megfogott vezetéket az izomgörcs miatt a sérült nem tudja elengedni. Tehát az egyenfeszültségű HV-rendszer ugyanolyan halálos lehet, mint a váltakozó áramú hálózat.

6. feladat. Az áramütött személyt tünetmentesség esetén is orvosi vizsgálatra kell vinni (késői szívritmuszavar lehetséges). Sorrend:
1. Saját biztonság: a sérültet puszta kézzel nem érintjük; a rendszert azonnal feszültségmentesítjük, ha lehetséges, vagy a sérültet szigetelt mentőhoroggal húzzuk el.
2. Kiáltással segítséget kérünk, a másik személy értesíti a felelőst, és hívja a 112-t.
3. Az alapvető elsősegélynyújtást megkezdjük a Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben szerint; áramütött sérültnél a keringés és a légzés ellenőrzése, szükség esetén újraélesztés.
4. A munkaterületet továbbra is lezárva tartjuk, a balesetet dokumentáljuk, és a HV-rendszer állapotát a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése fejezet szerint ellenőrizzük.
A HV-baleset súlyossága miatt a munkát azonnal le kell állítani, és a hatósági, munkavédelmi bejelentési kötelezettséget a munkáltatónak kell teljesítenie.

34.1.13. Rövid összefoglaló

A nagyfeszültségű (HV) rendszer veszélyeit a testen átfolyó áram okozza: az áram a feszültség és a testellenállás hányadosa, és a gyakorlatban előforduló nedves bőr esetén 400–800 V hatására több száz mA is folyhat, ami életveszélyes. A HV-rendszer további veszélye az ívzárlat, amely nagy rövidzárlati áramból és több ezer °C-os ívből származik; ezért a csatlakozókat tilos terhelés alatt bontani. A munkavégzés csak meghatározott jogosultsági szinteken történhet: nem HV-képzett személy, feszültségmentesítésre jogosult HV-szakember és feszültség alatt dolgozó HV-szakértő (a megnevezések ellenőrizendők). A tanuló alaphelyzetben nem jogosult HV-munkára. A munkát legalább két személy, kijelölt felelős irányításával, elkerített és táblázott munkaterületen végzi, LOTO-reteszeléssel. Az EVE-k közé tartozik a szigetelő kesztyű (légtömörség-vizsgálattal), mechanikai védőkesztyű, arcvédő, szigetelt szerszám, szigetelő takaró és lángálló ruha. **Továbbvitt eredmény.** A HV-veszélyek, a jogosultsági határok és a munkaszervezési szabályok közvetlenül szükségesek a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezethez: ott ezekre építve végezzük el a HV-rendszer biztonságos lekapcsolását és mérését.

34.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- ENSZ-EGB 100. előírás (ECE R100) – a nagyfeszültségű járművek elektromos biztonsági követelményei; pontos feszültséghatárok és vizsgálati feltételek **ellenőrizendők**.
- IEC 60479-1 – az áram élettani hatásaira vonatkozó küszöbértékek; a táblázatban szereplő értékek **ellenőrizendők**.
- MSZ EN 50110 sorozat – villamos berendezések üzemeltetése; a magyar munkavédelmi alkalmazás **ellenőrizendő**.
- IEC 60900 – szigetelt szerszámok követelményei; a pontos szabványjelölés és vizsgálati ciklus **ellenőrizendő**.
- A jogosultsági szintek hazai megnevezése, képzési óraszáma, vizsgakövetelménye és a munkáltatói feljogosítás rendje a hatályos munkavédelmi jogszabályok és a gyártói tanfolyami előírások szerint **ellenőrizendő**.
- A szigetelő kesztyű osztálya, feszültségtűrése és vizsgálati gyakorlata a kesztyű gyártói adatai és a munkáltató belső szabályzata szerint **ellenőrizendő**.

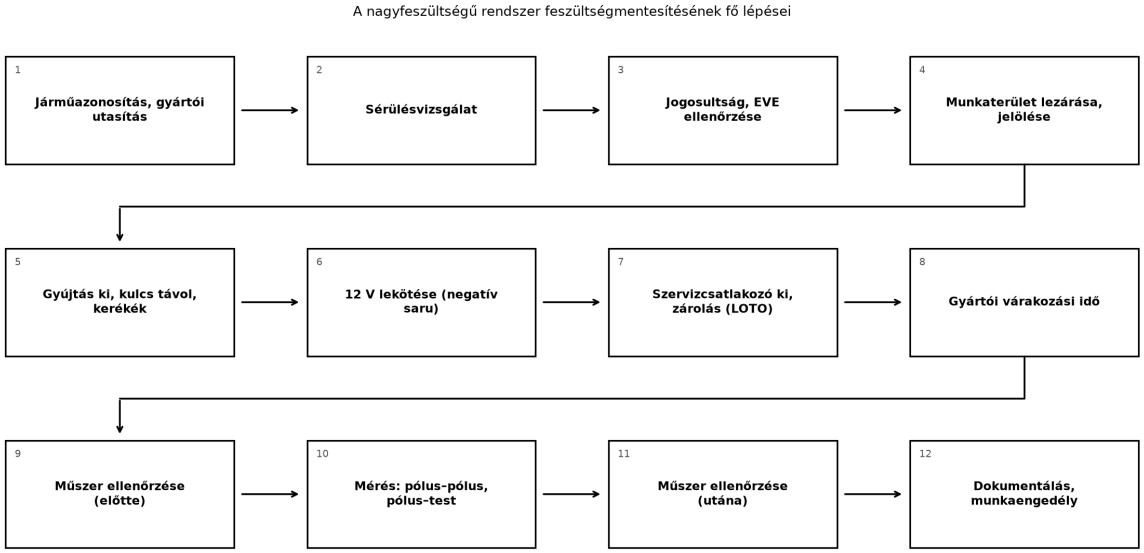
34.2. Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése

34.2.1. Motiváció

Egy hibrid vagy tisztán elektromos jármű szervizében a legelső kérdés nem az, hogy „hol kezdjük a szerelést?”, hanem hogy „feszültségmentes-e már a nagyfeszültségű (HV) rendszer?”. A HV-akkumulátor, az inverter és a hajtómotor több száz voltos egyenfeszültségen dolgozik, ezért érintésvédelmi szempontból életveszélyes. Ha a szerelő a hibás légkondicionáló-kompresszor vagy a hűtőrendszer miatt benyúl a motortérbe, de a HV-rendszer még feszültség alatt van, súlyos áramütést szenvedhet. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan lehet a HV-rendszert szabályosan, a gyártói utasítás szerint feszültségmentesíteni, a feszültségmentességet megbízhatóan ellenőrizni, és a munkát úgy dokumentálni, hogy a későbbi munkalépésekhez biztonságos munkakörnyezetet adjunk.

34.2.2. Szemléletes kép: a feszültségmentesítés folyamata

A következő folyamatábra a fő lépéseket mutatja. Az ábra nem helyettesíti a gyártói javítási utasítást; azt mindig be kell szerezni, és az abban megadott sorrendet, várakozási időt és mérési pontokat kell követni.



34.5. ábra. A nagyfeszültségű rendszer feszültségmentesítésének fő lépései - Tanulási példa; a sorrendet és a várakozási időt a gyártói javítási utasítás határozza meg.

A járműben a HV-alkatrészeket narancssárga kábelek jelölik. A HV-akkumulátor cellasorát gyakran egy úgynevezett **szervizcsatlakozó** vagy **HV-leválasztó** szakítja meg; ez egy mechanikusan kihúzható dugó vagy rövidzáró híd, amely a cellákat kettéválasztja, vagy a HV-főáramkört megszakítja. Emellett az inverter közbensőköri kondenzátorai a kikapcsolás után is energiát tárolhatnak, ezért a feszültségmentesítésnek mindig része a **várakozási idő**, amely alatt ezek a kondenzátorok a beépített kisütő ellenállásokon keresztül lemerülnek.

34.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Feszültségmentesítés. A nagyfeszültségű rendszer olyan állapotba hozása, hogy a megengedett munkavégzési feltételek szerint már nem áll fenn veszélyes érintési feszültség, és a rendszer megbontása biztonságosan elvégezhető. Ez nem csupán a gyújtás kikapcsolását jelenti, hanem a 12 V-os fedélzeti hálózat leválasztását, a HV-leválasztó eltávolítását, a visszakapcsolás elleni biztosítást, a gyártói várakozási idő betartását és a feszültségmentesség méréssel történő igazolását.

Definíció. Feszültségmentesség ellenőrzése. Mérési sorozat, amellyel igazoljuk, hogy a megbontandó HV-áramkör minden hozzáférhető pólusa között, valamint minden pólus és a járműtest között az érintési feszültség nem haladja meg a megengedett értéket. A mérést csak megfelelő mérési kategóriájú (CAT III – ellenőrizendő a gyártói műszer-előírás) műszerrel szabad végezni.

Definíció. Szervizcsatlakozó (service disconnect). Olyan gyárilag kialakított, rendszerint narancssárga színű, reteszelhető dugós szerkezet, amely a HV-akkumulátor áramkörét mechanikusan megszakítja. Eltávolítása után a HV-akkumulátor főáramköre nem zárható vissza, amíg a csatlakozót vissza nem helyezik.

Definíció. Várakozási idő. Az az időtartam, amelyet a gyártó előír, mielőtt a HV-rendszerhez nyúlunk. Ez alatt az inverter, a DC/DC átalakító és más HV-alkatrészek belső kondenzátorai a beépített kisütő ellenállásokon keresztül biztonságos szintre sülnek ki. A várakozási idő jellemzően 5–10 perc, de típusonként eltérhet **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.

Szabály. A feszültségmentesítést csak arra kiképzett, jogosult személy végezheti a gyártói javítási utasítás szerint. A tanuló kizárólag oktató felügyeletével dolgozhat. A feszültség alatt lévő HV-rendszeren való munkavégzés tilos.

34.2.4. Előkészítés: járműazonosítás, gyártói utasítás, sérülésvizsgálat, EVE ellenőrzése

A munka megkezdése előtt azonosítani kell a járművet: a rendszám és/vagy alvázszám alapján be kell szerezni a pontos típusra vonatkozó javítási utasítást, kapcsolási rajzot és HV-biztonsági adatlapot. A gyártói utasításból derül ki, hol található a 12 V-os akkumulátor, a szervizcsatlakozó, a HV-biztosító és a mérési pontok, mekkora a várakozási idő, és milyen kiegészítő intézkedések szükségesek (például adatmentés, ablakemelő-tanítás elvesztése).

Sérülésvizsgálat. A feszültségmentesítés előtt szemrevételezéssel ellenőrizni kell a HV-alkatrészeket: sérült-e a narancssárga kábel szigetelése, látható-e repedés, deformáció, folyadékszivárgás, égésnyom vagy idegen tárgy. Sérült HV-akkumulátor vagy vezeték esetén a gyártói mentési adatlap és a munkavédelmi eljárásrend szerint kell eljárni, és a járművet nem szabad feszültségmentesíteni, amíg a kockázatot nem értékelték **(ellenőrizendő: a gyártói és hatósági eljárásrend)**.

Egyéni védőeszközök ellenőrzése. A feszültségmentesítéshez az alábbi egyéni védőeszközök szükségesek:

- szigetelő kesztyű (a gyártó által előírt feszültségszintre vizsgált, hibátlan állapotú),
- ívzárlat elleni arcvédő (pajzs); védőszemüveg önmagában nem elegendő,
- a HV-erősáramú munkákhoz előírt védőruha és szigetelő lábbeli, ha a gyártó vagy a munkáltató megköveteli.

A szigetelő kesztyűt használat előtt levegővel ellenőrizni kell, nem lehet rajta lyuk, vágás, repedés vagy nedvesség. A szigetelő kesztyű fölé mechanikai védő (bőr)kesztyűt húzunk; a gyártó előírhat alá belső pamutkesztyűt is. A kesztyű felvételének módja is számít: a kesztyű szárait a ruha ujjára kell húzni, vagy a kesztyű alá belső védőkesztyűt kell venni, ahogy a gyártó előírja. Az EVE-k állapotát minden munkakezdés előtt rögzíteni kell a munkalapon.

34.2.5. Feszültségmentesítés lépései

HV-biztonság. A következő lépéseket kizárólag oktatói felügyelettel, a gyártói utasítás szerint hajtsa végre. Minden közreműködő viseljen megfelelő, ellenőrzött egyéni védőeszközt, és a munkaterületet jelölőszalaggal, táblával le kell zárni.

A feszültségmentesítés gyakorlati sorrendje általában az alábbi. A pontos lépéseket a gyártói utasítás határozza meg; az itt leírt sorrend tanulási példa.

1. **Jármű előkészítése.** Húzza be a rögzítőféket, állítsa a váltót P vagy üres fokozatba, helyezzen kerékéket. Kapcsolja ki a gyújtást, húzza ki a kulcsot, a kulcs nélküli indításnál távolítsa el a kulcsot a járműből, és helyezze a munkaterületen kívül, legalább a gyártó által meghatározott távolságra **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. Gondoskodjon arról, hogy senki ne indíthassa el a járművet.

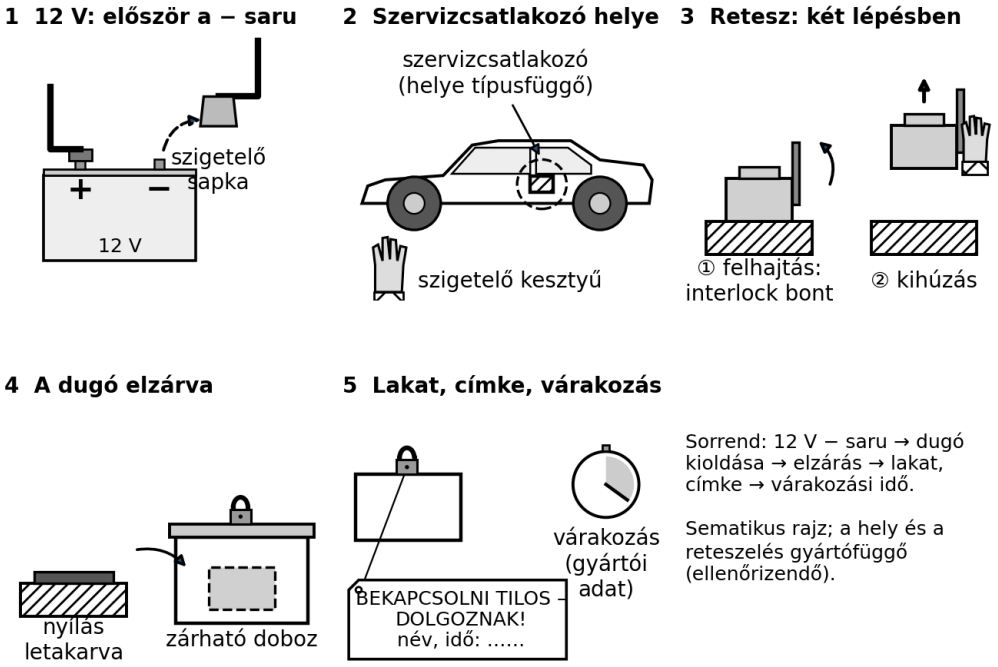
2. **A 12 V-os akkumulátor lekötése.** A fedélzeti hálózat vezérlőegységei 12 V-ról kapnak tápfeszültséget, ezért a 12 V-os akkumulátor leválasztása megakadályozza a HV-rendszer véletlen bekapcsolását. A lekötés sorrendje kötelező: először a negatív (test) sarut kell leemelni, és azt biztonságosan el kell szigetelni, hogy ne érhessen vissza a pólushoz. Utána lehet a pozitív saruval dolgozni, ha a gyártó előírja. A járműgyártó itt további teendőket is előírhat: adatmentés, ablakemelő- vagy kormányszögszenzor-tanítás. Ezeket a gyártói utasítás szerint el kell végezni.

3. **A szervizcsatlakozó / HV-leválasztó eltávolítása.** Keresse meg a narancssárga szervizcsatlakozót. Oldja ki a reteszt a gyártó által előírt módon, majd húzza ki a dugót, és helyezze biztonságos, elkülönített tárolóba. Az eltávolított csatlakozót **visszakapcsolás ellen zárolni** kell: a csatlakozóra vagy a nyílására reteszelő eszközt (pl. lakatot vagy azonosítószalaggal ellátott reteszt) kell helyezni, hogy véletlenül senki se tudja visszahelyezni.

4. **A visszakapcsolás elleni biztosítás.** A 12 V-os akkumulátor negatív saruja is legyen biztosítva, például zárható sarucsizma vagy műanyag doboz segítségével. A munka megkezdéséig a kulcsot és a szervizcsatlakozót csak a munkát végző, jogosult személy tarthatja magánál.

5. **Várakozási idő betartása.** A szervizcsatlakozó eltávolítása után a gyártó által megadott várakozási időt le kell tölteni. Ez alatt a HV-rendszert **tilos** megbontani, csatlakozókat szétnyitni vagy méréseket kezdeni. A várakozási időt stopperrel vagy a munkalapon rögzített időponttal kell betartani.

A 2–5. lépés kézi fogásait az alábbi képsor mutatja: a 12 V-os negatív saru letakarása, a szervizcsatlakozó kétlépcsős kioldása szigetelő kesztyűben, a kivett dugó elzárása, végül a lakat, a címke és a várakozási idő indítása.



34.6. ábra. A szervizcsatlakozó eltávolítása és zárolása (sematikus képsor; a hely és a reteszelés típusfüggő)

Továbbvitt eredmény. A fenti feszültségmentesítési lépések sorrendjét, a 12 V-os akkumulátor negatív sarujának először történő lekötését, a szervizcsatlakozó zárolását és a várakozási idő betartását használjuk a Mérések a HV-rendszeren: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés alfejezetben, valamint a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés gyakorlati szituációs feladatainál.

34.2.6. A feszültségmentesség ellenőrzése

A várakozási idő letelte után meg kell győződni arról, hogy a rendszer valóban feszültségmentes. Ehhez a mérést a következőképpen kell elvégezni.

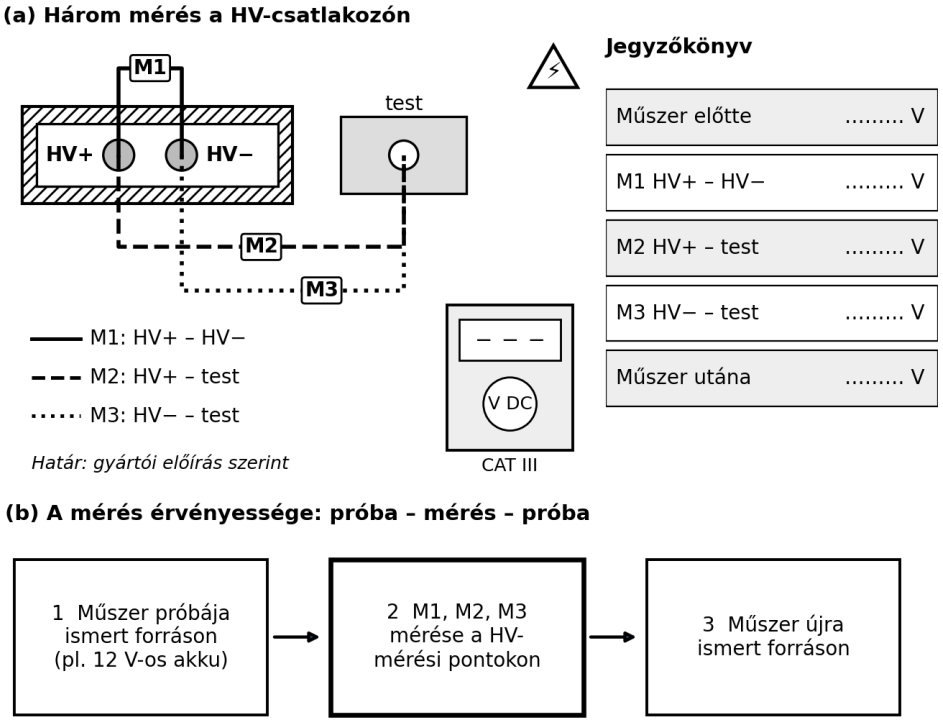
Műszer kiválasztása. A méréshez legalább CAT III mérési kategóriájú, kalibrált, DC feszültségmérésre alkalmas digitális multimétert kell használni, amelynek feszültségmérési tartománya legalább 1000 V DC **(ellenőrizendő: a gyártó műszer-előírása és a munkavédelmi szabályzat)**. A mérőzsinóroknak is CAT III besorolásúaknak kell lenniük, sérülésmentesek, és a csatlakozóik nem lehetnek lazák.

Műszerellenőrzés előtte. Mielőtt a HV-rendszeren mérünk, a műszert egy ismert feszültségforráson ellenőrizni kell. Az ellenőrzésre a gyártó által előírt eszközt használjuk: kétpólusú feszültségvizsgálót (MSZ EN 61243-3, ellenőrizendő) vagy CAT III multimétert. A műszer működését olyan ismert forráson (próbaforráson) ellenőrizzük, amely lehetőség szerint a mérendő tartományba eső feszültséget ad; a 12 V-os akkumulátor csak akkor fogadható el, ha a gyártói eljárás megengedi (ellenőrizendő). Meg kell győződni arról, hogy a műszer a várt értéket mutatja (12 V-os forrásnál pl. 12,5–12,8 V körül, a töltöttségi állapottól függően). Ha a műszer hibás értéket mutat, nem szabad használni.

Mérési pontok. A feszültségmentesség ellenőrzését mindig a gyártó által megadott mérési pontokon kell elvégezni. Általában az alábbi méréseket kell elvégezni:

- minden HV-pólus és minden másik HV-pólus között (például HV+ és HV− között),

- minden HV-pólus és a járműtest (föld) között,
- adott esetben a hajtómotor fáziskivezetései között, ha a motor csatlakozója hozzáférhető.



34.7. ábra. A feszültségmentesség ellenőrzése: a három mérés és a műszer előtte–utána próbája

Az ábra (a) része a három mérési párt (M1–M3) és a rögzítendő értékeket, a (b) része a próba–mérés–próba sorrendet mutatja: a mérés csak akkor érvényes, ha a műszer utána is a várt értéket adja.

Minden mérésnél rögzíteni kell az értéket. A megengedett maradékfeszültségre a gyártó ad előírást; a gyakorlatban gyakran 60 V DC alatti érintésvédelmi határt használnak, de a HV-járműveknél a gyártói előírás sok esetben ennél szigorúbb, például 0–30 V közötti maximális értéket ad meg **(ellenőrizendő: gyártói adat és hatályos érintésvédelmi előírás)**. Ha a mért feszültség bármely ponton a megengedett határ felett van, a rendszert **tilos** megbontani, és a feszültségmentesítést újra kell értékelni.

Műszerellenőrzés utána. A mérés befejezése után a műszert ismét ellenőrizni kell ugyanazon az ismert feszültségforráson. Ezzel igazoljuk, hogy a mérés alatt a műszer nem hibásodott meg, és a kapott eredmények megbízhatóak. Az „előtte–utána” ellenőrzés a mérési eljárás kötelező része.

Fontos mérési gyakorlat. A feszültségmentesség ellenőrzésekor először a nagy feszültségre gondolva megfelelő méréshatárt kell választani; a multimétert DC feszültségmérésre kell állítani. A mérési pontokat soha nem kézzel, hanem a mérőzsinór hegyével érintjük, miközben a másik kezünkkel nem érünk a járműtesthez, és a testünk nem zárhat áramkört.

34.2.7. Dokumentálás és visszakapcsolás

A feszültségmentesítést és a mérési eredményeket mindig írásban kell rögzíteni. A dokumentációnak tartalmaznia kell:

- a jármű azonosító adatait,
- a gyártói utasítás azonosítóját és kiadási dátumát,
- a feszültségmentesítés időpontját,
- a várakozási időt,
- az eltávolított szervizcsatlakozó helyét és a zárolás módját,
- a mérőműszer azonosítóját és kalibrálási állapotát,
- a mért feszültségértékeket minden mérési ponton,
- a feszültségmentesség megállapítását,
- a munkát végző személy aláírását és a munkaengedélyt.

A munkát csak ezen dokumentálás és a munkaterület lezárása után szabad megkezdeni.

Visszakapcsolás. A munka befejezése után a rendszert fordított sorrendben kell visszaállítani:

1. Győződjön meg arról, hogy minden szerszámot, csatlakozót és idegen tárgyat eltávolított a HV-alkatrészek közeléből.
2. Helyezze vissza a szervizcsatlakozót, és győződjön meg a retesz megfelelő záródásáról.
3. Oldja a 12 V-os akkumulátor negatív sarujának biztosítását, és csatlakoztassa vissza a negatív sarut.
4. Ha a gyártó előírja, ellenőrizze a fedélzeti diagnosztikát, és törölje a tárolt hibakódokat.
5. Indítsa el a járművet a gyártói utasítás szerint; ellenőrizze a HV-rendszer készenléti állapotát (például „READY” visszajelzést), és végezzen próbajáratot, ha szükséges.
6. Dokumentálja a visszaállítást és az esetleges hibakódokat.

Figyelem. Ha a HV-rendszer visszakapcsolásakor bármilyen rendellenességet észlel (szokatlan zaj, füst, szag, hibakód), a munkát azonnal le kell állítani, és az eljárásrend szerint kell eljárni.

34.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelyben hibrid személygépkocsi klímakompresszorát kell cserélni. A kompresszor elektromos hajtású, a HV-rendszer része. A HV-jogosult szerelő beazonosítja a járművet, letölti a gyártói online adatbázisból a feszültségmentesítési eljárást, szemrevételezi a HV-rendszert, lezárja és jelöli a munkaterületet, ellenőrzi a szigetelő kesztyűt (légpróba) és felveszi az EVE-t (szigetelő és felső bőrkesztyű, arcvédő). A járművet áramtalanítja: a gyújtást kikapcsolja, a kulcsot (kulcs nélküli rendszernél a vezérlőt) a munkaterületen kívül helyezi, a 12 V-os akkumulátor negatív saruját leemeli, majd a HV-szervizcsatlakozót eltávolítja, és lakatolható retesszel biztosítja, hogy ne lehessen visszatenni. A gyártó 10 perc várakozást ír elő; a szerelő stopperrel méri az időt. A várakozás letelte után CAT III multiméterrel megméri a feszültséget a gyártó által megadott pontokon: HV+ és HV− között 0,0 V, HV+ és test között 0,0 V, HV− és test között 0,0 V. A műszert előtte és utána a 12 V-os akkun is ellenőrzi, mindkétszer 12,7 V-ot mutat. A mérési jegyzőkönyvet kitölti, aláírja, és csak ezután kezdi a kompresszor cseréjét. A munka végén a szervizcsatlakozót visszahelyezi, a 12 V-os akkut visszaköti, és a jármű „READY” állapotát ellenőrzi.

Tanulság. A biztonságos munkavégzéshez nem elég kihúzni a szervizcsatlakozót; a várakozási idő és a feszültségmentesség mérése nélkül a közbensőköri kondenzátorok még veszélyes feszültséget tárolhatnak.

34.2.9. Gyakorlati útmutató: feszültségmentesítés és feszültségmentesség ellenőrzése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél. A HV-rendszer biztonságos feszültségmentesítése, a feszültségmentesség ellenőrzése és a munkához szükséges dokumentáció elkészítése.

Jármű- és adatazonosítás. Rendszám, alvázszám, típus, gyártói javítási utasítás száma és kiadási dátuma, HV-rendszer típusa.

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok.
- Szigetelő kesztyű mechanikai (bőr) védőkesztyűvel, ívzárlat elleni arcvédő, szükség szerint védőruha.
- CAT III digitális multiméter, CAT III mérőzsinórok.
- Reteszelő eszközök a szervizcsatlakozó és az akkusaru biztosítására.
- Kerékék, jelzőtábla, elszívó berendezés, ha a motorjáratás szükséges.
- Munkalap, toll, óra vagy stopper.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések.
- A munkaterületet le kell zárni, idegen személyek nem tartózkodhatnak a közelben.
- A járművet sík, szilárd talajon kell elhelyezni, rögzítőféket behúzni, kerékéket használni.
- A HV-alkatrészekre és a narancssárga vezetékekre csak a gyártói utasítás szerint szabad nyúlni.
- A használt kesztyűt, szigetelő anyagokat a munkavédelmi előírások szerint kell ellenőrizni és tárolni; a munkavégzés során keletkezett hulladékot szelektíven kell gyűjteni.

Számozott munkalépések.
1. Azonosítsa a járművet és gyűjtse be a gyártói feszültségmentesítési utasítást.
2. Végezzen szemrevételezést a HV-rendszeren; sérülés esetén álljon le, és kérjen utasítást.
3. Ellenőrizze az EVE-ket, különösen a szigetelő kesztyűt.
4. Készítse elő a munkaterületet: rögzítőfék, P állás, kerékék, kulcs kivétele, kulcs a munkaterületen kívül.
5. Kösse le a 12 V-os akkumulátor negatív saruját, szigetelje és biztosítsa.
6. Távolítsa el a szervizcsatlakozót a gyártó által megadott módon, és zárja visszakapcsolás ellen.
7. Indítsa el a várakozási idő mérését; tartsa be a gyártói időt.
8. A várakozási idő letelte után ellenőrizze a multimétert ismert feszültségforráson (pl. a lecsatolt 12 V-os akkumulátor).
9. Mérje meg a feszültséget a gyártói mérési pontokon; rögzítse az értékeket.
10. Ellenőrizze a műszert ismét ugyanazon ismert forráson.
11. Ha minden mért érték a megengedett határ alatt van, dokumentálja a feszültségmentességet, és adja ki a munkaengedélyt.
12. A munka végén fordított sorrendben állítsa vissza a rendszert, és ellenőrizze a jármű működését.

Ellenőrzési pontok. A mérési jegyzőkönyvben példaértékek szerepelhetnek: HV+–HV−: 0,0 V; HV+–test: 0,0 V; HV−–test: 0,0 V; 12 V-os akkumulátor előtte/utána: 12,7 V. Ezek tanulási példák **(ellenőrizendő: gyártói határértékek és a tényleges jármű állapota)**.

Tipikus hibák. A mérés előtt kihagyni a műszerellenőrzést; a várakozási idő lerövidítése; a szervizcsatlakozó nem zárolt elhelyezése; a mérési pontok kihagyása; a dokumentálás elmulasztása.

Dokumentálás. Töltsön ki munkalapot, rögzítse a járműazonosítót, a műszer kalibrálási azonosítóját, a mért értékeket, az időpontokat, és írja alá.

34.2.10. Tipikus hibák

1. **A várakozási idő elhagyása.** A szerelő kihúzza a szervizcsatlakozót, és azonnal mér. Ha a közbensőköri kondenzátorok még nem sültek ki, a mért feszültség 0 V-nál nagyobb lehet, vagy ha a mérés túl korai, a kondenzátorok a mérés után is veszélyes feszültséget szolgáltathatnak. **Helyes gyakorlat:** mindig tartsa be a gyártói várakozási időt, és csak utána mérjen.
2. **A mérőműszer ellenőrzésének elhagyása.** Ha a műszer a mérés előtt nem működik helyesen, a 0 V-os kijelzés hamis biztonságérzetet adhat. **Helyes gyakorlat:** előtte–utána ellenőrzés ismert feszültségforráson, és a mérési jegyzőkönyvben ezt rögzíteni.
3. **Csak egy pólus között mérni.** A feszültségmentesség akkor teljes, ha minden póluspár és a test felé is elvégezzük a mérést. Például ha csak HV+ és HV− között mérünk, egy esetleges szigetelési hiba miatt a test felé feszültség maradhat, ami érintéskor áramütést okoz. **Helyes gyakorlat:** a gyártói mérési pontokat maradéktalanul végigmérni, és az eredményeket jegyzőkönyvezni.
4. **A 12 V-os akkumulátor pozitív sarujának levétele előtt a negatívot elhagyni.** Ez szikrázáshoz, rövidzárlat veszélyéhez vezethet. **Helyes gyakorlat:** mindig először a negatív sarut, visszakötéskor utoljára.

34.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A HV-rendszeren a szervizcsatlakozó eltávolítása után azonnal, várakozási idő nélkül biztonságosan lehet dolgozni. Válaszát indokolja.

2. Sorolja fel a feszültségmentesítés négy alapvető lépését a jármű előkészítése után.

3. Miért kell a feszültségmérőt a mérés előtt és után is ismert feszültségforráson ellenőrizni?

4. Milyen mérési kategóriájú műszert és mérőzsinórt kell használni a HV-rendszer feszültségmentességének ellenőrzéséhez?

5. Milyen méréseket kell elvégezni a feszültségmentesség igazolására?

6. Mi a teendő, ha a feszültségmentesség ellenőrzésekor egy mérési ponton 120 V feszültséget mér?

34.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazza meg saját szavaival a feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése közötti különbséget.

2. feladat (A). Számozza be a feszültségmentesítés alábbi lépéseit megfelelő sorrendben:
- Szervizcsatlakozó eltávolítása és zárolása
- 12 V-os akkumulátor negatív sarujának lekötése
- Várakozási idő betartása
- Járműazonosítás és gyártói utasítás beszerzése
- Feszültségmentesség ellenőrzése

3. feladat (B). Egy szerelő a szervizcsatlakozót eltávolította, a 12 V-os akkumulátort lekötötte, majd azonnal megkezdte a HV-alkatrész cseréjét, mert a multiméter 0 V-ot mutatott. Mi a hiba a leírásban? Mit kellett volna tennie?

4. feladat (B). Írja le a HV-rendszer visszakapcsolásának lépéseit a munka befejezése után.

5. feladat (C). Miért nem elegendő a feszültségmentesség ellenőrzésekor csak a HV+ és HV− közötti feszültséget megmérni? Milyen veszélyt hordozhat egy elmaradt mérés a test felé?

6. feladat (D). Egy műhelyben a tanuló hibrid járművön a feszültségmentesítés után a mérési jegyzőkönyv kitöltése nélkül akar munkához kezdeni. Az oktató megkérdezi:
- Mi volt a várakozási idő? A tanuló nem tudja.
- Ellenőrizte-e a műszert előtte–utána? Nem.
- Megvannak-e a mért feszültségértékek? Nincs dokumentálva.

Milyen következménye lehet a hiányos eljárásnak? Írjon legalább két érvet a dokumentáció és a mérési protokoll fontossága mellett.

34.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A szervizcsatlakozó eltávolítása után a közbensőköri kondenzátorok még energiát tárolhatnak, ezért a gyártói várakozási időt be kell tartani, és a feszültségmentességet méréssel igazolni kell.

2. A jármű előkészítése (gyújtás ki, kulcs távol, kerékék), a 12 V-os akkumulátor negatív sarujának lekötése, a szervizcsatlakozó eltávolítása és zárolása, a gyártói várakozási idő betartása.

3. Az „előtte” ellenőrzés igazolja, hogy a műszer mérésre alkalmas; az „utána” ellenőrzés igazolja, hogy a mérés közben nem hibásodott meg. Ha bármelyik elmarad, a mért értékek megbízhatatlanok.

4. CAT III mérési kategóriájú, kalibrált digitális multimétert és CAT III mérőzsinórokat, legalább 1000 V DC méréshatárral (ellenőrizendő).

5. Minden pólus között (pl. HV+ és HV−), valamint minden pólus és a járműtest között, és adott esetben a motor fáziskivezetései között.

6. A rendszert tilos megbontani; a feszültségmentesítést meg kell ismételni vagy újra kell értékelni. A mért érték veszélyes feszültség jelenlétét jelzi, ezért további műszaki- és munkavédelmi intézkedés szükséges.

Feladatok megoldása

1. feladat (A). A feszültségmentesítés az a műveletsor, amellyel a HV-rendszert biztonságos állapotba hozzuk (12 V leválasztása, szervizcsatlakozó eltávolítása, várakozás). A feszültségmentesség ellenőrzése pedig mérési bizonyíték arra, hogy a feszültség valóban elérte a megengedett, biztonságos szintet.

2. feladat (A). Helyes sorrend: 1 – Járműazonosítás és gyártói utasítás; 2 – 12 V-os akkumulátor negatív sarujának lekötése; 3 – szervizcsatlakozó eltávolítása és zárolása; 4 – várakozási idő betartása; 5 – feszültségmentesség ellenőrzése.

3. feladat (B). A hiba: a várakozási időt nem tartotta be, és a feszültségmentességet nem ellenőrizte a gyártói mérési pontokon. A 0 V-os kijelzés csak akkor fogadható el, ha a műszert előtte–utána ellenőrizték, és a várakozási idő letelt.

4. feladat (B). Visszakapcsolás lépései: szerszámok és idegen tárgyak eltávolítása a HV-térből; szervizcsatlakozó visszahelyezése és reteszelés; a 12 V-os akkumulátor negatív sarujának visszakötése; diagnosztikai ellenőrzés, hibakód-törlés a gyártó szerint; a jármű indítása és a „READY” állapot ellenőrzése; próbaút; dokumentálás.

5. feladat (C). A test felé mérés a szigetelési hibák kiszűrése miatt fontos. Ha például egy kontaktor beragadt, vagy a pakkon belül egy cellacsoport szigetelése testzárlatos, a szervizcsatlakozó kihúzása után HV+ és HV− között 0 V mérhető, a HV− (vagy HV+) és a karosszéria között viszont akár a félpakk feszültsége (pl. $\approx$ 190 V) is. Ezért kell minden pólust a test felé is mérni. Az ilyen hiba érintésveszélyes, és a testpotenciál megemelkedhet a jármű karosszériáján.

6. feladat (D). A dokumentáció és a mérési protokoll elhagyása miatt nem bizonyítható, hogy a rendszer valóban feszültségmentes. A várakozási idő leteltének hiánya azt jelenti, hogy a kondenzátorok nem biztos, hogy kisültek. A műszerellenőrzés hiánya miatt a mért értékek hamis biztonságérzetet adhatnak. A hiányos eljárás áramütéshez, tűzhöz vagy a későbbi javítási lépések hibás diagnózisához vezethet. A dokumentáció a munkavédelmi eljárásrend része, és a hatósági vagy gyártói audit során is kötelező.

34.2.14. Rövid összefoglaló

A HV-rendszeren végzett munka előtti feszültségmentesítés kötelező, gyártói utasítás szerinti műveletsor. Először a járművet azonosítjuk, a gyártói eljárást beszerezzük, a HV-alkatrészek sérüléseit szemrevételezéssel ellenőrizzük, és az EVE-ket megvizsgáljuk. A feszültségmentesítés lépései: a gyújtás kikapcsolása, a kulcs eltávolítása, a 12 V-os akkumulátor negatív sarujának lekötése, a szervizcsatlakozó eltávolítása és visszakapcsolás elleni zárolása. Ezt követi a gyártói várakozási idő, amely alatt a közbensőköri kondenzátorok kisülnek. A feszültségmentességet csak CAT III, kalibrált multiméterrel szabad ellenőrizni. A műszert a mérés előtt és után ismert feszültségforráson ellenőrizni kell. A mérést minden pólus között és minden pólus és a járműtest között el kell végezni, és az eredményeket munkalapon dokumentálni kell. A munkát csak a feszültségmentesség méréssel történő igazolása után szabad megkezdeni. A visszakapcsolás fordított sorrendben történik, a szervizcsatlakozó visszahelyezésével és a 12 V-os akkumulátor visszakötésével. A feszültségmentesítés szabályos végrehajtása az alapja a szigetelésmérésnek és a vizsgafelkészülés gyakorlati szituációinak.

34.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és HV-biztonsági adatlapok; ENSZ-EGB ECE R100 (nagyfeszültségű elektromos hajtás biztonsága – ellenőrizendő); magyar munkavédelmi törvény és a vonatkozó rendeletek; IEC 61010 / MSZ EN 61010 mérőműszer-biztonsági szabvány; gyártói multiméter-kézikönyvek; munkavédelmi oktatási anyagok.

Ellenőrizendő állítások:
- a várakozási idő jellemző 5–10 perces értéke;
- a feszültségmentesség elfogadható határértéke (60 V vagy annál alacsonyabb);
- a szigetelő kesztyűk és védőeszközök pontos feszültségszintjei és vizsgálati előírásai;
- a 12 V-os akkumulátor lekötésének további gyártói feltételei (adatmentés, tanítások);
- a mérési kategória (CAT III) alkalmazhatósága az adott járműre.

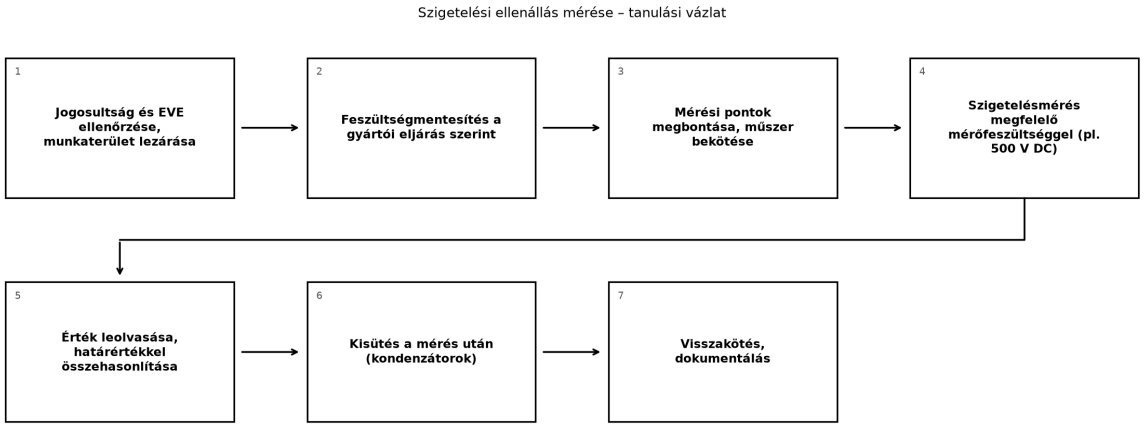
34.3. Mérések a HV-rendszeren: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés

34.3.1. Motiváció

Egy hibrid vagy elektromos jármű a műszerfalon „nagyfeszültségű rendszer hiba” üzenetet ír ki, nem tölt, és a rendszerteszter szigetelési hibakódot mutat. Az ügyfél szerint csak eső után jelentkezett a hiba. Ilyenkor nem elég a hibakódot törölni: meg kell mérnünk a nagyfeszültségű (HV) rendszer szigetelési ellenállását és a potenciálkiegyenlítő (testösszekötő) vezetékek ellenállását, különben a jármű életveszélyes maradhat, vagy a javítás után újra meghibásodik. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan tervezhető meg és hajtható végre biztonságosan egy ilyen mérés, hogyan értelmezhetők a határértékek és a HV-hibakódok, és hogyan keressük meg a hibás egységet.

34.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy HV-akkumulátorcsomagot a jármű padlólemezében. A narancssárga, nagyfeszültségű kábelek az akkumulátortól az inverterhez, a villanymotorhoz és a töltőegységhez futnak. A csomag BMS (Battery Management System) vezérlője figyeli a cellákat, a hőmérsékletet és a szigetelést is. A szigetelésmérő műszer egyik mérővezetéke a HV-pozitív (HV+) pólushoz, másik a jármű testpontjához csatlakozik. Bekapcsoláskor a műszer nagy egyenfeszültséget (gyártói előírás szerint például 500 V) kapcsol a mért pontok közé, és a folyó áramból kiszámítja az ellenállást. A mérés elvégzése után a rendszerben lévő kondenzátorok káros töltését kisütő ellenállással le kell vezetni – ezt a műszer „discharge” funkciója is elvégezheti.



34.8. ábra. Szigetelési ellenállás mérése – tanulási vázlat - A konkrét lépéseket és értékeket mindig a gyártói javítási utasítás határozza meg (ellenőrizendő).

34.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Szigetelési ellenállás. A HV-rendszer aktív részei (pl. HV+ és HV− vezeték, akkumulátorcellák) és a jármű fémteste (vázpotenciál) közötti ellenállás, amelynek meg kell akadályoznia, hogy az ember, a szerszám vagy a fémkarosszéria veszélyes áramkört zárjon. Jele R_{szig}, mértékegysége ohm (Ω) vagy megaohm (MΩ).

Definíció. Potenciálkiegyenlítés (testösszekötés). A HV-készülékek fémházának szándékos, kis ellenállású villamos összekötése a jármű testével, valamint a védővezetőkkel. Célja, hogy hiba esetén a test potenciálja ne emelkedjen meg, illetve a hibaáram biztonságos úton folyjon.

Összefüggés. Szigetelési ellenállás feszültségre vonatkoztatott határértéke. A gyakorlatban a szigetelési ellenállásra gyakran Ω/V (ohm/volt) alakban adnak meg minimumot, mert így a határ független a HV-rendszer feszültségszintjétől:

$$R_{\text{szig, min}} = k \cdot U_{\text{HV}}$$

ahol k a gyártó vagy az előírás által megadott, feszültségre vonatkoztatott határérték (például $100\,\Omega/\text{V}$ vagy $500\,\Omega/\text{V}$; ellenőrizendő: gyártói adat), U_{HV} a rendszer maximális egyenfeszültsége. Például 400 V rendszerfeszültség és $500\,\Omega/\text{V}$ követelmény esetén a minimális szigetelési ellenállás $200\,\text{k}\Omega$.

A részáramkörök szigetelési ellenállása párhuzamosan kapcsolódik: $1/R_{\text{teljes}} = \sum 1/R_i$, ezért a teljes érték mindig kisebb a legrosszabb részénél, és egy ág leválasztása után nő.

Figyelem. Szigetelési hiba veszélye. A szigetelési hiba önmagában még nem feltétlenül rövidzárlat, de érintésvédelem szempontjából veszélyes lehet. Ha a HV+ pólus és a test között lecsökken a szigetelés, a jármű fémtestje megközelítheti a HV-potenciált. Az emberi test ellenállása nedves, sérült bőrnél akár $1\,\text{k}\Omega$ alá is csökkenhet, így 400 V-nál több mint 400 mA áram folyhat, ami súlyos, gyakran halálos áramütést okoz. Ezért a szigetelési ellenállást a gyártó által megadott határ felett kell tartani.

34.3.4. Szigetelésfigyelés a járműben és a mérés elve

A jármű elektronikája folyamatosan figyeli a szigetelést. A BMS vagy a HV-felügyeleti rendszer jellemzően két, nagy értékű mérőellenálláson keresztül méri a HV+ és HV− pólus feszültségét a testhez képest. Ha szimmetrikus a rendszer (mindkét pólus és a test között azonos a szigetelés), a test feszültsége a pólusfeszültségek középső értéke. Ha az egyik pólus szigetelési hibája miatt a testpotenciál eltolódik, a rendszer hibakódot tárol, és figyelmezteti a vezetőt, illetve korlátozhatja vagy letilthatja a HV-rendszert.

A szigetelési hibák tipikus okai: - sérült vagy beázott HV-csatlakozó, törött kábelköpeny, - mechanikai sérülés (pl. kőfelverődés, ütközés utáni sérült akkumulátor), - hő, vegyszer vagy víz bejutása az inverterbe, töltőbe, - öregedett szigetelőanyag, páralecsapódás.

A jármű diagnosztikája a szigetelési hibát általában általános hibakóddal (például „Hybrid Battery System Isolation Fault”) vagy a gyártó saját kódjával jelzi. A kódolvasás önmagában megmutatja, melyik alrendszer érintett, de a pontos hibás alkatrészt csak szigetelésméréssel és a mérési pontok szétválasztásával találjuk meg.

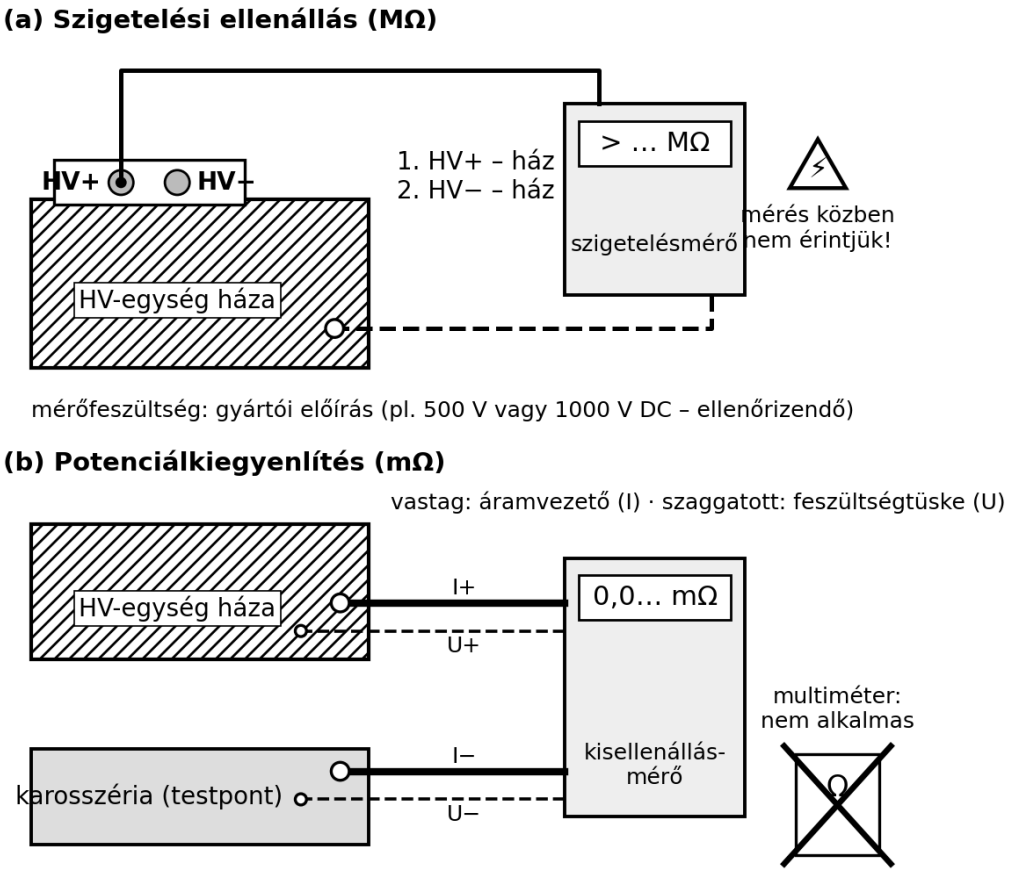
34.3.5. Szigetelési ellenállás mérése

Előírás. A mérési feszültséget, a határértéket és a mérési pontokat mindig a gyártói javítási utasítás szerint kell alkalmazni. A méréshez kizárólag CAT III (vagy a rendszerre előírt, megfelelő mérési kategóriájú), nagyfeszültséghez alkalmas szigetelésmérő műszert (megaohmmétert) szabad használni; a mérési kategória pontos besorolását ellenőrizni kell. A gyártó által jellemzően megadott mérőfeszültség 250 V, 500 V vagy 1000 V DC lehet, a határérték gyakran $500\,\Omega/\text{V}$ vagy más érték (ellenőrizendő: gyártói adat, ECE R100 szerinti előírások).

Figyelem. A szigetelésmérő a mérés idejére maga állít elő 250–1000 V egyenfeszültséget (ellenőrizendő: gyártói előírás), és a mért áramkör kapacitása ezt a mérés után is tárolhatja. Mérés közben a mérőcsúcsokhoz és a mért részekhez nem érünk, szigetelő kesztyűt viselünk, és más a járművön nem dolgozik. A gyártó által megnevezett elektronikus egységeket (pl. vezérlők mérőbemenetei) a mérés előtt le kell választani, mert a mérőfeszültség károsíthatja őket. A mérés után a kisütést megvárjuk, és a feszültségmentességet újra mérjük.

A mérés menete: 1. Hajtsa végre a HV-feszültségmentesítést a gyártó szerint, és ellenőrizze a feszültségmentességet. 2. Válassza ki a gyártó által megadott mérési pontokat: jellemzően a HV+ és a test, illetve a HV− és a test, valamint a további fogyasztók (inverter, motor, klímakompresszor, töltő) áramkörei. 3. A mérési pontok megbontása előtt győződjön meg róla, hogy a rendszer biztonságosan reteszelt és nincs visszakapcsolás (a gyártói szervizcsatlakozó eltávolítva, 12 V-os akkumulátor lekötve; a további biztonsági lépések a gyártói utasításban szerepelnek). 4. Csatlakoztassa a szigetelésmérőt a kiválasztott kapocs és a test pont közé. 5. Indítsa el a mérést a megadott mérőfeszültséggel, és várja meg a stabil leolvasást. 6. Olvassa le az ellenállásértéket, és hasonlítsa össze a gyártói határértékkel (például a minimális R_{szig} értékkel vagy az átszámított Ω/V követelménnyel). 7. Mérés után kösse ki a műszert, és győződjön meg a maradék töltés kisüléséről (a műszer kisütő funkciója, vagy gyártói utasítás szerint). 8. Dokumentálja a mért értéket, a környezeti hőmérsékletet és páratartalmat is.

Az alábbi ábra a két, gyakran összetévesztett mérés bekötését mutatja: a szigetelésmérő a HV-pólus és a ház között megaohmban mér (a jó érték a gyártói határ fölött van), a potenciálkiegyenlítést viszont négyvezetékes kisellenállásmérővel, milliohmban mérjük a ház és a karosszéria között (a jó érték a határ alatt van).



34.9. ábra. Szigetelésmérő és kisellenállásmérő bekötése a feszültségmentesített HV-egységen

Számítás. Példa 1. Egy HV-rendszerben a maximális feszültség $U_{\mathrm{HV}} = 400\,\mathrm{V}$. A gyártó a szigetelési ellenállásra $500\,\Omega/\mathrm{V}$ minimumot ír elő. Mekkora a minimális szigetelési ellenállás $R_{\mathrm{szig,\,min}}$?

Adott: $U_{\mathrm{HV}} = 400\,\mathrm{V}$, $k = 500\,\Omega/\mathrm{V}$. Keresett: $R_{\mathrm{szig,\,min}}$.

Képlet: $R_{\mathrm{szig,\,min}} = k \cdot U_{\mathrm{HV}}$.

Behelyettesítés:

$$R_{\mathrm{szig,\,min}} = 500\,\frac{\Omega}{\mathrm{V}} \cdot 400\,\mathrm{V} = 200\,000\,\Omega = 200\,\mathrm{k}\Omega$$

Ellenőrzés: az Ω/V szorozva V-tal Ω dimenziójú, az érték nagyságrendje $10^5\,\Omega$, ami szigetelési mérésnél reális. ∎

Számítás. Példa 2. Potenciálkiegyenlítés ellenállása. A potenciálkiegyenlítő vezetéket a HV-akkumulátor ház és a jármű testpontja közötti ellenállás mérésére $I = 100\,\mathrm{mA}$ egyenáramot bocsátunk, és a két pont közötti feszültségesés $U = 8\,\mathrm{mV}$. Mekkora az ellenállás, és megfelel-e, ha a gyártói határ $0{,}1\,\Omega$?

Adott: $I = 100\,\mathrm{mA} = 0{,}1\,\mathrm{A}$, $U = 8\,\mathrm{mV} = 0{,}008\,\mathrm{V}$, határ $R_{\mathrm{hat}} = 0{,}1\,\Omega$. Keresett: R_{PE}.

Képlet: Ohm-törvényből $R_{\mathrm{PE}} = U/I$.

Behelyettesítés:

$$R_{\mathrm{PE}} = \frac{0{,}008\,\mathrm{V}}{0{,}1\,\mathrm{A}} = 0{,}08\,\Omega$$

Ellenőrzés: $0{,}08\,\Omega < 0{,}1\,\Omega$, tehát a mért érték megfelel a gyártói határnak. ∎

Megjegyzés. A potenciálkiegyenlítés méréséhez általában nagyobb árammal dolgozó, speciális kisellenállásmérőt (mikroohmmérőt) vagy a gyártó által előírt mérőeszközt használnak, nem közönséges multimétert, mert a multiméter mérőárama túl kicsi, és a mérési pontatlanság ebben a tartományban nagy.

A szigetelési ellenállás mérésénél a HV-rendszer kapacitása jelentős lehet (az akkumulátor cellái, az inverter egyenköri kondenzátorai). Ezért a mérés befejezése után a töltés kisütését el kell végezni; ezt a műszer általában automatikusan megteszi, de ellenőrizni kell, hogy a feszültség a mérési pontokon 0 V-ra csökken-e.

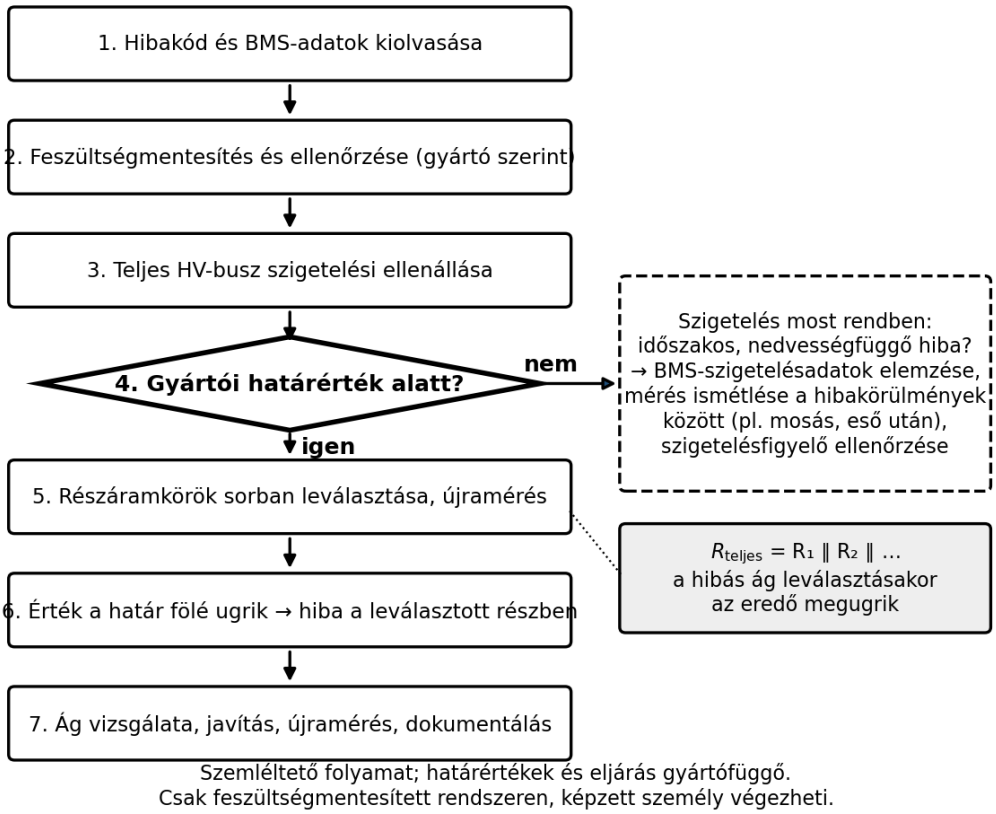
Továbbvitt eredmény. A szigetelési ellenállás mérésének és értékelésének ezt a módszerét használjuk a Sérült HV-jármű és -akkumulátor: mentés, tűz, szállítás, tárolás és újrahasznosítás alfejezetben, ahol a sérült akkumulátor biztonsági állapotát kell megítélni, és dönteni a további kezelésről.

34.3.6. HV-hibakódok és BMS-adatok

A HV-rendszer szigetelési hibáját a BMS, az inverter vezérlője vagy a DC/DC átalakító tárolja. A rendszerteszterrel kiolvasott hibakódok általános jellegűek lehetnek, és gyártótól függően más-más számot kapnak. Az alábbi táblázat szemléltető példákat mutat, a valós értelmezés mindig a gyártói diagnosztikai adatbázis szerint történik.

Hibakód / adat jellege	Lehetséges rendszer	Első vizsgálat
„Isolation Fault”	HV-akkumulátor, inverter, töltő	Szigetelési ellenállás a HV+ és test, HV− és test között

Hibakód / adat jellege	Lehetséges rendszer	Első vizsgálat
„Insulation Resistance Low”	HV-csatlakozók, kábelek	Beázás, mechanikai sérülés, csatlakozók ellenállása
„Ground Leakage”	Motorkör, klímakompresszor	Inverter és a fogyasztó köri mérés
BMS cellaadatokban nem egyenletes töltés	HV-akkumulátor cellái	BMS élő adatok, cellafeszültségek, SoC



34.10. ábra. Szigetelési hiba behatárolása a HV-rendszerben

Az ábra a hibakeresés logikáját mutatja: először a teljes HV-buszt mérik (akkumulátor lekapcsolva), majd az egyes részáramkörök leválasztása után megismétlik a mérést. Ha a szigetelési ellenállás egy adott leválasztás után ugrik a határ fölé, akkor a hiba abban a leválasztott részben van. (A részáramkörök szigetelési ellenállásai párhuzamosan kapcsolódnak, ezért az eredőt a legkisebb érték húzza le.) Ha a teljes busz mért értéke a határ fölött van, a döntés „nem” ága érvényes: a hiba időszakos vagy nedvességfüggő lehet, ezért a BMS-adatokat elemezzük, és a mérést a hibakörülmények között megismételjük. A BMS élő adatai segítenek: a szigetelésfigyelő által számított becsült ellenállás, a cellák közötti feszültségkülönbség, a szivárgó áram és az egyes modulok hőmérséklete mind arra utalhat, hogy a hiba az akkumulátorban vagy a külső áramkörökben keresendő.

34.3.7. Minőségellenőrzés

A szigetelési és potenciálkiegyenlítési mérések minőségét a következő ellenőrzőlistával biztosíthatjuk:

- ☐ A mérést a gyártói javítási utasításban megadott, az adott járműre érvényes mérőfeszültséggel és határértékkel végezték.
- ☐ A mérési pontok biztonságosak, feszültségmentesek, a visszakapcsolás ellen le vannak biztosítva.
- ☐ A műszer mérési kategóriája és a mérővezetékek megfelelőek, a műszer önellenőrzése megtörtént (a műszer a beadott ellenállás-etalonon helyes értéket mutat).
- ☐ A szigetelési ellenállás mért értéke nagyobb, mint a gyártói minimum (vagy az Ω/V átszámított érték).
- ☐ A potenciálkiegyenlítés ellenállása kisebb, mint a gyártói maximum (például 0,1 Ω).
- ☐ A mérés után a maradék feszültség lecsökkent biztonságos szintre (0 V-hoz közeli).
- ☐ A mért értékeket a munkalapon dokumentálták, a hibakódokat a javítás után törölték, és a rendszerteszter „readiness” ellenőrzése megtörtént.

34.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy hibrid jármű ügyfele arról számolt be, hogy esős időben a műszerfalon megjelent a „hibrid rendszer hiba” jelzés, és a töltés leállt. A rendszerteszterrel kiolvasott hibakód „Szigetelési ellenállás alacsony – HV-akkumulátor rendszer”. A HV-feszültségmentesítés után először a teljes HV-busz szigetelését mértük meg 500 V mérőfeszültséggel: a mért érték 45 kΩ volt, ami a 200 kΩ minimum alatt maradt. Ezután a HV-csatlakozókat oldottuk, és a mérést szakaszosan megismételtük. A hiba az inverter bejövő HV-csatlakozójánál volt: a csatlakozó tömítése beázott, a vezetékszigetelés sérült, és a mért ellenállás a csatlakozó leválasztása után 12 MΩ fölé ugrott. A csatlakozó tömítés cseréje és a sérült kábelrész javítása után az egész rendszer szigetelése 450 kΩ fölött mért, a hibakód törölhető volt, és próbatöltés során a hiba nem tért vissza. Tanulság: a hibakód önmagában nem elég, a szakaszos méréssel lehet megtalálni a pontos hibás elemet.

34.3.9. Gyakorlati útmutató

Cél: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés mérése hibrid vagy elektromos jármű HV-rendszerén.

Jármű- és adatazonosítás: használja a gyártói javítási adatbázist a pontos mérési pontokhoz, mérőfeszültséghez, határértékekhez és a feszültségmentesítési eljáráshoz.

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: - CAT III (vagy előírt kategóriájú) szigetelésmérő, kisellenállásmérő (mikroohmmérő), - megfelelő mérési kategóriájú feszültségmérő műszer (pl. CAT III 1000 V DC), - HV-szigetelt szerszámok (a gyártói előírás szerint), jelölt munkaterület, figyelmeztető táblák, - egyéni védőeszközök: szigetelő kesztyű, arcvédő, megfelelő munkaruha, - gyártói szervizcsatlakozó-retesz, dokumentációs munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. HV-rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: - A munkaterület lezárása, idegen személyek kizárása. - Az EVE ellenőrzése (szigetelő kesztyű nyomáspróbája, arcvédő, biztonsági cipő). - A jármű 12 V-os akkumulátorának lekötése, a szervizcsatlakozó eltávolítása és biztosítása

visszakapcsolás ellen. - A gyártói várakozási idő megvárása, majd a feszültségmentesség ellenőrzése. - A mérési pontokon a sérült kábelek, forró felületek ellenőrzése. - A használt tömítések, sérült alkatrészek veszélyes hulladékként való kezelése.

Számozott munkalépések:

1. Olvassa ki a HV-hibakódokat, és jegyezze fel a BMS élő adatait (szigetelési ellenállás becsült értéke, cellafeszültségek).
2. Végezze el a feszültségmentesítést a gyártói utasítás szerint, és ellenőrizze a feszültségmentességet a megfelelő műszerrel a HV+ és HV−, valamint a HV+ és test között.
3. Határozza meg a mérési pontokat: HV+ ↔ test, HV− ↔ test, inverter, motor, klímakompresszor, DC/DC, töltő.
4. Csatlakoztassa a szigetelésmérőt a kiválasztott ponthoz és a megbízható testponthoz.
5. Végezze el a mérést a gyártói mérőfeszültséggel (például 500 V DC), és olvassa le a stabil értéket.
6. Ellenőrizze az értéket a gyártói határértékkel (például $R_{\min} = 200\,\mathrm{k\Omega}$ vagy $500\,\Omega/\mathrm{V}$). Ha az érték a határ alatt van, jelezze a hibát.
7. Ismételje a mérést a további áramkörökön, és ha szükséges, válassza le a részáramköröket a hibás rész behatárolásához.
8. Mérje meg a potenciálkiegyenlítést: a kisellenállásmérővel mérje a HV-készülékek házának és a testpontnak az ellenállását, hasonlítsa össze a gyártói maximális értékkel (például $0{,}1\,\Omega$).
9. A mérések után végezze el a maradék töltés kisülését, ellenőrizze a feszültségmentes állapotot.
10. Szerelje vissza a leválasztott elemeket a gyártó előírása szerint, csatlakoztassa a 12 V-os akkumulátort, és törölje a hibakódot.
11. Végezzen próbafuttatást vagy gyártói működési tesztet, és ellenőrizze, hogy a hiba nem jelenik meg újra.
12. Töltse ki a munkalapot, rögzítse a mért értékeket, a hibakódokat és az elvégzett javításokat.

Ellenőrzési pontok a gyakorlatban: - A feszültségmentesítés után a feszültség a HV-pólusok és a test között 0 V legyen. - A szigetelési ellenállás mért értéke legyen nagyobb, mint a gyártói minimum, és ne mutasson csökkenő tendenciát. - A potenciálkiegyenlítés mért ellenállása legyen kisebb, mint a gyártói maximum. - A mérés után a maradék feszültség lecsengése bizonyítja a kapacitív elemek kisülését.

Tipikus hibák a mérés során: - Elmarad a feszültségmentesítés vagy a feszültségmentesség ellenőrzése – életveszélyes. - Nem a gyártói mérőfeszültséget használják, ezért a mért érték téves, vagy a túl nagy feszültség kárt tesz a szigetelésben. - A mérést a HV-busz egészén végzik anélkül, hogy a részáramköröket leválasztanák, így nem tudják behatárolni a hibát. - A potenciálkiegyenlítést multiméterrel mérik, pedig a multiméter mérőárama túl kicsi a pontos méréshez. - Elfelejtik a mérés utáni kisütést, és a visszakapcsolásnál veszélyes ív keletkezhet.

34.3.10. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő a HV-rendszer szigetelését úgy méri, hogy nem várja meg a gyártói feszültségmentesítési időt, és a mérés közben a 12 V-os akkumulátor vissza van kötve. A hiba a gyártói biztonsági eljárás megsértése; a rendszer váratlanul energiát kaphat, és az ember áramütést szenvedhet. Helyes: mindig a gyártói eljárás szerint, a feszültségmentesítés minden lépését betartva, a visszakapcsolás elleni reteszeléssel dolgozni.

Hiba. A mérési jegyzőkönyvbe a „szigetelési ellenállás $0{,}08\,\Omega$” értéket írják, összetévesztve a potenciálkiegyenlítés mérésével. A szigetelési ellenállás a HV-vezető és a test közötti ellenállás,

amelynek nagyobbnak kell lennie, mint a minimum (pl. 200 kΩ), míg a potenciálkiegyenlítés ellenállása a fémház és a test közötti, és kicsinek kell lennie (pl. $< 0{,}1\,\Omega$). A kettőt nem szabad felcserélni.

Hiba. A hibakeresés során a szerelő a szigetelési hibakódot törli, és a járművet átadja, mondván „a hiba nem jön vissza”. Valójában a szigetelési hiba továbbra is fennáll, és az érintésvédelem sérül, így a jármű életveszélyes. Helyes: a javítás után méréssel kell igazolni a szigetelési ellenállás helyreállását, és csak utána törölni a hibakódot.

34.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A szigetelési ellenállás mérését a HV+ és a testpont között kell elvégezni, és az értéknek minél kisebbnek kell lennie.
2. Mi a különbség a szigetelési ellenállás és a potenciálkiegyenlítés ellenállása között?
3. Egy 800 V-os HV-rendszeren a gyártói határ 500 Ω/V. Mekkora a minimálisan megengedett szigetelési ellenállás?
4. Miért nem lehet közönséges multiméterrel megbízhatóan mérni a potenciálkiegyenlítés ellenállását?
5. Mi a teendő a szigetelési ellenállás mérése után a kapacitív töltés miatt?

34.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a szigetelési ellenállás minimális értékét egy 350 V-os HV-rendszer esetén, ha a gyártói követelmény 100 Ω/V. Adja meg az eredményt kΩ-ban is.

2. feladat (A). Potenciálkiegyenlítés mérésekor $I = 200\,\text{mA}$ mérőáramot alkalmazunk, és a feszültségesés $U = 15\,\text{mV}$. Számítsa ki az ellenállást, és döntse el, hogy megfelel-e a 0,1 Ω határnak.

3. feladat (B). Egy HV-járművön a következő mérési eredményeket kaptuk: - Teljes HV-busz szigetelése: 51 kΩ (52 kΩ ∥ 2,5 MΩ) - Akkumulátor leválasztása után a külső kör szigetelése: 2,5 MΩ - Akkumulátorcsomag szigetelése: 52 kΩ

A gyártói határ 500 Ω/V, a rendszer feszültsége 400 V. Melyik egység hibás? Válaszát indokolja.

4. feladat (B). Rajzolja fel a szigetelésmérés folyamatát lépésenként (a feszültségmentesítéstől a visszakötésig), és jelölje meg, hol kell a feszültségmentesség ellenőrzését elvégezni.

5. feladat (C). Egy hibrid járműnél a BMS szigetelési hibakódot tárol, de a szigetelési ellenállás a teljes buszon 120 kΩ, ami a 200 kΩ határ alatt van. A szerelő leválasztja az invertert, és az inverter+motor ág szigetelése 140 kΩ marad, de az inverter nélküli busz szigetelése 800 kΩ-ra nő. Melyik rendszerben van a hiba? Hogyan tudná tovább behatárolni?

6. feladat (D). Egy villanymotorral rendelkező EV-nél a rendszerteszter „Insulation Resistance Low” hibát mutat, és a töltés nem indul el. A szigetelésmérés a HV+ és test között 27 kΩ, a HV− és test között 1,2 MΩ. A potenciálkiegyenlítés az akkumulátorháznál 0,02 Ω, az inverterháznál 0,09 Ω, a motorháznál 0,3 Ω. A gyártói határ: szigetelés 500 Ω/V ($U_{\text{HV}} = 400\,\text{V}$), potenciálkiegyenlítés max. 0,1 Ω. Milyen hibákat talál a mérési adatokban, és mi legyen a következő lépés?

34.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Hamis. A szigetelési ellenállásnak nagy értékűnek kell lennie, mert az biztosítja az érintésvédelmet. A minél kisebb ellenállás a potenciálkiegyenlítésre igaz.
2. A szigetelési ellenállás a HV-vezető és a test közötti nagy ellenállás (a veszélyes áram elkerülésére), míg a potenciálkiegyenlítés ellenállása a fémház és a test közötti kis ellenállás, hogy a hibaáram biztonságosan lefolyjon.
3. $R_{\min} = 500\,\Omega/\mathrm{V} \cdot 800\,\mathrm{V} = 400\,000\,\Omega = 400\,\mathrm{k}\Omega$.
4. A multiméter mérőárama túl kicsi (jellemzően mikroamper tartomány), így a mérési feszültség is kicsi, és a vezetékcsatlakozás, a hőmérséklet hatása nagy hibát okoz; a kis ellenállások pontos mérésére mikroohmmérőt használnak.
5. A mérés után a rendszer kapacitásában tárolt töltés feszültséget tart fenn, ezért a mérést követően ki kell sütni a rendszert, és ellenőrizni kell, hogy a maradék feszültség biztonságos (0 V) legyen.

Feladatok megoldása:

1. feladat (A).
Adott: $U = 350\,\mathrm{V}$, $k = 100\,\Omega/\mathrm{V}$.
Keresett: $R_{\min}$.
Megoldás: $R_{\min} = 100\,\Omega/\mathrm{V} \cdot 350\,\mathrm{V} = 35\,000\,\Omega = 35\,\mathrm{k}\Omega$.
Ellenőrzés: az érték nagyságrendje megfelelő, 35 kΩ a szigetelési mérésnél alacsony, de a határérték konzervatív lehet.

2. feladat (A).
Adott: $I = 200\,\mathrm{mA} = 0{,}2\,\mathrm{A}$, $U = 15\,\mathrm{mV} = 0{,}015\,\mathrm{V}$, határ $0{,}1\,\Omega$.
Keresett: R.
Megoldás: $R = U/I = 0{,}015\,\mathrm{V}/0{,}2\,\mathrm{A} = 0{,}075\,\Omega$.
Összehasonlítás: $0{,}075\,\Omega < 0{,}1\,\Omega$, tehát megfelel.

3. feladat (B).
A gyártói határ $500\,\Omega/\mathrm{V}$ és 400 V mellett $R_{\min} = 200\,\mathrm{k}\Omega$. A teljes busz 51 kΩ (a két rész párhuzamos eredője), ami hiba. A külső kör 2,5 MΩ, ami meghaladja a határt, tehát nem hibás. Az akkumulátor 52 kΩ, ami a határ alatt van, tehát a hiba az akkumulátorcsomagban van. Indoklás: a szigetelési hiba azon a részen van, ahol a mért ellenállás a minimum alá esik.

4. feladat (B).
Lásd a fenti folyamatábrát. A feszültségmentességet a 2. lépés végén (a feszültségmentesítés után, a mérési pontok megbontása előtt) és a 6. lépés után (a kisütés után, a visszakötés előtt) mérjük.

5. feladat (C).
Az inverter leválasztása után az inverter+motor ág szigetelése 140 kΩ maradt (a $140\,\mathrm{k}\Omega \parallel 800\,\mathrm{k}\Omega \approx 119\,\mathrm{k}\Omega$ egyezik a teljes busz 120 kΩ értékével), ami a 200 kΩ határ alatt van, tehát a hiba a motoroldali áramkörben (motor, kábelszakasz, csatlakozók) vagy az inverter és a motor közötti szakaszban van. A busz 800 kΩ értéke azt mutatja, hogy az akkumulátor és a többi áramkör megfelelő. A további behatároláshoz mérjük meg a motorfázisok és a test közötti szigetelést, valamint válasszuk le a motort az inverterről, és ismételjük meg a mérést. Ha a motor leválasztása után a motoroldali szigetelés magasra ugrik, a hiba a motorban van.

6. feladat (D).
A mérési adatok szerint: - Szigetelés HV+ és test: 27 kΩ, ami a 200 kΩ minimum alatt van

→ hiba a HV+ oldali szigetelésben. - Szigetelés HV− és test: 1,2 MΩ, ami megfelel. - Potenciálkiegyenlítés: akkumulátor 0,02 Ω, inverter 0,09 Ω – mindkettő megfelel; motor 0,3 Ω – ez meghaladja a 0,1 Ω maximumot, tehát a motor testösszekötése hibás. Tehát két hiba van: a HV+ pólus és test közötti szigetelési hiba, valamint a motor potenciálkiegyenlítő vezetékének megnövekedett ellenállása. A következő lépés: a HV+ oldali szigetelési hiba pontos behatárolása (a tápláló ágak leválasztásával), valamint a motorházi testösszekötés csatlakozási pontjainak ellenőrzése, tisztítása, javítása. Mindkét hiba javítása után a méréseket meg kell ismételni, és a hibakódot törölni.

34.3.14. Rövid összefoglaló

A HV-rendszer szigetelési ellenállása az aktív vezetők és a járműtest közötti nagy ellenállás, amely megakadályozza a veszélyes testpotenciál kialakulását. A szigetelési hibát a BMS folyamatosan figyeli, és hibakódot tárol. A mérést csak feszültségmentesítés után, megfelelő kategóriájú szigetelésmérővel, a gyártói mérőfeszültséggel (pl. 500 V) lehet végezni; a mért ellenállást a feszültségre vonatkoztatott határértékkel (Ω/V, pl. 500 Ω/V) kell összehasonlítani, amelyből a minimális ellenállás $R_{\min} = k \cdot U_{\mathrm{HV}}$. A mérés után a kapacitív töltést ki kell sütni. A potenciálkiegyenlítés ellenállását kisellenállásmérővel, nagyobb árammal (pl. 100−200 mA) mérjük, és a maximális érték (pl. 0,1 Ω) alatt kell lennie. A hibakeresés során a rendszert részáramkörökre bontva, leválasztással határoljuk be a hibás egységet. A HV-hibakódok, a BMS élő adatok és a szigetelésmérés együtt adják a pontos diagnózist. **Továbbvitt eredmény:** a szigetelési ellenállás mérésének módszere és értékelése szükséges a Sérült HV-jármű és -akkumulátor: mentés, tűz, szállítás, tárolás és újrahasznosítás alfejezetben a sérült akkumulátor állapotának megítéléséhez.

34.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípus: gyártói javítási utasítás, diagnosztikai adatbázis – a mérőfeszültség, határértékek, mérési pontok mind gyártó- és típusspecifikusak; az itt megadott 500 V, 500 Ω/V, 0,1 Ω, 100−200 mA értékek tanulási példák.
- Forrástípus: ECE R100 (nagyfeszültségű rendszerek biztonsága) – a pontos szigetelési határértékek és vizsgálati módszerek ellenőrizendők.
- Forrástípus: ISO 6469 (villamos közúti járművek biztonsága) – a szigetelési ellenállás és a potenciálkiegyenlítés vizsgálati követelményei ellenőrizendők.
- A HV-hibakódok (pl. „Isolation Fault”) gyártóspecifikusak; a táblázatban szereplő jellegük példa, a tényleges kódértelmezés a gyártói diagnosztikából ellenőrizendő.
- A mérési kategória (CAT III) és a jogosultsági szintek pontos besorolása a hatályos munkavédelmi és képesítési előírások szerint ellenőrizendő.

34.4. Sérült HV-jármű és -akkumulátor: mentés, tűz, szállítás, tárolás és újrahasznosítás

34.4.1. Motiváció

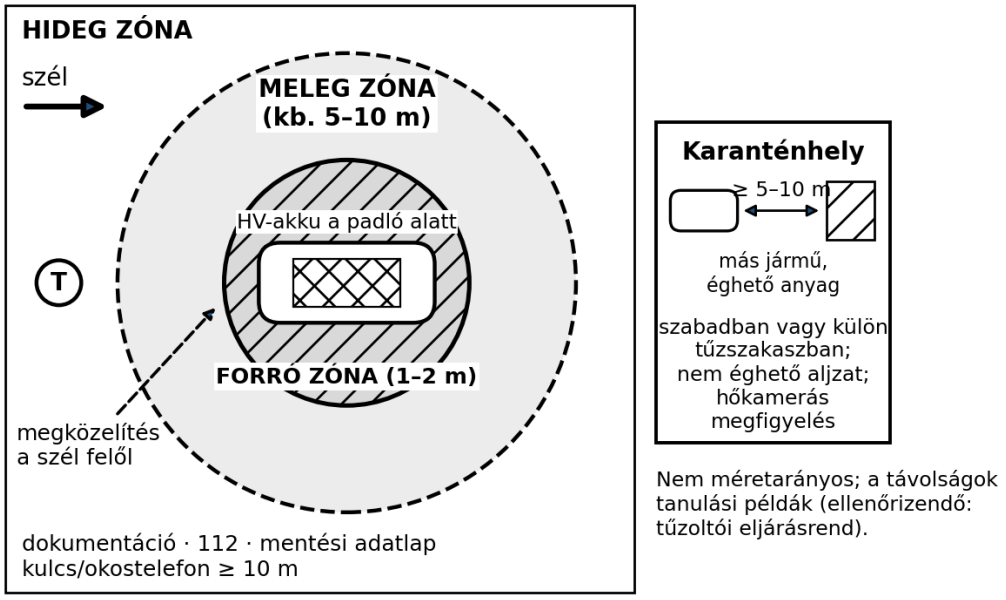
Egy balesetből kimentett elektromos autó érkezik a műhely udvarára. Az autómentő leállítja, az átadó kolléga még annyit mond: „a padló alól hő jött, és mintha sziszegett volna”. A jármű nem ég, a műszerfala sötét, de a küszöb környékén enyhe, savanykás szagot érzel. Egy ilyen pillanatban nem a motorháztető felnyitása az első lépés, hanem az emberek védelme, a veszély megítélése és a megfelelő segítség riasztása. A HV-akkumulátor – bár feszültségmentesnek tűnhet

– sérülés után órákig rejtett hőtermelést és késleltetett tüzet okozhat. Itt azt tanulod meg, hogyan kezeld a sérült hibrid/elektromos járművet anélkül, hogy te magad válnál sérültté, és milyen előírások vonatkoznak a tárolásra, szállításra és az akkumulátor hulladékkezelésére.

A feszültségmentesítés és a szigetelési ellenállás mérés alapjait a Mérések a HV-rendszeren: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés alfejezetben tanultad meg; itt ezt az eljárást csak akkor idézzük fel, ha a gyártói utasítás megköveteli, és a munkát jogosult személy végzi.

34.4.2. Szemléletes kép

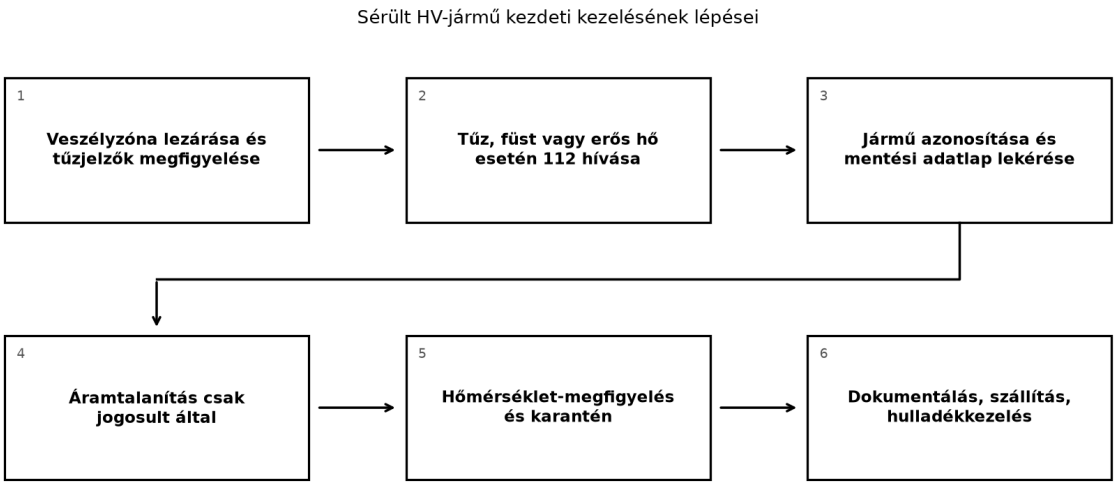
Képzeld el a jármű köré húzott három zónát. A forró zóna a jármű körüli kb. 1–2 méter (tanulási példa, ellenőrizendő: tűzoltói eljárásrend); ide csak a mentést végző, védőfelszerelést viselő kioktatott személy léphet be. A meleg zóna nagyjából 5–10 méter; ide már a mentesítő kolléga irányításával léphetsz, de a szélirányt figyelni kell, mert a füst mérgező gázokat tartalmazhat. A hideg zóna a telephely biztonságos része, ahol a dokumentációt, az eszközöket és a hívásokat intézed. A jármű oldalán vagy a szélvédőre ragasztott QR-kód a gyártói mentési adatlapra mutat; ezen a lapon a gyártó az ISO 17840 jelkulcsa szerint jelöli a HV-akkumulátort és a nagyfeszültségű kábeleket, a légzsákokat és gázgenerátorokat, és egyértelműen megadja a 12 V-os akkumulátor és a HV-leválasztó helyét.



34.11. ábra. Veszélyzónák egy sérült HV-jármű körül, szélirány és karanténhely (nem méretarányos, tanulási távolságok)

A felülnézeti vázlaton a jármű körül a forró (kb. 1–2 m) és a meleg (kb. 5–10 m) zóna látható; a hideg zónában történik a dokumentálás, a 112-hívás és a mentési adatlap lekérése, a járművet a szél felől közelítjük meg. A HTML-változat a következő eljárás hat lépésén mutatja, ki hol áll és mit tesz.

Az alábbi folyamatábra egy sérült HV-jármű észlelésekor követendő alapgondolatot mutatja. A konkrét sorrend mindig a gyártói adatlaptól, a tűzoltásvezetőtől és a hatályos munkavédelmi szabályzattól függ.



34.12. ábra. Sérült HV-jármű kezdeti kezelésének lépései - Szemléltető folyamatábra; a konkrét sorrendet a gyártói mentési adatlap, a tűzoltóság és a hatályos előírás határozza meg.

A diagramon egy irányított lépéssor látható: először a zóna lezárása és a tűzjelzők megfigyelése, majd a szükség szerinti riasztás, azután a jármű azonosítása és a gyártói adatlap felhasználása. Az áramtalanítás csak jogosultra tartozik; ha a jármű nem mutat közvetlen tűz- vagy gázjelet, a hőmérséklet-megfigyelés és a karanténba helyezés következik. A legvégén a dokumentálás, a szállítás és a hulladékkezelés zárja a folyamatot.

34.4.3. Definíciók

Definíció. Sérült HV-jármű: olyan hibrid vagy elektromos jármű, amelynek nagyfeszültségű akkumulátora vagy HV-villamos berendezése ütközés, tűz, vízbehatolás, túltöltés vagy súlyos műszaki hiba miatt mechanikailag, termikusan vagy villamosan károsodott, vagy ésszerűen feltételezhető, hogy károsodott.

Definíció. Hőmegfutás (thermal runaway): a lítiumion cellában öngyorsuló, exoterm kémiai folyamat, amelyben a cella belső hőmérséklete gyorsan növekszik, a cella megduzzad vagy kinyílik, gyúlékony elektrolitgőzt és mérgező gázokat bocsát ki, a hő pedig átterjedhet a szomszédos cellákra.

Definíció. Mentési adatlap (rescue sheet): a jármű gyártója által készített, az ISO 17840 szerinti (ellenőrizendő: az ISO 17840 hatályos kiadása) műszaki információs lap, amely a jármű típusához kötötten ábrázolja a HV-akkumulátor, a HV-vezetékek, a leválasztási pontok, a légzsák- és övfeszítő egységek, a 12 V-os akkumulátor, valamint a karosszéria vágási zónáinak helyét.

Definíció. Karanténtárolás: a sérült vagy gyanús HV-jármű elkülönített, tűzbiztos, szellőztetett, megfigyelhető helyen való elhelyezése, ahol a visszagyulladás vagy a késleltetett hőmegfutás kockázatát a többi járműtől és az éghető anyagoktól való távolság csökkenti.

Összefüggés. A hőmegfutás esélye nem szűnik meg azonnal a láng elfojtása után. A cellák belsejében a kémiai reakció tovább folyhat, ezért a járművet visszagyulladásig hűteni és megfigyelni kell. Ezt használjuk a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben is.

34.4.4. Sérült HV-jármű és -akkumulátor kezelése: eljárás

Gyakorlat (eljárás). Az alábbi számozott lépések tanulási céllal mutatják be a sérült HV-jármű első kezelését. A munkát csak a gyártói javítási és mentési utasítás szerint, a munkáltatói kockázatértékelés alapján, jogosult személy végezheti.

1. **Veszélyzóna és jelzők.** Zárd le a jármű környezetét; ne hajolj a töltőcsatlakozó, a padlólemez vagy a kerékjárati ívek fölé. Figyelj füstöt, hőt, sziszegést, recsegést, pattanást, valamint savanykás, oldószeres vagy gyümölcsös szagot.
2. **Riasztás.** Ha tüzet, füstöt, erős hőt vagy gázképződést észlelsz, hívd a tűzoltóságot (112), és pontosan mondd el, hogy elektromos/hibrid járműről van szó, mert az oltási taktika más.
3. **Jármű azonosítása.** Olvasd le a rendszámot, alvázszámot, a típust és a hajtás jelölését (EV, PHEV, HEV). Keresd a mentési adatlapot a járműben vagy online a gyártói adatbázisban. A lapon jelölt komponensek segítenek a döntésben.
4. **Biztonságba helyezés.** Ékeld a kerekeket, működtessd a rögzítőféket, ha lehetséges, a váltót/bekapcsoló egységet tedd P vagy N állásba a gyártó szerint, és távolítsd el az indítókulcsot/okostelefont a gyártói adatlapon megadott távolságra (ellenőrizendő). Helyezz ki „HV – tilos megközelíteni” jelzést.
5. **Áramtalanítás csak jogosult által.** A 12 V-os akkumulátor lekötését és a HV-szervizcsatlakozó eltávolítását csak a gyártói eljárásra kiképzett, jogosult személy végezheti, a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezetben tanult feszültségmentesítési lépések szerint. A tanuló maga nem nyúljon a narancssárga HV-kábelekhez.
6. **Megfigyelés és dokumentálás.** Hőkamerával vagy infrahőmérővel figyeld a jármű hőmérsékletét; fényképezd a sérüléseket; töltsd ki a munkalapot. A megfigyelést akkor is folytatni kell, ha a jármű látszólag nyugodt.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

34.4.5. Hőmegfutás jelei és az akkumulátortűz

Figyelem. A hőmegfutás első jelei nem mindig lángok. Gyakori jelek: a jármű padlólemezének vagy küszöbének felpúposodása; a HV-akkumulátorház repedése; sziszegő, sercenő, pukkanó hang; fehér vagy sötét füst; savanykás, gyümölcsös, oldószeres szag; a jármű hirtelen felmelegedő pontjai. Ha ebből bármelyiket észleled, ne nézd közelről, hanem zárd le a területet és riassz.

Figyelem. A lítiumion akkumulátorból származó égéstermékek és bomlásgázok – például szén-monoxid, hidrogén-fluorid, foszfor-oxifluorid és elektrolitgőzök – belélegezve súlyos egészségkárosodást okozhatnak. A tűzoltók a munkát megfelelő légzésvédelemmel végzik; te ne próbálj „csak bekukkantani”. A műhelyben használt félmaszk vagy szűrőbetét nem véd minden gáz ellen.

Tilos. A HV-akkumulátortűz oltását kioktatatlan személy ne kezdje meg; a kézi porral oltó készülék általában nem alkalmas a cellacsomag mélyén zajló hőtermelés megállítására. Tilos a sérült akkumulátorházat megbontani, a cellákat kiszúrni, vagy a járművet zárt, szellőzetlen csarnokba behúzni, amíg a tűzveszélyt ki nem zárták.

HV-biztonság. A sérült HV-járművön a narancssárga jelölésű, több száz volt egyenfeszültségű rendszer sérülése áramütést, ívkisülést és égést okozhat. A tűzoltás során a víz ugyan csökkentheti a szigetelést, de a tűzoltói gyakorlatban a nagy mennyiségű víz hűtőhatása az elsődleges; a beavatkozást a tűzoltók végzik, feszültség alatti közegre vonatkozó szabályaik szerint. A

javítóműhelyi személyzet csak a gyártói feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése után, jogosultság birtokában dolgozhat a rendszeren.

Példa (hőelvonás). Egy 60 kWh-s akkumulátor tárolt villamos energiája 60 kWh·3,6 MJ/kWh = 216 MJ. Tegyük fel, hogy csak ennyi hőt kell vízzel elvonni (tanulási példa; a valóságban a hőmegfutásnál ehhez a cellák és a jármű anyagainak égéshője is hozzáadódik). Számítsd ki, körülbelül hány liter 20 °C-os vizet kellene teljesen elpárologtatni, ha a víz fajhője 4,18 kJ/(kg·°C), párolgáshője pedig 2260 kJ/kg.

Számítás.

Adott: $Q_{\text{elvonandó}} = 216\,000\,\text{kJ}$, $c_{\text{v}} = 4{,}18\,\text{kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$, $L = 2260\,\text{kJ/kg}$, a víz sűrűsége $\rho \approx 1\,\text{kg/l}$. Keresett: a víz tömege m.

Egy kilogramm 20 °C-os víz melegítése 100 °C-ig:

$$Q_{\text{melegítés}} = c_{\text{v}} \cdot 1\,\text{kg} \cdot 80\,^\circ\text{C} = 4{,}18 \cdot 80 = 334{,}4\,\text{kJ}.$$

Egy kilogramm 100 °C-os víz elpárologtatása:

$$Q_{\text{párolgás}} = L \cdot 1\,\text{kg} = 2260\,\text{kJ}.$$

Egy kilogramm víz összes hőelvonása:

$$Q_{1\text{ kg}} = 334{,}4 + 2260 = 2594{,}4\,\text{kJ} \approx 2{,}6\,\text{MJ}.$$

A szükséges tömeg:

$$m = \frac{216\,000\,\text{kJ}}{2594{,}4\,\text{kJ/kg}} \approx 83\,\text{kg}.$$

Ez kb. 83 liter víz, ha a víz 20 °C-ról forr fel, és teljesen elpárolog. ∎

Megjegyzés. A gyakorlatban ennél nagyságrendekkel több vízre van szükség: a cellák és a jármű anyagainak égéshője a tárolt energiánál is nagyobb lehet, a víz nagy része nem párolog el, és a tűzoltók ezért több ezer liter vízzel hűtenek (ellenőrizendő: tűzoltói szakirodalom). Emellett a cella belsejében keletkező hő egy része a környezetbe távozik, a víz nem mind éri el a forrpontot, és a hőtermelés folyamatos. A tűzoltók célja ezért a hűtés, a hőmérséklet csökkentése, nemcsak a láng elfojtása.

34.4.6. Mentési adatlap és járműazonosítás

A mentési adatlap nem helyettesíti a szerelői dokumentációt, hanem a gyors, baleseti helyszíni döntést segíti. A jármű azonosítása után a gyártó online adatbázisában vagy a fedélzeti QR-kódból elérhető lapon ellenőrizd:

- a HV-akkumulátor elhelyezkedését (padló alatt, csomagtérben, ülés alatt),
- a nagyfeszültségű kábelek futását,
- a HV-szervizleválasztó és a 12 V-os akkumulátor leválasztási pontjait,
- a légzsák- és övfeszítő egységek, gázgenerátorok helyét,
- a karosszéria azon részeit, ahová a mentéskor nem szabad vágni,
- a gyártó által megadott oltási vagy vízbe merítési utasításokat.

Előírás (szabvány/gyártói adat). A mentési adatlapokra vonatkozó nemzetközi műszaki leírást az ISO 17840 sorozat adja (ellenőrizendő: az ISO 17840 hatályos kiadása és a gyártói kötelezettség köre). A lapot a jármű gyártója a mentő- és tűzoltó szervezetekkel együttműködve dolgozza ki; a műhelyi dolgozó a hibajavítás során ezt kiegészítésként használja, de a javítási műveleti utasítást a gyártói diagnosztikai és szervizdokumentációból kell venni.

34.4.7. Szállítás és karanténtárolás

Szállítás. A sérült HV-jármű szállítása nem egyszerű autómentési feladat. A járműben lévő, sérült lítiumion akkumulátor a veszélyes áruk közúti szállításáról szóló ADR hatálya alá tartozhat (ellenőrizendő: az ADR aktuális kiadása és a vonatkozó UN-számok). Az ép, járműbe épített akkumulátor bizonyos engedményekkel szállítható, a sérült vagy hibás akkumulátor azonban szigorúbb csomagolási, jelölési és dokumentációs követelményeket kaphat.

A szállítás előtt a jármű HV-rendszerét a gyártó szerint feszültségmentesíteni kell; ezt csak jogosult személy végezheti. A járművet tréleren vagy megfelelően rögzítve kell szállítani, a hajtott kerekeket nem szabad a talajon forgatni, mert az inverterben indukált feszültség keletkezhet, és a rendszer károsodhat (ellenőrizendő: a jármű gyártójának vontatási utasítása). A szállítás alatt a járművet hőmérséklet-figyeléssel kísérni, és a vontató járművön megfelelő tűzoltó készüléket kell tartani.

Karanténtárolás. A sérült HV-járművet a műhelyben vagy a bontóban nem szabad közvetlenül az általános papír- és olajtároló mellett, zárt, nem szellőztetett csarnokban, vagy más járművek centiméteres közelségében elhelyezni.

Szabály (munkahelyi karantén). Tárold a sérült HV-járművet lehetőleg szabadban vagy külön tűzszakaszban, éghető anyagoktól legalább 5–10 méterre (tanulási példa, ellenőrizendő: tűzoltói eljárásrend), sík, nem éghető, az oltóvíz összegyűjtését lehetővé tevő aljzaton, rögzítve (kerékékkel), szélirány felőli megközelítéssel. A terület legyen megfigyelhető, lehetőleg hőérzékelővel vagy hőkamerával felügyelve. A tárolási idő alatt a jármű hőmérsékletét rendszeresen ellenőrizni kell. A konkrét távolságot és a megfigyelési időt a gyártó, a biztosító és a munkáltatói kockázatértékelés határozza meg (ellenőrizendő: gyártói adat és helyi előírás).

Megjegyzés. A sérült HV-akkumulátor kiszerelése után a tárolás elkülönített, nem éghető, fedett, szellőztetett helyen, hőálló tárolóban történjen; a tároló legyen lezárható, jelölt és a tűzoltóság számára ismert. A cellákat tilos egymásra dobálva, mechanikailag sérülten tárolni.

34.4.8. Akkumulátor-újrahasznosítás, második élet és gyártói visszavétel

A hajtásból kiöregedett, de még nem sérült HV-akkumulátor nem kommunális hulladék. A gyártó vagy a megbízott gyűjtő-hálózat köteles visszavenni, a feldolgozó pedig a lítiumot, kobaltot, nikkelt és más anyagokat visszanyerni. Ezt a területet az Európai Unióban az új akkumulátor-rendelet (ellenőrizendő: az EU 2023/1542 rendelet hatályos szövege és a magyar végrehajtási jogszabályok) és a hulladékokra vonatkozó hazai előírások szabályozzák.

Definíció. Második élet (second life): a hajtásra már nem alkalmas, de tárolásra még használható HV-akkumulátor olyan utóhasznosítása, amelyben álló energiatárolóként, áthidaló tárolóként vagy más, alacsonyabb igénybevételű feladatra alkalmazzák. A második életű alkalmazást gyártói vizsgálatnak, engedélynek és a biztonsági követelményeknek kell megelőznie.

Környezetvédelem. A sérült HV-akkumulátor veszélyes hulladéknak minősülhet, ezért gyűjtése, tárolása és szállítása a veszélyes hulladékra vonatkozó nemzeti előírások szerint történik (ellenőrizendő: a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény és a veszélyes hulladékokra vonatkozó végrehajtási rendelet). Tilos a sérült akkumulátort, az elektrolitmaradékot, az oltóvizet vagy az azzal szennyezett rongyot a kommunális hulladékba, csatornába vagy élővízbe juttatni. Az akkumulátort tilos feltörni, összepréselni, fúrni vagy nyílt lánggal hevíteni.

Előírás (uniós akkumulátor-szabályozás). Az akkumulátorok teljes életciklusát, gyűjtését, újrahasznosítási hatékonyságát, az újrahasznosított anyagok felhasználását és a gyártói kiterjesztett felelősséget az EU akkumulátor-rendelet írja elő (ellenőrizendő: az EU 2023/1542 rendelet és

a hatályos magyar végrehajtási jogszabályok). A járműipari HV-akkumulátorokra külön gyűjtési és újrahasznosítási célok vonatkoznak, a pontos értékek és határidők jogszabályban rögzítettek, ezért azokat a kiadás előtt ellenőrizni kell.

Valós eset. Egy villanyműhelybe délután érkezik egy balesetes elektromos autó. A műszaki átvevő a küszöbnél 70 °C-ot mér, miközben a környező autók 25 °C-osak; a padlólemez alól savanykás szag jön. A kolléga azonnal kiüríti a csarnokrészt, lezárja a veszélyzónát, hívja a tűzoltókat, és a gyártói mentési adatlapot átadja nekik. A jármű kimozgatásáról a tűzoltásvezető dönt. A tűzoltók hőkamerával megállapítják, hogy egy cellacsoport folyamatosan melegszik; a járművet elárasztják vízzel, majd a gyártói utasítás szerint 48 órára karanténba helyezik. A tanulság: a hőmérséklet-különbség és a szag már a láng megjelenése előtt jelezte a hőmegfutás kockázatát.

34.4.9. Tipikus hibák

Hiba. Azt gondolni, hogy ha nincs láng, nincs veszély. A hőmegfutás füst és hő formájában, késleltetve is jelentkezhet, ezért a sérült akkumulátort nem szabad felügyelet nélkül hagyni.

Hiba. A HV-akkumulátortűz oltását kézi poroltóval vagy a csomagtérbe beöntött kevés vízzel próbálni. A hő a cellacsomag belsejében termelődik; a megoldás a nagy mennyiségű, tartós hűtés, a jármű alulról való elárasztása és a tűzoltói beavatkozás.

Hiba. A sérült elektromos járművet más autók közé, zárt csarnokba állítani, vagy a bontott akkumulátort hagyományos raktárpolcra tenni. A visszagyulladás kockázata miatt a járművet és az akkumulátort elkülönített, tűzbiztos karanténban kell tárolni, amíg a gyártói ellenőrzés meg nem erősíti a biztonságos állapotot.

Hiba. A 12 V-os akkumulátor lekötését vagy a HV-szervizcsatlakozó leválasztását jogosulatlanul, a gyártói eljárás ismerete nélkül elvégezni. Ez áramütéshez, ívkisüléshez, a vezérlő károsodásához vezethet, és érvényteleníti a biztosítói kárfelvételt.

34.4.10. Önellenőrzés

Válaszolj röviden, majd hasonlítsd össze a Megoldások elején lévő válaszokkal.

1. Igaz vagy hamis? A lítiumion akkumulátor hőmegfutása csak akkor veszélyes, ha már lángol. Indokold röviden.
2. Sorolj fel legalább négy jelet, amely hőmegfutásra utalhat.
3. Mennyi hőt von el 1 kg 20 °C-os víz, ha 100 °C-ra melegszik, és elpárolog? Fajhő 4,18 kJ/(kg·°C), párolgáshő 2260 kJ/kg. Add meg kJ-ban.
4. Miért nem szabad a sérült HV-járművet szorosan más autók mellé, zárt csarnokba állítani?
5. Milyen sorrendben hajtanád végre az első intézkedéseket, ha egy sérült elektromos jármű sziszegett a padló alatt?
6. Mi a különbség a mentési adatlap és a javítási műveleti utasítás felhasználása között?

34.4.11. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg a hőmegfutás és a karanténtárolás definícióját saját szavakkal, a könyvben megadott értelemben.

2. feladat (A). Számítsd ki, körülbelül hány liter 20 °C-os vizet kell teljesen elpárologtatni ahhoz, hogy egy 40 kWh-s akkumulátor tárolt energiájának megfelelő hőt (40 kWh · 3,6 MJ/kWh = 144 MJ) vonj el. Fajhő 4,18 kJ/(kg · °C), párolgáshő 2260 kJ/kg.

3. feladat (B). Sorold fel, milyen információkat kell keresned a gyártói mentési adatlapon, mielőtt egy sérült HV-jármű közelében bármilyen munkát végeznél.

4. feladat (B). Egy elektromos autó a telephelyre érkezik; a műszerfalon nincs hibajelzés, de a padló alól savanykás szag jön, és a hőkamera a bal küszöbnél 65 °C-ot mutat. Állítsd helyes sorrendbe: karanténba helyezés, tűzoltók riasztása, jármű azonosítása, veszélyzóna lezárása, hőmérséklet-megfigyelés, jogosult általi feszültségmentesítés (ha a gyártó szerint szükséges).

5. feladat (C). Magyarázd el, miért nem elegendő egy kézi porral oltó készülék a HV-akkumulátor tüze esetén, és miért a víz a leggyakoribb hűtőközeg a tűzoltói gyakorlatban annak ellenére, hogy a víz elektromosan vezető anyag.

6. feladat (D). Egy bontóudvaron egy kiszerelt, sérült HV-akkumulátort helyeznek el egy fa raklapon, a fedett szín alatt, közvetlenül a farakás mellett. A munkavezető szerint „majd holnap elviszik”. Milyen hibákat követtek el, és milyen helyes tárolási, jelölési és hulladékkezelési lépéseket kell megtenni?

34.4.12. Megoldások

34.4.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A hőmegfutás hőtermeléssel, gázképződéssel, sziszegéssel és füsttel már a láng előtt elkezdődhet; a veszély nem szűnik meg attól, hogy nincs nyílt láng.
2. Hő, füst, sziszegő/recsegő hang, savanykás/gyümölcsös szag, a padló/küszöb felpúposodása, a ház repedése.
3. $334{,}4 + 2260 = 2594{,}4\,\text{kJ} \approx 2{,}6\,\text{MJ}$.
4. Mert a hőmegfutás és a visszagyulladás késleltetve is kialakulhat; a zárt tér és a többi jármű közelsége növeli a tűzterjedés kockázatát, és nehezíti a hűtést/mentést.
5. Veszélyzóna lezárása, füst/hő/szag megfigyelése; tűzoltók riasztása; a jármű azonosítása és a mentési adatlap lekérése; a 12 V-os akkumulátor és a HV-szervizcsatlakozó leválasztása csak jogosult által; hőmérséklet-megfigyelés; karantén; dokumentálás.
6. A mentési adatlap a gyors helyszíni mentéshez adja meg a veszélyes komponensek helyét és a vágási zónákat; a javítási műveleti utasítás a szerelői munka részletes lépéseit, nyomatékait, méréseit és biztonsági eljárásait tartalmazza. Mindkettő gyártói, de eltérő célt szolgál.

34.4.12.2. 1. feladat (A) megoldása

A hőmegfutás a lítiumion cellák öngyorsuló, exoterm kémiai folyamata, amely során a cella belső hőmérséklete gyorsan nő, a cella megduzzad vagy kinyílik, gyúlékony elektrolitgőzt és mérgező gázokat bocsát ki, és a hő átterjedhet a szomszédos cellákra. A karanténtárolás a sérült vagy gyanús HV-jármű elkülönített, tűzbiztos, szellőztetett, megfigyelhető helyen való elhelyezése a visszagyulladás kockázatának csökkentésére.

34.4.12.3. 2. feladat (A) megoldása

Adott: $Q = 144\,\mathrm{MJ} = 144\,000\,\mathrm{kJ}$, $c_{\mathrm{v}} = 4{,}18\,\mathrm{kJ/(kg \cdot ^\circ C)}$, $L = 2260\,\mathrm{kJ/kg}$, $\Delta T = 80\,^\circ\mathrm{C}$. Keresett: m (kg).
Egy kilogramm víz hőelvonása:

$$Q_{1\ \mathrm{kg}} = 4{,}18 \cdot 80 + 2260 = 334{,}4 + 2260 = 2594{,}4\,\mathrm{kJ}.$$

Szükséges tömeg:

$$m = \frac{144\,000}{2594{,}4} \approx 55{,}5\,\mathrm{kg}.$$

Mivel a víz sűrűsége kb. 1 kg/l, ez kb. 56 liter víz. A valós oltóvízigény ennek sokszorosa. ∎

34.4.12.4. 3. feladat (B) megoldása

A mentési adatlapról keresd: a HV-akkumulátor elhelyezkedését; a nagyfeszültségű kábelek futását; a HV-szervizleválasztó és a 12 V-os akkumulátor leválasztási pontjait; a légzsák- és övfeszítő egységek helyét; a vágási zónákat és azokat a karosszériarészeket, ahová nem szabad vágni; továbbá a gyártó oltási, hűtési vagy vízbe merítési ajánlásait.

34.4.12.5. 4. feladat (B) megoldása

Helyes sorrend: (1) veszélyzóna lezárása, (2) tűzoltók riasztása, (3) jármű azonosítása és mentési adatlap lekérése, (4) hőmérséklet-megfigyelés, (5) ha a gyártó előírja, jogosult általi feszültségmentesítés, (6) karanténba helyezés. A feszültségmentesítést nem szabad a tűzoltás helyett végrehajtani, ha közvetlen tűz vagy gázképződés van.

34.4.12.6. 5. feladat (C) megoldása

A porral oltó készülék elsősorban a lángot fojtja el, de nem hűti le a cellacsomag belsejét, ezért a kémiai hőtermelés és a visszagyulladás kockázata megmarad. A víz nagy fajhője és nagy párolgáshője miatt nagyon sok hőt képes elvonni: 1 kg víz elpárologtatása kb. 2,6 MJ hőt von el. A víz vezetőképessége valódi kockázat, ezért a tűzoltók megfelelő távolságból, szakaszosan vagy elárasztással alkalmazzák, és a műveletet a gyártói adatlap, a helyszíni körülmények és a tűzoltási szabályok szerint irányítják. A cél a hőmérséklet csökkentése, nem a cellák elektromos szempontú hűtése.

34.4.12.7. 6. feladat (D) megoldása

Hibák: a sérült HV-akkumulátor éghető anyagok (fa raklap, farakás) közelében való elhelyezése; fedett, de szellőzés nélküli színben való tárolás; az elszállítás halogatása; a hiányzó jelölés és elkülönítés; a hulladékkezelési előírások figyelmen kívül hagyása. Helyes eljárás: a területet le kell zárni, a hőmérsékletet megfigyelni; az akkumulátort nem éghető, hőálló, szellőztetett tárolóba kell helyezni, legalább a környező éghető anyagoktól és más járművektől való biztonságos távolságra; a tárolót jelölni kell; a veszélyes hulladékot a gyártó vagy a kijelölt gyűjtő-hálózat részére kell átadni, a hulladékkísérő dokumentumok kitöltésével; a munkavégzést a veszélyes hulladékokra vonatkozó hatályos előírások szerint dokumentálni kell (ellenőrizendő: a hulladékjogszabályok és a gyártói visszavételi utasítás).

34.4.13. Rövid összefoglaló

A sérült hibrid vagy elektromos jármű kezelése során a legfontosabb, hogy a hőmegfutás jeleit – hő, füst, sziszegés, savanykás szag, deformáció – már a láng előtt felismerd, és a veszélyzónát lezárva a tűzoltóságot riaszd. A gyártói mentési adatlap (ISO 17840 szerint; ellenőrizendő) mutatja a HV-akkumulátor, a nagyfeszültségű kábelek, a leválasztó és a légzsákok helyét. Az áramtalanítás csak jogosult személy feladata; a járművet nem szabad zárt, éghető anyagokkal teli csarnokba vagy más autók szorosan mellé állítani. A tűz oltása nagy mennyiségű vízzel, a hő elvonásával történik; a visszagyulladás kockázata miatt a járművet karanténban, hőmérséklet-megfigyelés mellett kell tárolni. A kiszerelt, sérült akkumulátor veszélyes hulladék, gyűjtése és szállítása az ADR és a hulladékjogszabályok, újrahasznosítása az EU akkumulátor-rendelet szerint történik (ellenőrizendő). A második élet csak gyártói vizsgálat és engedély után jöhet szóba.

Továbbvitt eredmény. A sérült HV-jármű kezelésének lépéseit – veszélyzóna, riasztás, azonosítás, jogosult általi feszültségmentesítés, megfigyelés, karantén, dokumentáció – a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben vizsgafeladatként is alkalmazni fogjuk.

34.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói mentési adatlapok és javítási utasítások; ISO 17840 szabványsorozat (ellenőrizendő: hatályos kiadás); az ADR veszélyes áruk közúti szállításáról szóló európai megállapodás (ellenőrizendő: aktuális kiadás és UN-számok); a hulladékról szóló magyar törvény és a veszélyes hulladékra vonatkozó jogszabály (ellenőrizendő: hatályos szöveg); az EU akkumulátor-rendelet (ellenőrizendő: az EU 2023/1542 rendelet hatályos változata és a magyar végrehajtási jogszabályok). Az alfejezetben szereplő fizikai állandók (a víz fajhője, párolgáshője) általánosan elfogadott tanulási adatok, de a hőelvonási példákban a hőmennyiség a tárolt villamos energiából számolt szemléltető érték, nem mért hatósági adat.

IX. RÉSZ – Járműkarbantartás, hatósági vizsgálat és diagnosztika

35 Járműkarbantartás és dokumentáció

35.1. Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok

35.1.1. Motiváció

A szervizben szinte minden munka a jármű azonosításával kezdődik. Ha egy ügyfél fékbetétet, vezérlést vagy éppen lambdaszondát kér, az első kérdés nem az, hogy „mi a baja?”, hanem az, hogy pontosan milyen jármű áll előttünk. Ugyanabból a modellből – például egy népszerű alsó-középkategóriás autóból – egyetlen évjáraton belül is több féktárcsa-, futómű- és motorváltozat létezik. Ha a szerelő a típusnév alapján rendel alkatrészt, és nem ellenőrzi az alvázszámot, a motorkódot és a felszereltségi kódokat, könnyen előfordulhat, hogy a megrendelt alkatrész nem illik a járműre, vagy a javítási utasítás a rossz fedélzeti hálózatra vonatkozik.

A járműazonosítás ezért nem papírmunka, hanem a hibátlan szerelés és a biztonságos közúti üzemeltetés alapfeltétele.

35.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy átvizsgálásra érkező használt személygépkocsit. A szélvédő alsó sarkában, a műszerfal felől leolvasható a 17 karakterből álló alvázszám; ugyanezt a számot a B-oszlop vagy a küszöb alatti matrica is tartalmazza. A motortérben a toronycsapágy közelében vagy a hűtőmaszk mögött található a gyári típustábla, amelyen a típusjóváhagyási szám, a megengedett tengelyterhelések és a járműazonosító szám szerepel. A motor tetején vagy oldalán a motorkód betű–szám kombinációja, néha pedig a motor egyedi gyári száma is ott van. A szervizasztalon mellette fekszik a forgalmi engedély, amelynek adatait össze kell hasonlítani a járművön látottakkal. A szerelő ezekből a forrásokból kiindulva keresi meg a gyártói vagy márkafüggetlen adatbázisban az adott járműhöz tartozó javítási utasítást, beállítási értékeket és kapcsolási rajzot.

35.1.3. Definíciók és azonosítórendszerek

Definíció. A **járműazonosító szám**, más néven alvázszám (VIN, Vehicle Identification Number) a jármű egyedi, 17 karakterből álló azonosítója, amelyet a gyártó a járművön több helyen is feltüntet. A VIN három nagyobb szerkezeti részből áll: a gyártó-azonosító (WMI), a járműleíró szakasz (VDS) és a jármű-azonosító szakasz (VIS). A WMI az első 3 karakter, a VDS a 4–9. karakter, a VIS pedig a 10–17. karakter. A 10. karakter a modellévkód, a 11. karakter sok gyártónál a gyártóüzemet, a 12–17. karakter pedig a gyártási sorszámot jelöli.

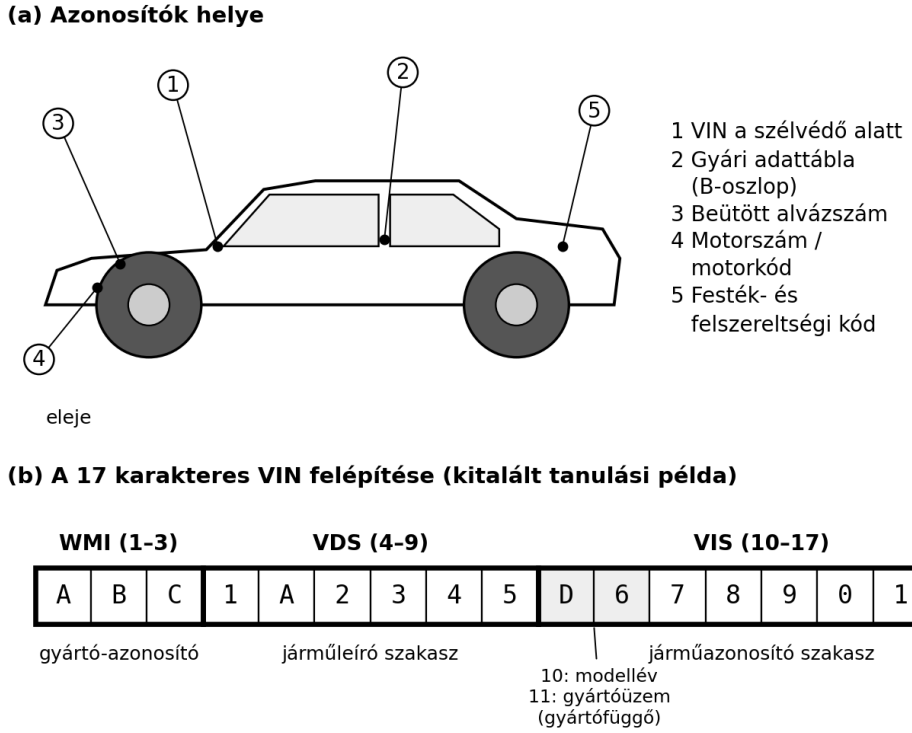
Definíció. A **motorkód** a motor szerkezeti változatát, furat–löket arányát, befecskendezési és kipufogógáz-utókezelési kialakítását, teljesítménylépcsőjét azonosító gyártói kód. A **motorszám** ezzel szemben általában a motor egyedi példányszáma. Újabb járműveken gyakran nincs külön, a motorblokkba ütött motorszám; a motoron csak matrica vagy vonalkód található, a pontos adatot pedig a gyártói adatbázisból lehet kinyerni.

Definíció. A **típustábla** a gyártó által elhelyezett, általában a B-oszlopon vagy a motortérben lévő adattábla, amely a jármű típusjóváhagyási számát, VIN-jét, megengedett össztömegét, tengelyterheléseit, vontatható tömegeket és műszaki alapadatait tartalmazza. A **típusbizonyítvány** a típusjóváhagyás hatósági dokumentuma, amelyben a gyártó és a hatóság rögzíti a járműtípus műszaki jellemzőit, kategóriáját, motor- és hajtásadatait, tömeg- és méretadatait, valamint az érvényes kibocsátási előírásokat.

A VIN felépítését az alábbi táblázat foglalja össze egy kitalált tanulási példán.

Szakasz	Pozíció	Tartalom	Tanulási példa
WMI	1–3	Gyártó-azonosító (világkód)	ABC
VDS	4–9	Járműleíró szakasz: típus, karosszéria, motor- és biztonsági jellemzők	1A2345
VIS	10	Modellévkód	D (2013)
VIS	11	Gyártóüzem kódja	6
VIS	12–17	Gyártási sorozatszám	789012

Az értékek tanulási példák, nem valós járműhöz tartoznak (ellenőrizendő: ISO 3779, ISO 3780 szerinti pontos felépítés).



35.1. ábra. A VIN és a további azonosítók helye a járművön, valamint a VIN felépítése

Az ábra (a) része megmutatja, hol keressük a szélvédő alatti VIN-t (1), a gyári adattáblát (2), a beütött alvázszámot (3), a motorszámot vagy motorkódot (4) és a festék- és felszereltségi kódot (5); a pontos helyek típusfüggők. A (b) rész a fenti táblázat mintaszámát bontja WMI, VDS és VIS részre.

Szabály. A VIN-ben az I, O és Q betűk nem használhatók, mert a számjegyekkel összekeverhetők (ellenőrizendő: hatályos ISO-előírás). A leolvasás után a VIN-t karakterenként össze kell hasonlítani a forgalmi engedélyben és az adatbázisban szereplő számmal. A szervizben a legfontosabb, hogy a munkalapra a VIN, a motorkód és a felszereltségi kódok pontosan kerüljenek fel, mert ezekből dolgozik később az alkatrész-keresés, a diagnosztika és a kapcsolási rajz kiválasztása.

35.1.4. Adatbázisok és a velük végzett munka

Definíció. A **márkafüggetlen adatbázis** olyan számítógépes, előfizetéses rendszer, amely több gyártó járművéhez tartalmaz javítási, karbantartási, beállítási, alkatrész- és kapcsolási rajzadatokat. A **gyári adatbázis** ezzel szemben egyetlen járműgyártó saját, teljes körű adatbázisa, amely a gyártói alkatrész-azonosítókat, javítási utasításokat, kódolási és kalibrációs eljárásokat is tartalmazza. A szervizben a gyártói adat a mérvadó; a márkafüggetlen adatbázis elsősorban az áttekintést, az összehasonlítást és a gyors keresést segíti.

Az adatbázisból való adatkinyerés mindig ugyanazt a logikai sorrendet követi:

Eljárás – járműazonosítás és adatkeresés

1. Rögzítsd a VIN-t, a motorkódot, a váltókódot és a felszereltségi kódokat a munkalapon.
2. A VIN alapján az adatbázisban keresd ki a járművet.
3. Ellenőrizd a gyártási évet, a modellévet, a karosszériaváltozatot és a hajtásmódot.
4. Ha az adatbázis több motorkód-változatot kínál, a motortérben lévő motorkód- vagy gyártói matrica alapján válassz.
5. A felszereltségi kódok – például a PR-kódok – alapján az adatbázisban szűkítsd le a járművet: klíma, ESP, elektromos ablakemelők, fékváltozat, vontatóhorog.
6. Válaszd ki a keresett rendszert: futómű, fék, motorirányítás, fedélzeti hálózat.
7. Nyisd meg a javítási utasítást vagy kapcsolási rajzot, és ellenőrizd, hogy a dokumentum verziója, a motorkód és a felszereltségi feltétel egyezik-e a járművel.

A VIN alapú azonosítást már az Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai alfejezetben látott típus- és tömegadatokkal, a kapcsolási rajzok értelmezését pedig a(z) A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz alfejezetben tanult kapocsjelekkel és áramút-elvvel kötjük össze.

35.1.5. Gyártói alkatrész-azonosítás logikai sorrendje

Eljárás – alkatrész-keresés logikai sorrendje

1. Azonosítsd a járművet VIN alapján.
2. Keresd meg a járműhöz tartozó motorkódot, váltókódot és gyártási évjáratot.
3. Válaszd ki a főrendszert, például fékrendszer, futómű, motor hűtése.
4. Válaszd ki az alkatrészcsoportot, például első tárcsafék, betétkészlet.
5. Az adatbázisban szereplő felszereltségi kérdésekre válaszolj a járművön látott kódok alapján: például van-e elektronikus kopásjelző, van-e sportfutómű?
6. A megjelenített cikkszám mellé mindig ellenőrizd a gyártói cikkszámot, az érvényességi évjáratot és az esetleges alternatív alkatrészszámokat.
7. Ha az alkatrész biztonságot érintő, például fék, kormány vagy futómű, a gyártói javítási utasításban ellenőrizd az előírt új rögzítőelemek, kenőanyagok és meghúzási nyomatékok követelményeit is.

A nyomtatott katalógusok ma már ritkábbak. Elektronikus gyári katalógusban a cikkszám mellett gyakran robbantott ábra is megjelenik, amelyen a szerelő minden csavart, tömítést és rögzítőelemet azonosítani tud. Az ábrán való tájékozódáshoz ugyanaz a rajzolvasási képesség kell, mint a műszaki rajzoknál: először a fődarabot keressük, utána a hozzá tartozó kisebb alkatrészeket, a csatlakozó felületeket és a tömítéseket.

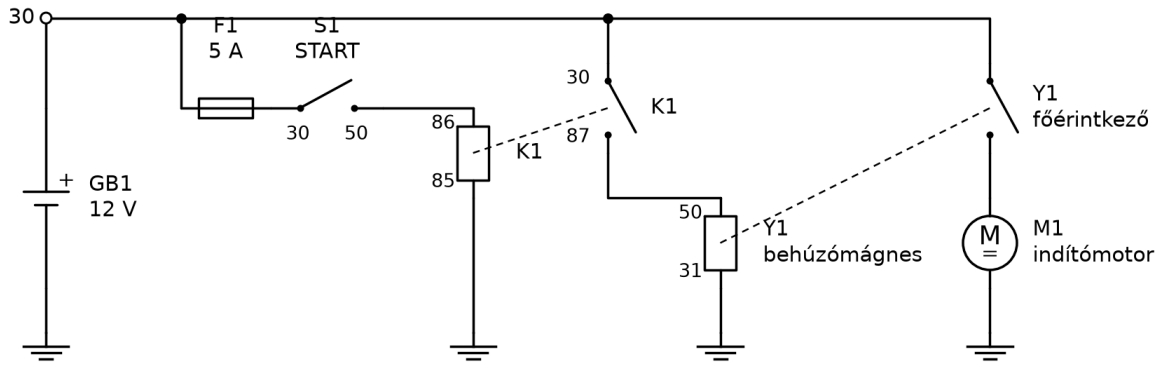
35.1.6. Kapcsolási rajzok és adatgyűjtemények használata

A gépjármű-villamossági rajz kiválasztása előtt mindig le kell ellenőrizni, hogy a rajz a megfelelő modellévre, motorkódra és felszereltségre vonatkozik. Ugyanazon típusnál a fedélzeti hálózat az évjárat, a motorváltozat és az extrák függvényében jelentősen eltérhet. A rajzon a fogyasztókat, reléket, biztosítókat, csatlakozókat és testpontokat a gyártó jelölési rendszere szerint azonosítjuk. A kapcsolási rajzon található kapocsjelek – például 30, 15, 31, 50, 87 – segítségével gyorsan megállapítható, hogy egy adott vezeték állandó pozitív, gyújtás utáni pozitív vagy testpont.

A gyártói rajzok gyakran tartalmazzák a vezetékek színkódjait, a csatlakozópontok fizikai helyét, a biztosítéktábla pozíciószámait és a testpontok koordinátáit. A hibakeresés során előbb a rajzon követjük végig az áramutat, azután a járművön mérünk feszültséget és feszültségesést.

Az alábbi egyszerűsített rajzrészlet egy adatbázisból kinyert indítórendszer-rajzot mutat be. A rajzon az akkumulátor pozitív pólusa a 30-as kapocsra, a negatív pólusa a testpontra köt. A 30-as fővezetékből egy vékonyabb vezérlőág megy az F1 biztosítón és az S1 gyújtáskapcsoló START-érintkezőjén át a K1 indítórelé 86-os kapcsára; a relétekercs 85-ös kapcsa testre zár. A K1 indítórelé munkaérintkezője (30–87) az M1 indítómotor Y1 mágneskapcsolójának 50-es kapcsát táplálja; a behúzómágnes zárja az indítómotor főáramkörét a 30-as kapocs felől, a több száz amperes indítóáramot tehát nem a kis relé, hanem a mágneskapcsoló főérintkezője kapcsolja. Az indítómotor háza testre köt.

Egyszerűsített indítórendszer-rajzrészlet



35.2. ábra. Egyszerűsített indítórendszer-rajzrészlet - Alapállapotú tanulási rajz; a K1 indítórelé csak a behúzómágnes 50-es kapcsát kapcsolja, a főáramot a Y1 mágneskapcsoló főérintkezője zárja. A bekötés gyártónként eltérő (ellenőrizendő: gyártói rajz).

A leolvasáshoz érdemes a(z) A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz alfejezetben tanultakat felidézni: minden fogyasztóhoz zárt áramút tartozik, és a kapocsszám a vezérlőelem állásától függően mutatja, hogy a vizsgált ponton mérhető-e feszültség a testhez képest.

35.1.7. Kidolgozott példa – VIN és alkatrészkeresés

Példa. Egy jármű VIN-je a szélvédő alatt: `ABC1A2345D6789012` (kitalált tanulási adat). A 10. karakter `D`, ami a modellévkód szerint a 2013-as modellévet jelöli; a 11. karakter `6` a gyártóüzem; a 12–17. karakter `789012` a gyártási sorozatszám. A forgalmi engedélyben a gyártási év 2013, a motorkód `CBZ`, a váltókód `MQ250` (kitalált adatok). A munkalapon ezeket tüntetjük fel, majd az adatbázisban az első fékbetét-keresésnél a felszereltségi kód jelzi az elektronikus kopásérzékelőt. Az adatbázis így az ESP-vel szerelt, kopásérzékelős változathoz tartozó `X-123/ESP` cikkszámot adja ki, míg az alapváltozathoz `X-123/STD` tartozna. A különbség a kopásjelző csatlakozójában és a fékbetét vezetékének bekötésében van.

Példa. Ugyanezen járműhöz típustábla szerinti első tengelyterhelés 1 050 kg, hátsó tengelyterhelés 940 kg, megengedett össztömeg 1 870 kg (kitalált, ellenőrizendő: gyártói adat). Az adatbázis futómű-keresőjében a tengelyterhelés és a sportfutómű kódja alapján választjuk ki a megfelelő lengéscsillapító-készletet. Ha a szerelő csak a típusnév alapján rendelne lengéscsillapítót, a kényelmes futóműhöz való csillapító kerülhetne a sportfutóműhöz, ami rontaná a menetstabilitást.

A fenti példák mutatják, hogy a járműazonosítás és a felszereltségi kódok nélkül a látszólag egyszerű alkatrészrendelés is hibához vezethet.

Továbbvitt eredmény. A VIN és a gyártói adatbázis alapján pontosan meghatározott motorkód, váltókód, felszereltségi kód és gyártói javítási adat a Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések, a Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása és a(z) A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga alfejezetekben lesz alapfeltétel. A téves azonosítás rossz alkatrészt, hibás diagnózist és hatósági eltérést okozhat.

35.1.8. Minőségellenőrzés – az azonosítás ellenőrzőpontjai

- A munkalapon szereplő VIN betűnként megegyezik a szélvédő alatti, a forgalmi engedélybeli és az adatbázisban szereplő számmal.
- A típustábla megengedett össztömege és tengelyterhelései a forgalmi engedéllyel összhangban vannak.
- A motorkód a motortérben lévő matricán vagy a gyártói adatbázisban ellenőrzött, nem kizárólag a forgalmi engedélyből feltételezett.
- A felszereltségi kódok – PR-kódok – alapján választott alkatrész cikkszáma a megfelelő évjáratra és felszereltségre vonatkozik.
- A kapcsolási rajz verziója, modelléve, motorkódja és felszereltségi feltétele a járművel azonos.
- A gyártói javítási utasításból kiolvasott meghúzási nyomaték, tömítőanyag és alkatrészminőség a gyártó aktuális utasításán alapul, nem az emlékezetből számított értéken.

35.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél egy használt, 2012-es alsó-középkategóriás autóval érkezik, amelynek szerinte elöl „húz” a fékje, és a szerelőtől új fékbetétet kér. A szerelő a szokásos rutinnal felírja a típusnevet, és a bolti katalógusból betétet rendel. A fékbetét azonban nem illik a nyeregre, mert a járműben a gyári felszereltség szerint nagyobb féktárcsával és más féknyereg-kialakítással szerelték. A hiba felfedezése után a szerelő a VIN alapján az adatbázisban kikeresteti a járművet. A motorkód és a fékrendszer felszereltségi kódja egyértelművé teszi, hogy az első féktárcsa átmérője 312 mm, nem 280 mm, és a nyereghez kopásjelzős betét tartozik. Az új, pontos cikkszám alapján rendelt

alkatrész már illik. A tanulság: a VIN-azonosítást mindig a típusnév és az évjárat megadása **előtt** kell elvégezni, mert a felszereltség döntheti el az alkatrészváltozatot.

35.1.10. Gyakorlati útmutató – járműazonosítás, adatkeresés és rajzkiválasztás

Cél: a jármű VIN-jének, motor- és felszereltségi adatainak rögzítése, az adatbázisból a javítási utasítás és a kapcsolási rajz megkeresése, valamint a keresett alkatrész cikkszámának azonosítása.

Jármű- és adatazonosítás: készítsd elő a forgalmi engedélyt, a munkalapot, a fényképezőgépet vagy telefont, és az adatbázis-hozzáférést. Az ügyfél személyes adatait csak a fogyasztóvédelmi és adatvédelmi előírásoknak megfelelően, a szükséges mértékig rögzítsd.

Szükséges eszközök: zseblámpa, tiszta rongy, fényképező, esetleg tükör az alvázon lévő VIN leolvasásához, valamint a járművön található azonosítók leolvasásához szükséges védőkesztyű. Ha a jármű alatt dolgozol, használj a gyártói emelési pontokon álló emelőt vagy bakot.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Jármű alá csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn, vagy bakra támasztva szabad bemenni; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos. Éles peremek, forró motor- és kipufogórendszer ellen viselj védőkesztyűt, és a munkaterületet tartsd tisztán.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: a leolvasáshoz használt tiszta rongyot olajos hulladékként kezeld; a papír alapú katalóguslapokat szelektíven gyűjtsd; a digitális adatbázis használata csökkenti a papírfelhasználást.

Munkalépések:

1. Rögzítsd a munkalapon az ügyfél nevét, a jármű hatósági jelzését, a kilométeróra-állást, az érkezés dátumát és a bejelentett hibát.
2. Ellenőrizd a forgalmi engedélyben a jármű gyártmányát, típusát, alvázszámát, motorszámát vagy motorkódját, színét és kategóriáját.
3. A szélvédő alatti VIN-t olvasd le kívülről; tisztítsd meg a felületet, és fényképezd le, hogy a karakterek jól láthatóak legyenek.
4. Nyisd ki a vezetőoldali ajtót, és keresd meg a B-oszlopon lévő típustáblát. Fényképezd le a típustáblát, különösen a típusjóváhagyási számot és a tömegadatokat.
5. Ha az alvázszámot az alváz merevítőlemezén is ellenőrizni kell, csak a gyártói emelési pontokon használt emelővel, bakra támasztva menj a jármű alá. Az alvázszám leolvasását mindig végezd kétszer, karakterenként.
6. A motortérben keresd meg a motorkódot, a váltókódot és a felszereltségi kódokat tartalmazó matricát. Ha a motorkód nem látható, a gyártói adatbázisban a VIN alapján is ellenőrizheted.
7. Hasonlítsd össze a járművön leolvasott VIN-t, tömeg- és kódadatokat a forgalmi engedéllyel. Bármilyen eltérés esetén állj meg, és jelezd az oktatónak vagy a művezetőnek.
8. Az adatbázisban indíts VIN-alapú keresést. Ellenőrizd, hogy a megjelenített modell, modellév, motorkód, váltókód és felszereltségi lista megegyezik a járművön találtakkal.
9. Keresd meg a szükséges javítási utasítást vagy kapcsolási rajzot. Ellenőrizd a dokumentum verzióját, a motorkódot és a felszereltségi feltételt.
10. Az alkatrész-keresőben a rendszer és az alkatrészcsoport kiválasztása után a felszereltségi kódoknak megfelelően válaszd ki a cikkszámot. A gyártói cikkszámot, az évjáratot és az alternatív alkatrészszámokat írd a munkalapra.

11. Ha a munka biztonsági alkatrészt, például fékrendszert vagy kormányberendezést érint, a javítási utasításban ellenőrizd a cserével együtt járó rögzítőelemek, kenőanyagok és nyomatékok előírásait.
12. Dokumentáld a felhasznált adatforrást, az alkatrész cikkszámát, a javítási utasítás azonosítóját és a kapcsolási rajz számát, hogy a munka nyomon követhető legyen.

Ellenőrzési pontok: a munkalap VIN-je 17 karakter, és nem tartalmaz I, O, Q betűt; a VIN a forgalmival és a járművön lévő számmal azonos; a motorkód a járművön vagy az adatbázisban ellenőrzött; a kiválasztott javítási utasítás modelléve, motorkódja és felszereltségi feltétele a járművel azonos; a cikkszám a felszereltségi kódnak megfelelő.

Tipikus hibák: a VIN-ben az O és 0, illetve az I és 1 karakter összekeverése; a motorkód kihagyása miatt rossz motorvezérlő-alkatrész rendelése; a kapcsolási rajz kiválasztása kizárólag a típusnév alapján, a felszereltségi kód ellenőrzése nélkül.

Dokumentálás: a munkalapon szerepeljen a járműazonosító, a felhasznált adatbázis neve, a keresett alkatrész cikkszáma, a javítási utasítás és a kapcsolási rajz azonosítója, valamint a szerelő aláírása. A szervizkönyvbe csak a gyártó által előírt adatok kerülhetnek.

35.1.11. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő a VIN leolvasásakor az `O` betűt `0`-ként írja fel, ezért az adatbázis nem találja a járművet. A megoldás: a VIN-t karakterenként, jó fényviszony és tiszta felület mellett olvasd le, majd a fényképet is hasonlítsd össze a munkalappal.

Hiba. A szerelő a típusnév és az évjárat alapján rendel fékbetétet, és nem ellenőrzi a felszereltségi kódot. A járműben elektronikus kopásjelzővel szerelt, nagyobb átmérőjű fékrendszer van, így az alkatrész nem illeszkedik. A megoldás: a VIN és a felszereltségi kódok alapján végzett adatbázis-kereséssel kell dolgozni.

Hiba. A kapcsolási rajzot a gyártói adatbázisban a megfelelő modellévre, de rossz motorkóddal tölti le, így a motorvezérlő tápellátása és a testpontok eltérőek a rajzon. A hibakeresés során ezért rossz ponton mér, és téves szakadást állapít meg. A megoldás: a rajz kiválasztása előtt a motorkódot, a felszereltségi kódot és a jármű fedélzeti hálózatának változatát is ellenőrizni kell.

35.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A VIN 10. karaktere a gyártó azonosítója. Indokold!

2. Mi a különbség a motorszám és a motorkód között?

3. Miért kell az alkatrész-keresés előtt a felszereltségi kódokat is ellenőrizni?

4. Mi a hiba a következő mondatban? „A kapcsolási rajzot elég a jármű típusa alapján kiválasztani, a motorkód és a felszereltség nem számít.”

5. Hány karakterből áll a VIN, és melyik szakasz tartalmazza a járműleíró adatokat?

6. Mi a teendő, ha a forgalmi engedélyben szereplő VIN nem egyezik a szélvédő alatti VIN-nel?

35.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Magyarázd el a VIN `ABC1A2345D6789012` tanulási példa alapján, hogy mit jelöl az `ABC`, az `1A2345`, a `D`, a `6` és a `789012`, és melyik háromhoz tartozik a VIS!

2. feladat (A). Sorold fel, milyen adatokat találsz a jármű típustábláján, és miért fontosak ezek az alkatrész-keresésnél!

3. feladat (B). Az adatbázisban ugyanahhoz a VIN-hez két kapcsolási rajzot kínál: az egyik `CFB` motorkódhoz, a másik `CBZ` motorkódhoz tartozik. A járművön a motortérben a `CBZ` kód látható. Melyik rajzot választod, és miért?

4. feladat (B). Rendezd helyes sorrendbe a következő lépéseket: (a) a felszereltségi kódok megadása az adatbázisban; (b) a VIN leolvasása; (c) a rendszer és az alkatrészcsoport kiválasztása; (d) a cikkszám felírása a munkalapra; (e) a modellév, motorkód és váltókód ellenőrzése.

5. feladat (C). Egy szerelő a VIN-t `ABC1A2345D6789012` helyett `ABCI A2345 D6789O12`-ként írja fel, szóközökkel és O/I karakterekkel. Vajon mit fog tapasztalni az adatbázis-keresésben? Hogyan javítható a hiba?

6. feladat (D). Az adatbázis az adott járműhöz az első féktárcsából két méretet ad: 280 mm és 312 mm, a felszereltségi kód szerint. A járművön nincs jól olvasható felszereltségi matrica, de a forgalmi engedély szerint az első tengely terhelése 1 050 kg, és a jármű gyári adataiban a fékrendszer felszereltségi kódja szerint „nagyteljesítményű fék” szerepel. Hogyan döntöd el a kérdést biztonságosan, mielőtt alkatrészt rendelsz?

35.1.14. Megoldások

35.1.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A VIN 10. karaktere a modellévkód, nem a gyártó azonosítója. A gyártó azonosítója a WMI, az 1–3. karakter.

2. A motorszám a motor egyedi példányszáma, a motorkód pedig a motor szerkezeti változatát, teljesítménylépcsőjét és műszaki kialakítását jelöli.

3. Mert azonos típuson belül a felszereltség – például ESP, kopásjelző, futóműváltozat – eltérő cikkszámú alkatrészeket és más kapcsolási rajzokat igényelhet.

4. A mondat hibás, mert a kapcsolási rajzot a modellév, a motorkód és a felszereltségi kódok alapján kell kiválasztani, különben a fedélzeti hálózat eltérései miatt rossz pontokat vizsgálunk.

5. A VIN 17 karakterből áll; a járműleíró szakasz a VDS, a 4–9. karakter.

6. Az eltérést nem szabad figyelmen kívül hagyni: ellenőrizni kell mindkét VIN-t, a típustáblát és a gyártói adatbázist; ha a jármű azonosítása bizonytalan, le kell állni, és jelenteni az oktatónak vagy a művezetőnek, mert a forgalmi engedély és a jármű eltérése hatósági ügyet is jelezhet.

35.1.14.2. Feladatok megoldásai

1. feladat. Az `ABC` a WMI, a kitalált gyártó-azonosító; az `1A2345` a VDS, a járműleíró szakasz; a VIS a `D6789012` (10–17. karakter): a `D` a modellévkód, amely a példában 2013-as modellévet jelöl, a `6` (11. karakter) a gyártóüzem kódja, a `789012` (12–17. karakter) pedig a gyártási sorozatszám.

2. feladat. A típustáblán általában a jármű VIN-je, a típusjóváhagyási szám, a megengedett össztömeg, a megengedett együttes (szerelvény-) tömeg, a tengelyterhelések és a vontatható tömegek szerepelnek (ellenőrizendő: a típusjóváhagyási előírás szerinti kötelező adattartalom). Az abroncsnyomás nem a típustáblán, hanem a külön abroncsnyomás-címkén (tanksapka, B-oszlop) található. Az alkatrész-keresésnél a tömeg- és tengelyterhelési adatok fontosak a futómű- és fékváltozat kiválasztásánál, a VIN pedig a jármű egyértelmű azonosításához kell.

3. feladat. A `CBZ` motorkódhoz tartozó rajzot kell választani, mert a kapcsolási rajz a motorirányítás és a fedélzeti hálózat szempontjából a motorkódhoz kötött. A `CFB` rajz hibás motorváltozathoz tartozna, így a tápellátás, a jeladók és a testpontok is eltérőek lehetnének.

4. feladat. Helyes sorrend: b, e, a, c, d. Először leolvassuk a VIN-t, ellenőrizzük a modellévet, motorkódot és váltókódot, majd a felszereltségi kódokat adjuk meg, kiválasztjuk a rendszert és alkatrészcsoportot, végül a cikkszámot a munkalapra írjuk.

5. feladat. Az adatbázis valószínűleg nem találja a járművet, mert a VIN-ben a szóközök, az `I` és az `O` karakterek nem megengedettek. A hibás leolvasás miatt a jármű egyedi azonosítása meghiúsul. A hibát a járművön lévő VIN és a forgalmi engedély karakterről karakterre való összehasonlításával lehet javítani; az O/0 és I/1 párokat különösen figyelmesen kell ellenőrizni.

6. feladat. A kérdés eldöntéséhez először a VIN alapján le kell kérni a gyártói adatbázisban a jármű felszereltségi kódjait. Ha a jármű a „nagyteljesítményű fék” kóddal rendelkezik, akkor a 312 mm-es tárcsa a helyes. Ha a felszereltségi kód nem elérhető, akkor a járművön mérni is lehet a szerelt féktárcsa átmérőjét tolómérővel vagy a nyereg geometriáját a gyártói rajz alapján, de a biztonságos döntéshez mindig a gyártói adatbázisból kinyert felszereltségi kód a mérvadó. A forgalmi engedély tengelyterhelése önmagában nem azonosítja egyértelműen a féktárcsaméretet, csak a gyártói felszereltségi kód.

35.1.15. Rövid összefoglaló

A járműjavítás minden lépése az egyértelmű járműazonosítással kezdődik. A VIN 17 karakterből áll: az első 3 karakter a gyártót (WMI), a 4–9. karakter a járműleíró szakaszt (VDS), a 10–17. karakter pedig a jármű-azonosító szakaszt (VIS) jelöli. A 10. karakter a modellévkód, a 11. karakter gyakran a gyártóüzem, az utolsó hat karakter a sorozatszám. A szervizben a VIN mellett a forgalmi engedély, a típustábla, a motorkód és a felszereltségi kódok együttesen határozzák meg, hogy melyik alkatrész és kapcsolási rajz illik a járműhöz. A márkafüggetlen és a gyári adatbázisok a VIN-alapú keresésből kiindulva adják meg a javítási utasításokat, az alkatrész-cikkszámokat és a fedélzeti hálózat rajzait. A gyári adat elsőbbséget élvez, különösen a biztonsági alkatrészeknél. A kapcsolási rajzon a 30, 15, 31, 50 és 87 jelölések segítenek az áramút követésében. **Továbbvitt eredmény.** A pontos járműazonosítás és adatkeresés az ápolási és szervizműveletek, a kárfelvétel és a hatósági vizsgálat alapfeltétele; a téves adat rossz alkatrészhez, hibás diagnózishoz és hatósági eltéréshez vezet.

35.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ISO 3779 és ISO 3780 VIN-felépítés; (EU) 2018/858 típusjóváhagyási keretrendelet; a hazai forgalmi engedély és típusbizonyítvány adattartalmára vonatkozó műszaki vizsgálati szabályok; gyártói javítási utasítások és elektronikus katalógusok; márkafüggetlen adatbázis-típusok (Autodata típusú rendszerek) felépítése.

Ellenőrizendő állítások:
- a VIN-szerkezet pontos ISO-előírása és a modellévkódok hozzárendelése;
- a hazai forgalmi engedélyben szereplő azonosító adatok pontos köre és a 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet szerinti adattartalom (ellenőrizendő: hatályos szöveg);
- a típustábla pontos elhelyezkedése és kötelező adatai a típusjóváhagyási előírások szerint;
- a motorkód és motorszám feltüntetésének módja az egyes gyártóknál;
- az adatbázisok licencfeltételei és a gyári adatok felhasználására vonatkozó szerződési korlátozások.

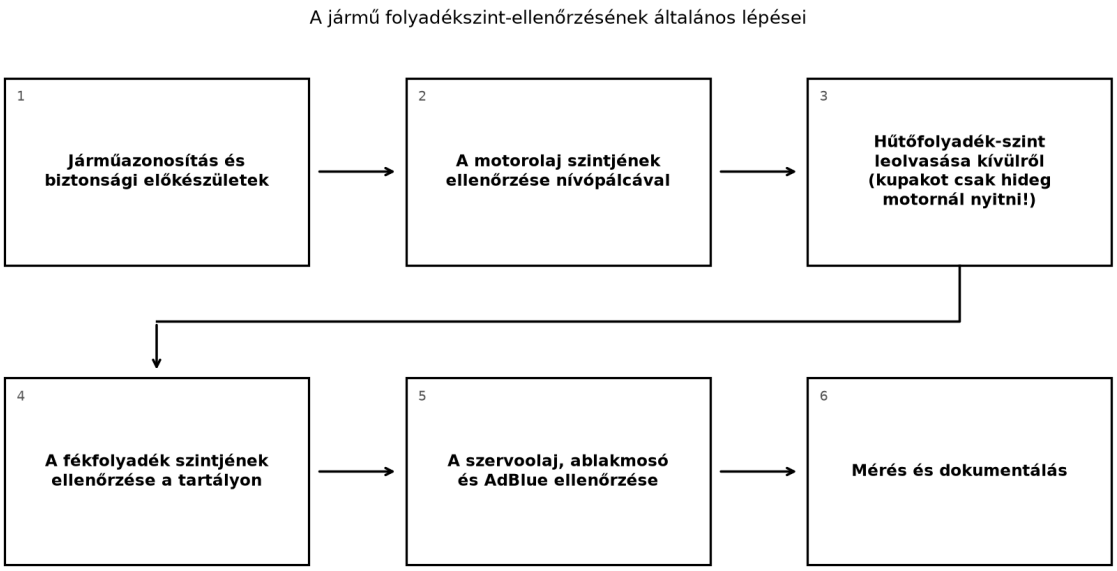
35.2. Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések

35.2.1. Motiváció

Egy ügyfél beáll a műhelybe: „Olajcsere kellene, meg egy átvizsgálás, mert világít a kis kulcs jel a műszerfalon.” A szerelő a kulcsra felkészülve kinyitja a motorháztetőt, és nem csak az olajat nézi meg: ellenőrzi a hűtőfolyadékot, a fékfolyadékot, a szervoolajat, az ablakmosót és a dízelnél az AdBlue-t is. Miért? Mert a jármű megbízható üzeme és a műszaki vizsgára való felkészítés is azon múlik, hogy a folyadékok a gyártói előírás szerinti szinten és minőségben álljanak rendelkezésre. Egy alacsony motorolajszint tönkreteheti a motort, egy elfolyó fékfolyadék balesetet okozhat, egy rosszul kevert hűtőfolyadék télen megfagyhat. Ebben az alfejezetben a műhelyben naponta végzett ápolási – szintellenőrzési és alapvető szervizműveleteket tanuljuk meg, valamint az olajcsere és szűrőcsere technológiáját a helyes hulladékkezeléssel együtt.

35.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy modern, önhordó karosszériás autót a tanműhely emelőjén, a motorháztető felnyitva. A motortérben a nívópálca sárga fogantyúja, a hűtőfolyadék-kiegyenlítő tartály áttetsző oldalfala MIN–MAX jelöléssel, a fékfolyadék-tartály a fékrásegítő felett, a szervoolaj-tartály a kormányszervo mögött, valamint az ablakmosó kék kupakja jól látható. Az emelő alatt a motor alján a leeresztő csavar, az olajszűrő háza és a környezetvédelmi gyűjtőedény helyezkedik el. Az ellenőrzés általános lépéseit mutatja az alábbi folyamatábra:



35.3. ábra. A jármű folyadékszint-ellenőrzésének általános lépései - Szemléltető lépéssor; a járműgyártói sorrend ettől eltérhet.

A diagram a gyakorlatban használt ellenőrzési sorrendet mutatja: először azonosítjuk a járművet (hogy a megfelelő folyadékokat vegyük elő), majd a biztonsági feltételeket biztosítjuk, ezután a motorolajjal kezdjük, mert az a legkritikusabb, és így haladunk a többi folyadék felé. Ha a motor meleg, a hűtőfolyadék-szintet csak kívülről, a tartály MIN–MAX jelölésén olvassuk le; utántöltés és fagyáspontmérés hideg motornál. Végül mindent dokumentálunk.

35.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Ápolási művelet: a jármű külső, belső és mechanikai alkatrészeinek tisztítását, kenését, konzerválását, valamint a folyadékok szintjének és állapotának ellenőrzését magában foglaló, a kopást és korróziót lassító karbantartási tevékenység.

Definíció. Szintellenőrzés: a jármű üzemi folyadékainak (motorolaj, hűtőfolyadék, fékfolyadék, szervoolaj, ablakmosó, AdBlue) mennyiségi ellenőrzése a gyártó által megadott mérőeszközökön (nívópálca, tartály oldalfalán lévő MIN–MAX jel) és vizuális-érzékszervi minősítése (szín, szennyezettség, szag).

Definíció. Szervizművelet: a jármű tervezett, gyártói vagy hatósági előírás szerinti, meghatározott idő- vagy futásteljesítmény-intervallumban elvégzett karbantartási és javítási munkasorozata.

Összefüggés. A folyadékszint és a folyadék állapota együtt adja a „még használható” vagy „csereérett” minősítést. A pontos szint önmagában nem elég: például a fékfolyadék szintje lehet MAX-on, de ha a forráspontja a víztartalom miatt lecsökkent, a fékrendszer biztonságos üzemét már nem garantálja (a fékfolyadék nedvességtartalmát műszeres DOT-teszterrel mérjük – ellenőrizendő: gyártói határérték).

Összefüggés. A hűtőfolyadék glikol–víz keverék; a fagyáspont a glikolkoncentráció függvénye. A Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok alfejezetből ismert, hogy a 33–60% közötti glikoltartalom biztosít fagyvédelmet, és hogy a szín nem minősít. A keverék fagyáspontját refraktométerrel vagy sűrűségmérővel ellenőrizzük (ellenőrizendő: a gyártói fagyáspont-táblázat).

35.2.4. Felépítés és működés

35.2.4.1. Ápolási műveletek: mosás, kárpittisztítás, kenés

Alsó- és felsőmosás. A jármű fényezését és alvázát télen különösen károsítja az útszóró só és a nedves sár, ezért a műhelyben rendszeres alsó- és felsőmosást végzünk. A felsőmosás előmosásból (nagynyomású víz), kézi vagy gépi samponos mosásból, öblítésből és szárításból áll. Az alsómosás során a járművet emelőn vagy merevített aknán alulról tisztítjuk, különös figyelemmel a kerékjárati ívekre, a küszöbökre és a féregcsövek vízkivezető nyílásaira. **Figyelem.** A nagynyomású mosó vízsugarát tilos a motorvezérlőre, a generátorra, a csatlakozókra, a légszűrőre, a gyújtóberendezésre, a kipufogórendszer érzékelőire és a féknyergek tömítéseire irányítani, mert a víz behatolása zárlatot, korróziót vagy meghibásodást okozhat.

Motormosás. A motor terét csak szükség esetén, a gyártó által engedélyezett módon mossuk. A modern motorterekben sok a nyitott elektromos csatlakozó és az elektronikus vezérlőegység, ezért a motormosás előtt a gyártói javítási utasításban rögzített védőtakarásokat kell felhelyezni (generátor, szívónyílás, biztosítéktábla, ECU, légtömegmérő, gyújtótekercsek). A mosás után a járművet hagyni kell megszáradni, és indítás előtt ellenőrizni kell, hogy nincs-e víz a szívórendszerben. A motorolaj- és kipufogógáz-maradványt tartalmazó mosóvizet olajleválasztóval felszerelt mosóberendezésben kell felfogni, és a csatornába engedni tilos.

Kárpittisztítás. Az utastér kárpitját porszívózással, folttisztítással és szükség szerint nedves extrakciós tisztítással kezeljük. **Figyelem.** Az ülésbe épített légzsákok, oldallégzsákok és ülésfűtés közelében csak a járműgyártó által jóváhagyott tisztítószereket és technológiát szabad használni; a pirotechnikai egységet nem szabad átitatni tisztítószerrel. A biztonsági öv hevedereit nem szabad vegyszerrel áttörölni, mert az anyag szilárdsága csökkenhet.

Kenési műveletek. A zárakat, zsanérokat, csuklókat és a kardáncsuklókat (ha zsírzógombos kivitel) a gyártói kenési terv szerint kell zsírozni. A kenőanyag kiválasztása a Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok alfejezetben tanult NLGI-osztály és gyártói specifikáció szerint történik. A műszerfalon lévő műanyag felületeket antisztatikus ápolószerrel, a gumitömítéseket szilikonos ápolóval kezelhetjük, de a pedálfelületeket és a kormánykereket tilos síkosítani, mert a vezető keze vagy lába megcsúszik.

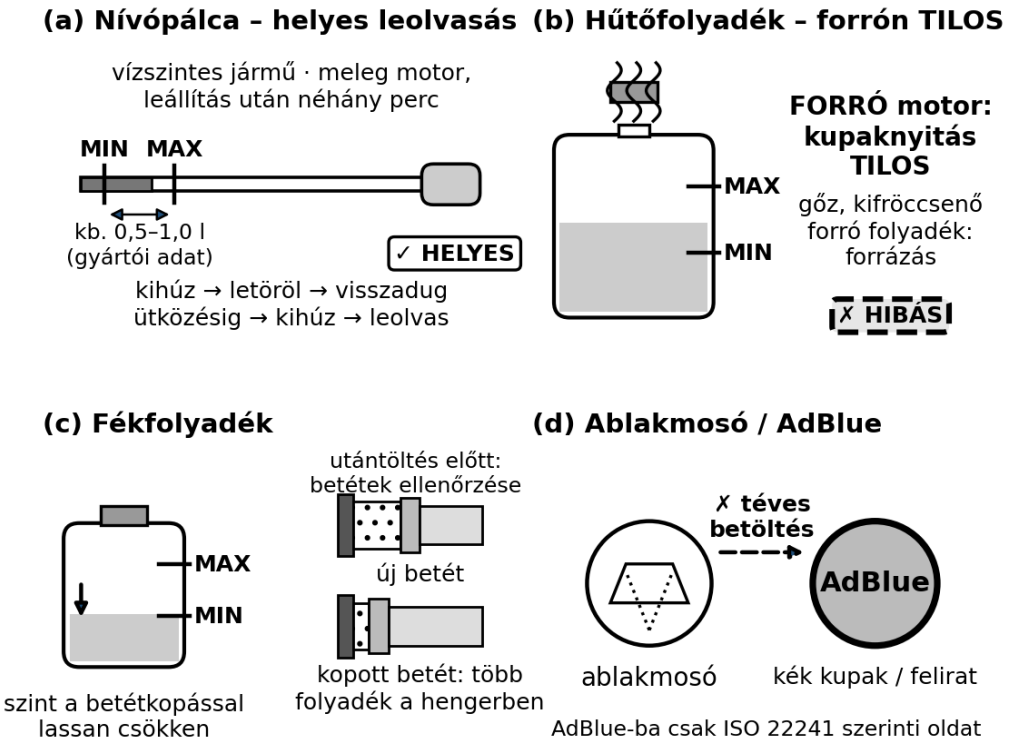
35.2.4.2. Szintellenőrzések és utántöltések

Az alábbi táblázat áttekinti a leggyakoribb szervizfolyadékokat és azok ellenőrzési szempontjait.

Folyadék	Feladat	Ellenőrzés helye/ideje	Jellemző hiba/figyelmeztetés	Környezetvédelem
Motorolaj	Kenés, hűtés, tisztítás	Nívópálca, meleg motor után 5–10 perc	Túltöltés habzást, tömítésszivárgást okozhat	Fáradt olaj gyűjtése veszélyes hulladékként
Hűtőfolyadék	Hőelvonás, fagy- és korrózióvédelem	Kiegyenlítő tartály, hideg motornál	Forró motoron a kupak nyitása tilos	Glikoltartalmú hulladék, nem csatornába
Fékfolyadék	Nyomás továbbítása	Tartály a fékrásegítő felett	A szint a betétkopással csökken; hirtelen esés szivárgás	Fékfolyadék veszélyes hulladék

Folyadék	Feladat	Ellenőrzés helye/ideje	Jellemző hiba/figyelmeztetés	Környezetvédelem
Szervoolaj	Hidraulikus kormányszervo	Tartály a szervo szivattyúnál	Habzó olaj levegőbeszívást jelez	Fáradt olaj gyűjtése
Ablakmosó	Szélvédő tisztítása	Tartály a motortérben	Télen fagyálló ablakmosót kell használni	Kiömlött folyadék felitatása
AdBlue	NOx-csökkentő (SCR)	Tartály a csomagtérben vagy a tanksapkánál	Csak szabványos (ISO 22241) oldatot szabad betölteni	Kiömlött AdBlue feltakarítása

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).



35.4. ábra. Folyadékszintek leolvasása: nívópálca, hűtőfolyadék- és fékfolyadék-tartály, ablakmosó és AdBlue betöltőnyílás

Az ábra a leolvasás feltételeit foglalja össze: a nívópálcát vízszintes járművön, a leállítás után néhány perccel, vízszintesen tartva olvassuk le; a hűtőfolyadék-szintet kívülről nézzük, a sapkát forró motoron kinyitni tilos; a fékfolyadék szintje a betétkopással lassan csökken; az ablakmosó és az AdBlue betöltőnyílását nem szabad összetéveszteni.

Motorolaj. A motorolaj szintjét a nívópálcán ellenőrizzük. A jármű álljon vízszintes talajon, a motor legyen meleg, de a leállítás után várjunk néhány percet, hogy az olaj visszafolyjon az olajteknőbe. A nívópálcát kihúzzuk, megtöröljük egy papírtörlővel, visszahelyezzük ütközésig, majd ismét kihúzzuk. A szintnek a MIN és MAX jelek között kell lennie; az ideális a felső harmad. **Előírás.** A motorolaj betöltési mennyisége és a MIN–MAX közötti különbség járműtípusonként

eltérő, jellemzően 0,5–1,0 liter (ellenőrizendő: gyártói adat). Az utántöltéshez csak a gyártói specifikációjú, azonos SAE- és ACEA-osztályú olajat használjunk.

Hűtőfolyadék. A hűtőfolyadék szintjét hideg motornál, a kiegyenlítő tartály oldalfalán lévő MIN–MAX jelölések között ellenőrizzük. Meleg motoron a rendszer nyomás alatt áll, a tartály kupakját tilos kinyitni. Ha a szint alacsony, a gyártó által előírt, megfelelően kevert glikol–víz hűtőfolyadékot töltsünk utána. A fagyáspontot refraktométerrel ellenőrizzük; a minta a kiegyenlítő tartályból vehető, ha a motor hideg.

Fékfolyadék. A fékfolyadék tartályán lévő szintjelző ablakot vagy MIN–MAX jelölést ellenőrizzük. A szint a fékbetétek kopásával együtt fokozatosan csökken, mert a munkahengerek térfogata nő; ez normális, de a hirtelen vagy tartós szintcsökkenés szivárgást jelez. A fékfolyadék pontos típusát (DOT-osztály) a gyártói előírás adja meg. A fékfolyadékot tilos más folyadékkal keverni; a tartály kupakját mindig zárva tartjuk, mert a fékfolyadék higroszkópos, és a levegőből vizet köt meg.

Szervoolaj. A hidraulikus szervokormány olajszintjét a tartályon lévő pálcán vagy oldalfalon ellenőrizzük. A szint ellenőrzésekor a kormányt először teljesen balra, majd jobbra forgatjuk, hogy a rendszer légtelenítődjön, és a szint a valós értéket mutassa. A szervoolajhoz csak a gyártó által előírt folyadékot szabad betölteni.

Ablakmosó. Az ablakmosó tartályát feltöltjük télen fagyálló, nyáron nyári tisztító oldattal. A fagyáspontot a termék címkéjén lévő keverési táblázat szerint választjuk meg. A szivattyút nem szabad hosszú ideig szárazon járatni, mert a járókerék károsodik.

AdBlue. Az AdBlue-t (32,5% karbamid oldat) a ráépített dízel-utókezeléses járműveknél ellenőrizzük. A betöltő nyílás mellett kék fedél vagy felirat található. A szintet a műszerfalon vagy a tartályban lévő szonda jelzi. Az AdBlue-t csak az ISO 22241 szabványnak megfelelő, szennyeződésmentes állapotban szabad betölteni; a tartályba semmilyen más folyadék (víz, mosószer) nem kerülhet.

35.2.4.3. Szervizműveletek fajtái

A szervizműveleteket a gyártói előírás és a jármű életkora, futásteljesítménye szerint csoportosítjuk.

Definíció. „0” revízió: az új jármű első, a bejáratódási időszak végén (jellemzően 1000–3000 km, ellenőrizendő: gyártói adat) elvégzett szervize, amelynek során a gyártó ellenőrzi a kritikus illesztéseket, meghúzza a rögzítőelemeket, és cseréli a bejáratódási olajat.

Definíció. Garanciális felülvizsgálat: a gyártói garancia fenntartásához kötelező, a gyártói karbantartási tervben meghatározott időpontban vagy futásteljesítménynél elvégzett szerviz, amelyet hivatalos márkaszervizben dokumentálnak.

Definíció. Időszakos felülvizsgálat: a gyártói karbantartási terv szerinti, rendszeres időközönként (például 15 000 km vagy 12 hónap, ellenőrizendő: gyártói adat) elvégzett, minden érintett rendszerre kiterjedő ellenőrzési és karbantartási munkasorozat. A modern járműveknél a fedélzeti számítógép jelzi a szervizesedést, a szerviz a gyártói előírású műveleteket hajtja végre.

Definíció. Garancián túli felülvizsgálat: a garancialejárat után ugyanaz a műveletsor, mint az időszakos felülvizsgálat, de a tulajdonos szabadon választhat márkafüggetlen szervizt is; ilyenkor a gyártói javítási utasítás és a minőségi alkatrészek használata a megbízhatóság alapja.

Definíció. Esetenkénti felülvizsgálat: a vevő által bejelentett konkrét tünet vagy meghibásodás miatt végzett, nem tervezett vizsgálat (például kopogó futómű, hűtőfolyadék-fogyás). Ennek során a hibafeltárásra és a célzott javításra koncentrálunk.

Definíció. Napi gondozás: a gépkocsivezető által, indulás előtt elvégzett alapellenőrzés: guminyomás, lámpák, folyadékok gyors áttekintése, féklámpa működése. A napi gondozás nem helyettesíti a szervizt, de a súlyos meghibásodások korai jeleit feltárhatja.

Szabály. A szervizműveletek dokumentálásához a gyártói szervizkönyv vagy elektronikus szerviznapló szükséges; a pecsét és a pontos futásteljesítmény igazolja a garanciális előírások teljesítését.

35.2.5. Kidolgozott példák

Számítás. Hűtőfolyadék keverési arány módosítása.

Adott: a járműben lévő hűtőrendszer teljes térfogata 7,0 liter, a jelenlegi glikolkoncentráció 50% (térfogatszázalék; a gyakorlatban mérőműszerrel ellenőrizzük). A téli hideg miatt a fagyáspontot tovább szeretnénk csökkenteni, amihez 60% glikolkoncentráció szükséges (a glikol–víz keverék fagyáspontja kb. $-50\,^{\circ}\mathrm{C}$ körül van – ellenőrizendő: gyártói fagyáspont-táblázat). A működő rendszer tele van, többletet nem fogad be, ezért a folyadékból le kell ereszteni, és a leeresztett mennyiséget tömény glikollal (fagyálló-koncentrátummal) kell pótolni. Mennyit kell leereszteni és tömény glikollal pótolni, hogy a koncentráció 50%-ról 60%-ra nőjön?

A keverési egyenlet: a leeresztendő térfogat V_d, a maradék $(7{,}0 - V_\mathrm{d})$ liter 50%-os keverék, a pótlás V_d liter 100%-os glikol:

$$0{,}50\,(7{,}0 - V_\mathrm{d}) + V_\mathrm{d} = 0{,}60 \cdot 7{,}0,$$

$$3{,}5 + 0{,}50\,V_\mathrm{d} = 4{,}2,$$

$$0{,}50\,V_\mathrm{d} = 0{,}70\,\mathrm{l} \quad \Rightarrow \quad V_\mathrm{d} = 1{,}40\,\mathrm{l}.$$

Ellenőrzés. A maradék keverék $7{,}0 - 1{,}4 = 5{,}6\,\mathrm{l}$, benne $0{,}50 \cdot 5{,}6 = 2{,}8\,\mathrm{l}$ glikol; a pótlással $2{,}8 + 1{,}4 = 4{,}2\,\mathrm{l}$ glikol lesz $7{,}0\,\mathrm{l}$ folyadékban: $4{,}2/7{,}0 = 0{,}60 = 60\%$. A rendszer térfogata végig $7{,}0\,\mathrm{l}$. A gyakorlatban a fagyáspontot a művelet után refraktométerrel ellenőrizni kell, és a gyártó előírhatja a kész keverék használatát tömény glikol helyett (ellenőrizendő: gyártói utasítás). A leeresztett hűtőfolyadék veszélyes hulladék, gyűjtőedénybe kerül.

Számítás. Motorolaj utántöltés mennyisége.

Adott: a nívópálcán a MIN és MAX jelek közötti különbség 1,0 liter (gyártói példa). A mérés szerint az olajszint a MIN jel alatt 0,3 literre van. A cél a MIN fölött 0,6 liter, vagyis a MIN–MAX sáv kb. 60%-a (a felső harmad alja kb. MIN + 0,67 l). Keresett: mennyi olajat kell hozzáadni?

Szükséges mennyiség = (cél szint a MIN fölött) + (aktuális hiány a MIN alatt) $= 0{,}6\,\mathrm{l} + 0{,}3\,\mathrm{l} = 0{,}9\,\mathrm{l}$.

Ellenőrzés. A 0,9 literből 0,3 liter a MIN jelig emeli a szintet, a maradék 0,6 liter a MIN fölé; a várt szint tehát MIN + 0,6 l. A nívópálca új mérése után (néhány perc lefolyási idő után) finomíthatunk.

35.2.6. Előírások

Előírás. A járműfolyadékok kezelése során be kell tartani a hulladékokról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény és a veszélyes hulladékokra vonatkozó végrehajtási rendelet előírásait (ellenőrizendő: pontos rendelet). A fáradt motorolaj, a használt hűtőfolyadék, a fékfolyadék és a szervoolaj veszélyes hulladék; ezeket anyagfajtánként, feliratozott, zárható edényben kell gyűjteni, és csak engedéllyel rendelkező átvevőnek átadni.

Előírás. A gépjármű folyadékainak specifikációját a gyártói javítási utasítás és a betöltő nyílásokon, a motorháztető alatt lévő matricák határozzák meg. Az ettől eltérő, rossz minőségű vagy nem megfelelő viszkozitású folyadék használata meghibásodáshoz, garanciavesztéshez vezethet.

Előírás. A hűtőközeg (klíma) utántöltése és karbantartása F-gázos képesítéshez kötött; a klíma hűtőközegét légkörbe engedni tilos (ellenőrizendő: hatályos F-gáz szabályozás).

Figyelem. A forró motorolaj, a hűtőfolyadék és a fékfolyadék súlyos égési sérülést okozhat. A hűtőrendszer kupakját csak hideg motornál, lassan szabad kinyitni. A fékfolyadék marja a fényezést, a bőrt; a motorolaj hosszú távú bőrrel való érintkezése bőrgyulladást okozhat.

35.2.7. Minőségellenőrzés

A folyadékok ellenőrzése után a következő ellenőrzőlista segít a döntésben:

1. **Motorolaj**: szint a MIN–MAX felső harmadában, szín a friss olajhoz képest nem túl sötét, nem tejes, nem híg (nem gázolajszagú). Habzás vagy égési szag hibát jelez.
2. **Hűtőfolyadék**: szint hideg motornál MIN felett, szín tiszta, nem olajos, nem rozsdabarna, fagyáspont refraktométerrel a télnek megfelelő (például -35 °C).
3. **Fékfolyadék**: szint a tartályon, szín tiszta, nem zavaros, forráspont DOT-teszterrel (például DOT 4-nél legalább 155 °C nedves – ellenőrizendő).
4. **Szervoolaj**: szint a kormány elforgatása után, szín tiszta, nem habzó, szag nem égett.
5. **Ablakmosó**: tartály feltöltve, télen megfelelő fagyálló koncentráció.
6. **AdBlue**: szint a kijelzőn, a folyadék tiszta, szennyeződés nélkül.

35.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy ügyfél egy 2016-os, 1,6 literes dízel személygépkocsit hoz be, mert a műszerfalon a „hűtőfolyadék-szint alacsony” figyelmeztetés világít. A szerelő a motort leállítás után 30 perccel ellenőrzi a kiegyenlítő tartályt: a szint a MIN jel alatt van. A tartály kupakját óvatosan kinyitva kis folyadékot lát, a szín rózsaszín, de zavaros, a tartály belső falán olajos filmréteg látható. A hűtőfolyadék szaga enyhén égett. A hűtőrendszer nyomáspróbát végez: a nyomásesés a hengerfejtömítés felőli átszivárgásra utal (ellenőrizendő: hengerfejtömítés-vizsgálat). A kipufogógáz-érzékelő tesztfolyadékban színt vált – égéstermék került a hűtőrendszerbe. Az ok: repedt hengerfejtömítés. A javítás: hengerfej-leemelés, tömítéscsere, a hűtőrendszer átmosása, új, gyártói hűtőfolyadék betöltése, légtelenítés. A tanulság: a szintellenőrzés nemcsak a mennyiséget, hanem az állapotot is vizsgálja, mert a zavaros, olajos hűtőfolyadék belső hibára utal.

35.2.9. Gyakorlati útmutató

Gyakorlat. Motorolaj- és olajszűrő-csere.

Cél: a motorolaj és az olajszűrő gyártói előírás szerinti cseréje, a szint ellenőrzése, a hulladék szakszerű kezelése. **Jármű- és adatazonosítás:** olvassuk le a jármű alvázszámát, nézzük meg a gyártói szerviztáblázatot, és azonosítsuk az előírt olaj SAE/ACEA specifikációját és a szűrő típust.

Szükséges szerszámok, eszközök: emelő vagy akna, biztos alátámasztás (bakra emelés), olajszűrő-kulcs, villáskulcs vagy csillagkulcs a leeresztő csavarhoz, nyomatékkulcs, gyűjtőedény (legalább a leeresztett olaj térfogatánál nagyobb), tölcsér, kesztyű, védőszemüveg, papírtörlő, új leeresztő alátét.

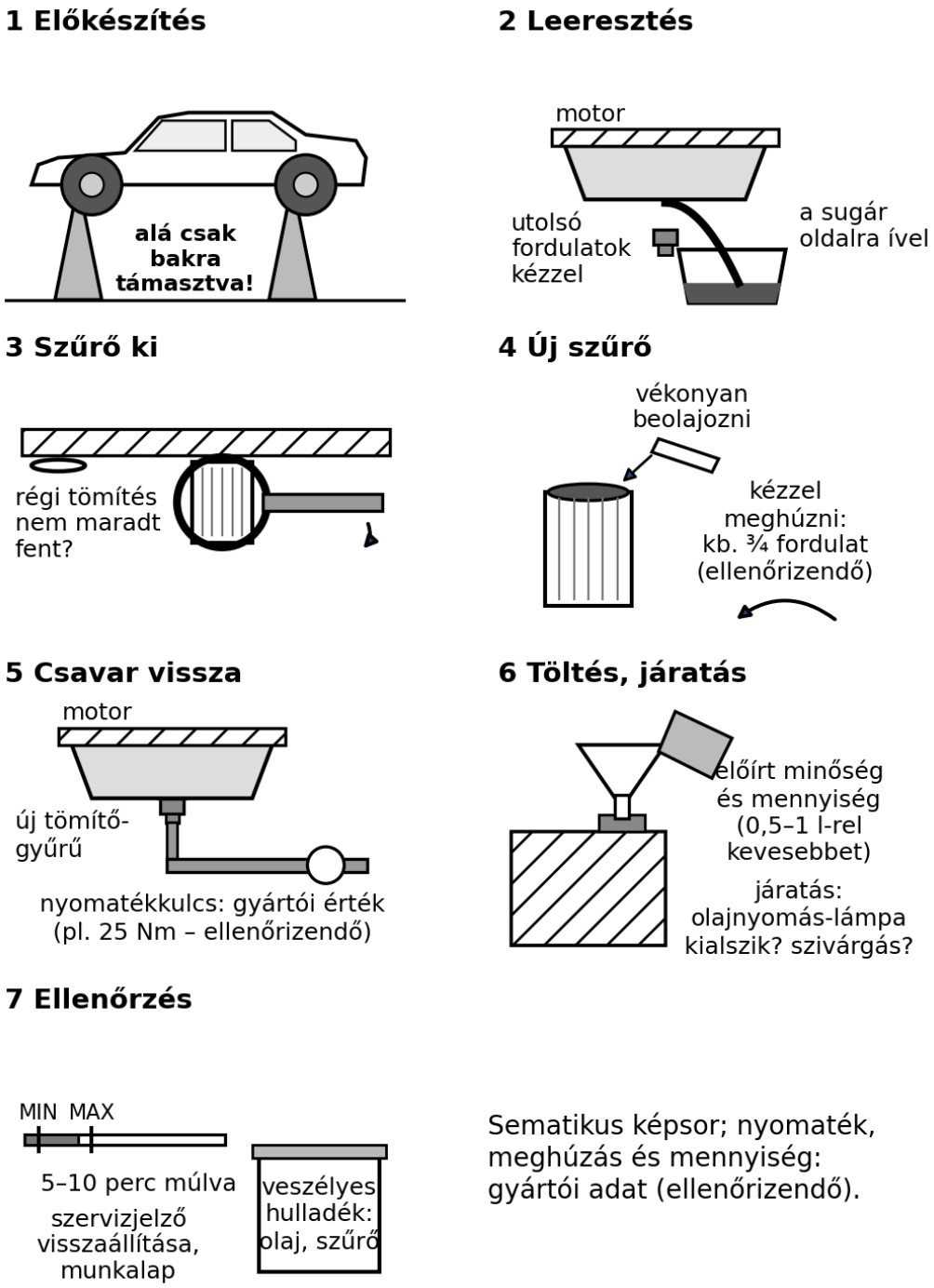
Anyagok: előírt motorolaj (mennyiség és specifikáció), új olajszűrő, új leeresztő alátét (ahol a gyártó előírja).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Környezetvédelem. A fáradt olajat és a használt szűrőt veszélyes hulladékként kell gyűjteni; a csatornába vagy talajra juttatás tilos.

Munkalépések (számozott lista):

1. Melegítsük be a motort néhány percig, hogy az olaj hígfolyós legyen, majd állítsuk le és várjunk, amíg az olaj már nem égető forró, de még folyékony.
2. Emeljük meg a járművet a gyártói emelési ponton, és helyezzük biztos bakra. **Tilos csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni.**
3. Helyezzük a gyűjtőedényt a leeresztő csavar alá, lazítsuk meg a leeresztő csavart, majd kézzel csavarjuk ki; a forró olajra vigyázzunk (égési sérülés).
4. Engedjük le teljesen az olajat; közben szemrevételezzük: fémszemcse, víz, hígítás vagy égési szag hibára utal.
5. Cseréljük ki az olajszűrőt: az olajszűrő-kulccsal lazítsuk meg, kézzel csavarjuk le, a felfekvő felületet tisztítsuk meg, az új szűrő tömítését vékonyan olajozzuk be, majd kézzel húzzuk meg a gyártói előírásig (jellemzően ¾ fordulat, ellenőrizendő).
6. Húzzuk vissza a leeresztő csavart új alátéttel, a gyártói nyomatékkal (például 25 Nm – ellenőrizendő).
7. Engedjük vissza a járművet a talajra, töltsük be a gyártói térfogatnál 0,5–1 literrel kevesebb olajat, várjunk, majd a nívópálcával ellenőrizzük, és pótoljuk a kívánt szintig.
8. Indítsuk be a motort, ellenőrizzük az olajnyomás-lámpa kialvását és a szivárgást a szűrőnél és a leeresztő csavarnál.
9. Állítsuk le a motort, várjunk 5–10 percet, ellenőrizzük ismét a szintet.
10. Dokumentáljuk a műveletet (munkalap, szervizkönyv, olaj típusa, mennyisége).



35.5. ábra. Motorolaj- és olajszűrőcsere hét képkockában (sematikus képsor)

A képsor a fenti tíz lépést hét képkockába vonja össze: bakra támasztott jármű, leeresztés gyűjtőedénybe, a szűrő kiszerelése (a régi tömítés ellenőrzésével), az új szűrő beolajozott tömítése, a leeresztőcsavar új tömítőgyűrűvel és nyomatékkulccsal, töltés és járatás, végül szintellenőrzés, hulladékkezelés és dokumentálás.

Ellenőrzési pontok: olajszint a MIN–MAX között, nincs szivárgás, a motor csendes, az olajnyomás-lámpa kialszik. **Tipikus hibák:** túltöltés, a leeresztő csavar túlhúzása (menet sérül), a szűrő tömítésének beolajozása elmarad, rossz olajspecifikáció.

35.2.10. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő forró motoron nyitja ki a hűtőfolyadék-kiegyenlítő tartály kupakját, mert „gyorsan akar ellenőrizni”. A nyomás alatt lévő forró hűtőfolyadék kilőve súlyos égési sérülést okoz. **Helyes gyakorlat:** csak hideg motornál, lassan, ronggyal takarva nyitjuk.

Hiba. A szerelő túltölti a motorolajat, mert a nívópálca mérését a beöntés után azonnal végzi, mielőtt az olaj visszafolyt volna. Túltöltésnél az olaj habzik, a tömítések kinyomódhatnak, a forgattyús tengely ellensúlyai verik az olajat, ami kenési hibát okoz. **Helyes gyakorlat:** a betöltés után legalább 5–10 percet várunk, majd ellenőrzünk.

Hiba. A szerelő a fékfolyadék alacsony szintje miatt csak utántölt, és nem vizsgálja a fékbetéteket vagy a rendszer tömítettségét. A fékbetét kopásával a szint természetes módon csökken, de a hirtelen esés vagy a gyakori utánpótlás szivárgást jelez. **Helyes gyakorlat:** először a fékbetéteket, a munkahengereket, a fékcsöveket és a csatlakozókat ellenőrizzük, majd a gyártói előírás szerint töltsük fel a folyadékot, és légtelenítsük, ha szükséges.

Hiba. A motormosás során a szerelő nagynyomású mosóval közvetlenül a generátor, az ECU vagy a légtömegmérő felé irányítja a sugarat, mert „nem gondolkodik az elektronikán”. A beszivárgó víz korróziót, zárlatot, érzékelő-meghibásodást okoz. **Helyes gyakorlat:** a gyártói előírás szerinti takarás, alacsony nyomású, célzott mosás, majd szárítás és ellenőrzés.

35.2.11. Önellenőrzés

1. **Igaz/hamis:** A hűtőfolyadék fagyáspontja a glikolkoncentráció növelésével mindig arányosan csökken, tehát minél több glikolt töltünk, annál jobb. Indokolj.
2. **Gyors számolás:** Egy autó hűtőrendszerében 7,0 liter 40% glikolkoncentrációjú folyadék van. Mennyit kell leereszteni és tömény glikollal pótolni, hogy a koncentráció 50% legyen? (Válasz a Megoldásokban.)
3. Mi a különbség az időszakos felülvizsgálat és az esetenkénti felülvizsgálat között?
4. A fékfolyadék szintje jelentősen lecsökkent, de a fékbetétek még vastagok. Mi lehet az első feltételezett hiba?
5. Soroljon fel három olyan folyadékot, amelyet veszélyes hulladékként kell gyűjteni, és egyet, amelyet a csatornába engedni soha nem szabad.
6. Az olajcsere során miért kell a leeresztő csavart nyomatékkulccsal meghúzni?

35.2.12. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A glikolkoncentráció növelésével a fagyáspont egy minimumig csökken, majd a tömény glikol fagyáspontja magasabb, ezért a 100% glikol nem a legalacsonyabb fagyáspontú. A gyakorlati optimum 33–60% között van; a gyártói előírás szerint.
2. A rendszer térfogata állandó (7,0 l): V_{d} liter keveréket leeresztünk, és ugyanannyi tömény glikollal pótoljuk: $0{,}40\,(7{,}0 - V_{\mathrm{d}}) + V_{\mathrm{d}} = 0{,}50 \cdot 7{,}0 \Rightarrow 0{,}60\,V_{\mathrm{d}} = 0{,}70\,\mathrm{l} \Rightarrow V_{\mathrm{d}} \approx 1{,}17\,\mathrm{l}$.
3. Az időszakos felülvizsgálat a gyártói terv szerint előre ütemezett, teljes körű; az esetenkénti egy konkrét hiba vagy tünet miatti, nem tervezett vizsgálat.
4. Szivárgás a fékrendszerben (cső, munkahenger, csatlakozó), mert a betétkopás nem indokolja a jelentős szintcsökkenést.
5. Veszélyes hulladék: motorolaj, hűtőfolyadék, fékfolyadék, szervoolaj; a csatornába soha nem engedhető: hűtőfolyadék (vagy bármelyik).

6. A túlhúzás elszakíthatja vagy károsíthatja a leeresztő csavart és az olajteknő menetét, a laza csavar pedig szivárgást okoz. A gyártói nyomaték biztosítja a megbízható tömítést.

35.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorolja fel a jármű azon folyadékait, amelyeket a napi szervizben rendszeresen ellenőrizni kell, és mindegyiknél nevezze meg az ellenőrzés helyét.

2. feladat (A). Határozza meg a „0” revízió és a garanciális felülvizsgálat közötti különbséget egy-két mondatban.

3. feladat (B). Egy motorolaj-betöltésnél a nívópálca MIN és MAX jelei között 0,8 liter a különbség. A mérés szerint a szint a MIN alatt van 0,2 literrel. A cél a MAX alatt 0,3 literrel. Mennyi olajat kell betölteni?

4. feladat (B). Írja le számozott lépésekben az olajszűrő cseréjének technológiáját, a biztonsági és környezetvédelmi előírásokkal együtt.

5. feladat (C). Egy dízel személygépkocsi hűtőfolyadék-tartályában a szint a MAX felett van, de a folyadék színe zavaros, olajos. Elemezze a lehetséges okokat és a következő vizsgálati lépéseket.

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza: „a fékpedál hosszú úton fog, és a fékfolyadék szintje kéthetente csökken.” Milyen vizsgálatokat végez a járművön, és mi a valószínű hibalánc?

35.2.14. A feladatok megoldásai

1. feladat megoldása. Motorolaj (nívópálca), hűtőfolyadék (kiegyenlítő tartály), fékfolyadék (tartály a fékrásegítő felett), szervoolaj (szervo szivattyú tartálya), ablakmosó (ablakmosó tartály), AdBlue (külön tartály, dízel-utókezelésnél).

2. feladat megoldása. A „0” revízió az új jármű bejáratódási időszakának végét jelentő első szerviz, rövid futásteljesítménynél (pl. 1000–3000 km); a garanciális felülvizsgálat pedig a garancia fenntartásához kötelező, a gyártói karbantartási terv szerinti rendszeres szerviz, a jármű életciklusa során többször.

3. feladat megoldása. A cél szint a MIN fölött: MIN + (0,8 – 0,3) = MIN + 0,5 l. Az aktuális szint MIN – 0,2 l. Tehát a pótlandó mennyiség: 0,5 l + 0,2 l = 0,7 l.

4. feladat megoldása. A lépéseket lásd a Gyakorlati útmutatóban (olajszűrő-csere). Kulcselemek: biztonságos emelés, gyűjtőedény, faradt olajat veszélyes hulladékként gyűjteni, új szűrő tömítését olajozni, nyomatékkal meghúzni, szintellenőrzés motormeleg után.

5. feladat megoldása. Olajos hűtőfolyadék hengerfejtömítés-sérülést, olaj-víz hőcserélő hibát vagy (ritkán) automata váltó hűtőcső-szivárgást jelezhet. Vizsgálat: hűtőrendszer nyomáspróba, égéstermék-teszt a hűtőfolyadékban, olajbetét vizsgálata (tejes-e), esetleg hengerfej-leemelés utáni tömítés- és síkosságellenőrzés.

6. feladat megoldása. Tünet: hosszú pedálút és fékfolyadék-szint csökkenés. Hipotézisek: szivárgó fékcső, tömítetlen munkahenger, rossz főfékhenger, kopott betétek (de ez utóbbi lassú). Vizsgálat: szivárgás keresése a kerekeknél, a fékcsövek mentén, a féknyergek/munkahengerek gumiharangjainál, a főfékhengernél; féknyomás-próba; a rendszer légtelenítése és tömítettség ellenőrzése. Javítás: a hibás elem cseréje, új fékfolyadék, légtelenítés, próbaút.

35.2.15. Rövid összefoglaló

Az ápolási műveletek közé tartozik a jármű alsó-, felső- és motormosása, a kárpittisztítás és a kenési feladatok. A motormosásnál az elektronikát és a szívórendszert védeni kell, a mosóvizet olajleválasztóba kell fogni. A szintellenőrzések során a motorolajat nívópálcán, a hűtőfolyadékot a kiegyenlítő tartályon, a fékfolyadékot a tartályon, a szervoolajat, az ablakmosót és az AdBlue-t a megfelelő tartályokon ellenőrizzük; mindegyiknél a MIN–MAX jelölést és a folyadék állapotát is vizsgáljuk. A szervizműveletek közül a „0” revízió az új jármű első szervize, a garanciális és időszakos felülvizsgálatok a gyártói terv szerintiek, az esetenkénti a hibatünethez kötött. Az olajcsere és szűrőcsere technológiája a biztonságos emeléssel, a megfelelő nyomatékokkal, az új szűrő tömítésének olajozásával és az utántöltés utáni szintellenőrzéssel jár. A fáradt olajat, hűtőfolyadékot, fékfolyadékot és szervoolajat veszélyes hulladékként kell gyűjteni. **Továbbvitt eredmény.** A szintellenőrzések és a folyadékcsere technológiája közvetlenül beépül a Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása alfejezetbe, ahol a gyártói karbantartási táblázat szerint ütemezzük az itt tanult műveleteket, és ellenőrizzük azok dokumentálását.

35.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok. Járműgyártói javítási utasítások és karbantartási táblázatok, a CLP-rendelet (1272/2008/EK) a folyadékok veszélyességi besorolásához, a hulladéktörvény (2012. évi CLXXXV. törvény) és végrehajtási rendeletei, az ISO 22241 (AdBlue) és a Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok alfejezetben hivatkozott SAE/ACEA/DOT szabványok.

Ellenőrizendő állítások. A „0” revízió futásteljesítmény-intervalluma, a MIN–MAX közötti olajtérfogat, a leeresztő csavar nyomatéka, a fékfolyadék DOT-teszt határértéke, a hűtőfolyadék fagyáspont-táblázata, a klíma F-gáz képesítési előírások.

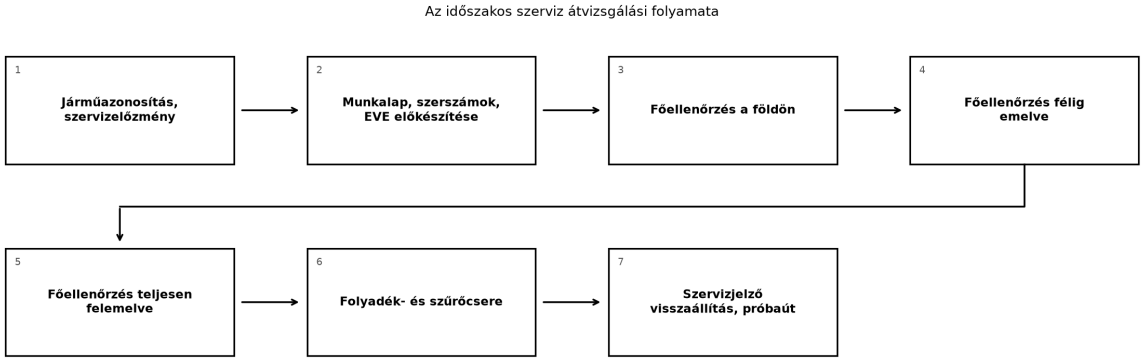
35.3. Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása

35.3.1. Motiváció

Egy 2018-as, 98 000 km-t futott benzines autó megrendelője azt kéri: „csak olajcserét kérek, ne akarjanak rám extra munkát sózni.” A szerviztanácsadó kiolvassa a szervizkönyvet, és látja, hogy ugyanakkor esedékes a fékfolyadék-csere és az utastérszűrő is, a gyártó előírása szerint. A jármű műhelybe áll, a szerelő átvizsgálja. A karbantartó az ütemterv alapján dolgozik, nem csak a panaszra reagál: így derül ki, hogy a hátsó fékbetét vastagsága a kopási határ közelében van, és a szervizjelző visszaállítása is a feladat része. Ebből a helyzetből tanuljuk meg, miért kell ismerni a **karbantartási ütemtervet** és a **főellenőrzés** sorrendjét.

35.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy időszakos szerviz átvizsgálási folyamatát, ahogy a jármű a földön, félig, majd teljesen felemelt állapotban vizsgáljuk.



35.6. ábra. Az időszakos szerviz átvizsgálási folyamata - A folyamat tanulási séma; a gyártói javítási utasítás a mérvadó.

A folyamat balról jobbra halad: először azonosítjuk a járművet és a szervizelőzményt, aztán előkészítjük a munkalapot és a szerszámokat. Ezután három magassági lépcsőben végezzük el a főellenőrzést, végül a cseréket, a visszaállítást és a próbautat.

35.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **karbantartási ütemterv** (maintenance schedule; „szervizintervallum”) a gyártó által meghatározott, időszakonként vagy futásteljesítmény szerint ismétlődő ellenőrzési, beállítási és cserefeladatok rendszere. A gyártói ütemterv tartalmazza, melyik tételt mikor, milyen feltételek mellett kell elvégezni.

Definíció. A **főellenőrzés** a jármű szisztematikus átvizsgálása: a földön, félig felemelve és teljesen felemelve végzett ellenőrzési sorozat, amely a forgalombiztonsági, környezetvédelmi és állapotfüggő tételeket foglalja magában.

Szabály. A gyártói karbantartási tervben megadott értékek és intervallumok **kötelező** iránymutatások a szerviz számára. Ha az ügyfél kérése vagy a műhely gyakorlata ettől eltér, a gyártói adat az elsődleges, és az eltérést dokumentálni kell, mert a jótállási és szavatossági igényeknél ez mérvadó **(ellenőrizendő: a gyártó karbantartási előírása)**.

Megjegyzés. A karbantartási ütemtervben két fő séma van: **idő- vagy futásteljesítmény-alapú** (pl. minden 12 hónapban vagy 15 000 km-kor, amelyik előbb bekövetkezik) és **rugalmas szerviz** (flexible service; a jármű terhelése, az olajminőség, a hidegindítások száma alapján a fedélzeti számítás jelzi a hátralévő kilométert). A rugalmas szerviz indikátor a modern motoroknál az olajminőség-érzékelőre és a vezérlő számítására épül; a pontos értékeket a gyártói adatbázis adja meg **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.

35.3.4. Felépítés és működés

35.3.4.1. A gyártói karbantartási ütemterv

A szervizkönyvben vagy gyártói adatbázisban szereplő ütemterv jellemzően a következő csoportokat tartalmazza:

- **Kis szerviz** (olajcsere-szerviz): motorolaj és olajszűrő cseréje, alapellenőrzések, folyadékszintek, lámpák, gumiabroncsnyomás, szervizjelző visszaállítása.

- **Nagy szerviz** (főszerviz): a kiszerviz elemei mellett légszűrő, utastéri szűrő, gyújtógyertyák (Otto-motor), üzemanyagszűrő (dízel), fékfolyadék, hűtőfolyadék, vezérműszíj/lánc ellenőrzése, fékbetétek, futómű-kopás vizsgálata, a diagnosztikai hibakód-memória leolvasása.
- **Kopási és korfüggő tételek**: vezérműszíj-készlet (jellemzően 5–8 év vagy 60 000–160 000 km), láncvezérlés (ha nem élettartam-kenésű, kopásvizsgálat), kiegészítő hajtószíj, vízpumpa, hűtőfolyadék és fékfolyadék cseréje. Ezek az értékek típusonként nagyon eltérők, ezért mindig a gyártói táblázatot kell használni **(ellenőrizendő: adott jármű gyártói adata)**.

A következő táblázat egy **szemléltető** karbantartási terv, nem konkrét típusra vonatkozik.

Karbantartási tétel	Időintervallum (példa)	Futásteljesítmény (példa)
Motorolaj és olajszűrő	1 év, vagy rugalmas jelzés	15 000–30 000 km
Utastéri szűrő	2 év	30 000 km
Légszűrő	2 év	30 000 km
Fékfolyadék	2 év	–
Gyújtógyertyák (Otto)	4 év	60 000 km
Vezérműszíj-készlet	5–8 év	90 000–160 000 km

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

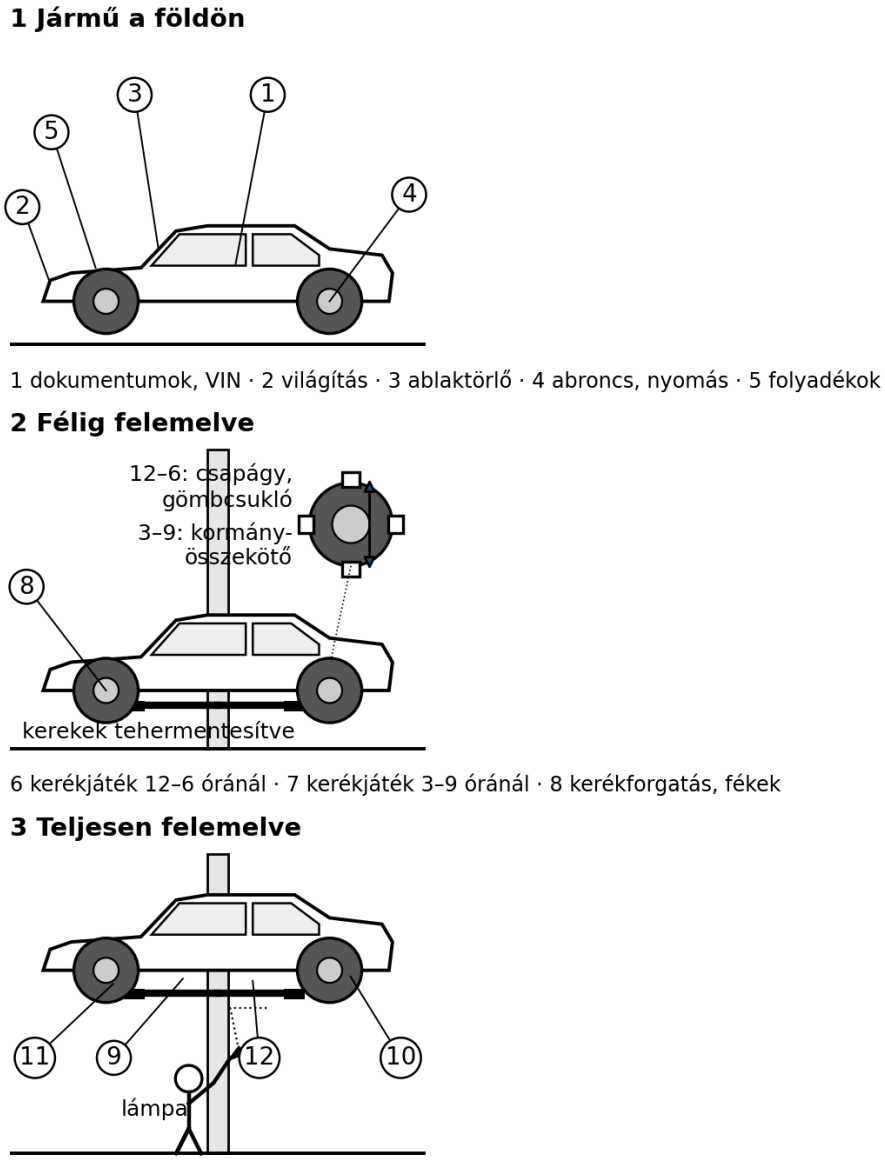
Előírás. A jármű karbantartását a gyártó által előírt intervallumok szerint kell elvégezni. A magyarországi forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételeiről szóló 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet a jármű műszaki állapotának fenntartását írja elő; a gyártói karbantartás elmaradása nem feltétlenül jogsértés, de baleset vagy hiba esetén a szavatossági igényt befolyásolja **(ellenőrizendő: hatályos rendelet, jótállási feltételek)**.

35.3.4.2. A jármű főellenőrzése

A főellenőrzés lényege a **rendszeres és nyomon követhető átvizsgálás**. A munkát három emelési szintre bontjuk:

1. **Jármű a földön** (motor leállítva, kézifék behúzva): dokumentumok ellenőrzése, futásteljesítmény rögzítése, szervizjelző/kopásjelző kiolvasása, műszerfali lámpák, külső világítás, abroncsok mintázata és nyomása, ajtók, zárak, elektromos ablakok, tükrök, ülések, biztonsági övek, klíma működésének gyors próbája.
2. **Jármű félig felemelve** (emelőoszlopokon, a kerék még a talajon vagy éppen tehermentesítve): kerékcsapágyak játéka, kerékfelfüggesztések, lengéscsillapítók, gömbcsuklók, kormányrudazat, fékcsövek és -tömlők szemrevételezése, fékbetét- és tárcsavastagság előzetes mérése, a hajtómű/futómű olajfolyások.
3. **Jármű teljesen felemelve**: minden alul lévő elem tüzetes vizsgálata: fékrendszer, üzemanyag- és fékcsövek, kipufogórendszer, motortér alulnézet, erőátvitel, kormányösszekötők, féltengelycsuklók, leeresztőcsavarok, motor- és váltóolaj leeresztése, szűrők cseréje.

A gyakorlati útmutatóban ezt a sorrendet dolgozzuk ki.



35.7. ábra. A jármű főellenőrzése három helyzetben: a földön, félig felemelve és teljesen felemelve

Az ábra számozott pontjai a három helyzet ellenőrzési helyeit mutatják. Félig felemelve a kerekek tehermentesítve vannak: a kereket 12 és 6 óránál megfogva a csapágy- és gömbcsuklójátékot, 3 és 9 óránál a kormányösszekötő játékát vizsgáljuk; teljesen felemelve lámpával, alulról nézzük át a csöveket, a kipufogót és a futómű gumielemeit. Az emelőkar tappancsai mindhárom helyzetben a gyártói emelési pontokon vannak.

35.3.5. Kidolgozott példák

1. példa (A szint). Egy jármű karbantartási ütemterve szerint az olajcsere-intervallum **12 hónap vagy 15 000 km**, amelyik előbb bekövetkezik. Az autó futásteljesítménye jelenleg 57 850 km, az utolsó olajcserét 55 000 km-nél végezték, 5 hónappal ezelőtt. Mikor esedékes a következő olajcsere?

- **Adott:** aktuális futás: 57 850 km; utolsó olajcsere: 55 000 km; intervallum: 15 000 km; idő: 12 hónap; eltelt: 5 hónap.
- **Keresett:** a következő olajcsere időpontja hónapban és km-ben.
- **Megoldás:** a km szerinti hátralévő: $15\,000 - (57\,850 - 55\,000) = 12\,150$ km. Idő szerint hátralévő: $12 - 5 = 7$ hónap. Az eddigi átlag $2\,850\,\text{km}/5\,\text{hónap} = 570\,\text{km/hónap}$; ezzel a 12 150 km kb. 21 hónap alatt fogyna el, ami több a hátralévő 7 hónapnál, ezért az idő a mérvadó: a következő olajcserét **7 hónap múlva** kell elvégezni (vagy 70 000 km-nél, ha az előbb következik be). A pontos ütemezést a műhely számítógépe követi a gyártói adatbázisnak megfelelően.
- **Ellenőrzés:** az intervallum logikája: az előbbi esemény a mérvadó. ∎

2. példa (B szint). A B-oszlopon lévő gumiabroncsnyomás-matrica szerint az első kerekek előírt nyomása 2,3 bar, a hátsóké 2,1 bar. A mérőműszer az első kerekeken 1,9 bar értéket mutat. Hány százalékkal alacsonyabb a mért nyomás az előírtnál? A gumiabroncs hőmérséklete 15 °C, a jármű hideg.

- **Adott:** $p_{\text{előírt}} = 2{,}3\,\text{bar}$; $p_{\text{mért}} = 1{,}9\,\text{bar}$.
- **Keresett:** az eltérés százalékban.
- **Képlet:** $\Delta p = \frac{p_{\text{előírt}} - p_{\text{mért}}}{p_{\text{előírt}}} \cdot 100\%$.
- **Behelyettesítés:** $\Delta p = \frac{2{,}3 - 1{,}9}{2{,}3} \cdot 100\% = \frac{0{,}4}{2{,}3} \cdot 100\% \approx 17{,}4\%$.
- **Ellenőrzés:** a 0,4 bar különbség a 2,3 bar közel 17%-a. Ilyen eltérés befolyásolja a fogyasztást, a gumiabroncs kopását és a menetstabilitást, ezért a nyomást be kell állítani az előírt értékre. ∎

Hibás példa. A szerelő a leeresztőcsavar helyett a váltó leeresztőcsavarját nyitja meg, mert nem követi a gyártói dokumentációt. A kézi váltó olaját ereszti le, a motorolajat nem cseréli, majd a motorba túltölti az olajat. Ez a hiba a szervizjelző visszaállítása után is rejtve marad, és károsíthatja a motort. Ezért a leeresztő- és feltöltőhelyeket mindig a járműspecifikus adatból kell azonosítani **(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)**.

35.3.6. Minőségellenőrzés

A főellenőrzés során a következő értékeket és állapotokat kell mérni vagy megfigyelni, mindig a gyártói előíráshoz vagy a hatósági kopási határhoz viszonyítva:

- **Gumiabroncsnyomás:** digitális nyomásmérővel, hideg abroncson, a B-oszlop matricája vagy a gyártói adat szerint; tipikus személyautó-értékek 2,0–2,8 bar között **(ellenőrizendő: adott jármű adata)**.
- **Fékbetét-vastagság:** tolómérővel, a gyártói minimális vastagság (pl. 3 mm betét + hátlemez) **(ellenőrizendő: gyártói kopási határ)**; a hatósági vizsgálaton a beépíthető legkisebb vastagság szabályozott.
- **Féktárcsa vastagság:** mikrométerrel, a tárcsán jelzett minimális vastagság (pl. 22,0 mm) **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.
- **Akkumulátor:** indítási feszültség mérése, töltési feszültség, nyugalmi áram; a hidegindító áram szerint **(ellenőrizendő: EN 50342-1, járműspecifikus adat)**.
- **Fagyáspont:** hűtőfolyadék refraktométerrel; a szükséges védettség legalább −25 °C vagy a gyártó szerint **(ellenőrizendő: gyártói ajánlás)**.
- **Fékfolyadék:** nedvességtartalom-mérővel (forráspont), 2 éves ciklus, a DOT-jelölés mellett (DOT itt minőségi osztály) **(ellenőrizendő: gyártói előírás)**.
- **Vezérműszíj/lánc állapota:** repedés, kopás, zaj; a cseréintervallum a gyártói táblázatból **(ellenőrizendő)**.

- **TPMS:** a keréknyomás-ellenőrző rendszer kijelzőjének leolvasása, a szenzorok állapota; a tanítási gyakorlatban a gyártói diagnosztika szerinti tanulási mód **(ellenőrizendő)**.

35.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy 2015-ös, 120 000 km-t futott dízel autó tulajdonosa szervizjelző-jelzéssel érkezik. A szerviztanácsadó kiolvassa a szervizkönyvet, és látja, hogy a gyártói ütemterv szerint 120 000 km-nél nagy szerviz esedékes: motorolaj, olajszűrő, légszűrő, utastérszűrő, üzemanyagszűrő, fékfolyadék, valamint a vezérműszíj ellenőrzése. A műhely a főellenőrzést követi: a jármű földön, félig, majd teljesen felemelve. A futóművizsgálat során a hátsó lengéscsillapító olajfolyását találják, a fékbetétek kopási határ alatt vannak, és a klíma hűtőközegnyomása alacsony. A hibákat a gyártói előírás szerint javítják, a szervizjelzőt visszaállítják, és a munkalapon dokumentálják. A próbaút és az EOBD-readiness ellenőrzés után a jármű távozhat. A tanulság: **a szervizjelző nem csak olajcserét jelent**, hanem a gyártói ciklus összes tételét; az átvizsgálás minden lépése megelőzi a későbbi, drágább meghibásodást.

35.3.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

HV-biztonság. Hibrid vagy elektromos jármű esetén a karbantartási munkák előtt a nagyfeszültségű (HV) rendszer feszültségmentesítését a gyártói eljárás szerint kell elvégezni; erre képzett, jogosult személy végezheti. A hagyományos belső égésű járművön e fejezetben a 12 V-os rendszeren dolgozunk, de a HV-rendszerű járműveknél a Nagyfeszültségű rendszerek biztonsága fejezetet kell alkalmazni.

35.3.8.1. Cél

Az időszakos szerviz átvizsgálásának elvégzése, a szükséges csere- és ellenőrző műveletek végrehajtása, a szervizjelző visszaállítása.

35.3.8.2. Jármű- és adatazonosítás

- Járműazonosító szám (VIN) leolvasása, kilométeróra-állás rögzítése.
- Gyártói karbantartási ütemterv és javítási adatbázis lekérdezése (típus, motor, felszereltség).
- Munkalap előkészítése, az ügyfél nyilatkozata a panaszokról.

35.3.8.3. Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok

Emelő (oszlopos emelő vagy bakok), nyomatékkulcs, kerékékek (kerékblokkoló ékek), olajszűrőkulcs, olajgyűjtő edény, gyűjtőedények, digitális nyomásmérő, tolómérő, mikrométer, multiméter, akkumulátor-tesztelő, refraktométer, fékfolyadék-tesztelő, diagnosztikai rendszerteszter, gyártói diagnosztika (szervizjelző visszaállításához), gyártó által előírt motorolaj, szűrők, fékfolyadék, tömítések, új leeresztőcsavar és tömítőgyűrű (ha a gyártó előírja).

35.3.8.4. Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések

- **Figyelem.** Jármű alatt csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn vagy megfelelő teherbírású bakokon szabad dolgozni. Csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni **tilos**.
- **Környezetvédelem.** A fáradt olajat, fékfolyadékot, hűtőfolyadékot és a szűrőket szelektíven, veszélyes hulladékként kell gyűjteni (a hulladékokról szóló törvény és a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó rendeletek szerint) **(ellenőrizendő: hatályos jogszabályok)**.
- **Figyelem.** A klíma hűtőközegét (F-gázt) a légkörbe engedni **tilos**; a kezeléséhez képesítés szükséges **(ellenőrizendő: hatályos uniós és hazai F-gáz szabályozás)**.
- A kipufogógáz-elszívást zárt térben járó motornál biztosítani kell.

35.3.8.5. Számozott munkalépések

1. **Jármű a földön**

   - Ellenőrizzük a VIN-t, a futásteljesítményt, a szervizelőzményeket.
   - Rögzítjük a hibakód-memóriát (OBD/EOBD) a rendszerteszterrel; a meglévő hibakódokat nem töröljük a hiba elhárítása nélkül.
   - Kapcsoljuk le a gyújtást, kézifék be, sebességváltó P/N állásban.
   - Szemrevételezés: karosszéria sérülései, lámpabúrák, szélvédők, tükrök, gumiabroncsok mintázata, szelepek és szenzorok.
   - Mérjük meg a gumiabroncsnyomást hidegen; állítsuk be a gyártói értékre; a TPMS-t a gyártói eljárás szerint tanítsuk, ha szükséges.
   - Végezzük el a folyadékszint-ellenőrzéseket: motorolaj (pálca), hűtőfolyadék, fékfolyadék, szervofolyadék (ha van), a klíma működésének próbája (a kiáramló levegő hőmérséklete); a hűtőközeg töltetét csak képesített szerelő ellenőrizheti hűtőközeg-szervizgéppel.
   - Indítsuk be a motort, ellenőrizzük a műszerfali figyelmeztetőket, a klímát, a világítást, az ablaktörlőt, az ablakemelőket.

2. **Jármű félig felemelve**

   - Emeljük a járművet a gyártói emelési pontokon (reteszelt műhelyi emelővel) úgy, hogy a kerekek éppen elemelkedjenek a talajtól (kb. 5–10 cm), így szabadon foroghatnak és mozgathatók, és hozzáférünk a kerékjáratokhoz, a kormány- és felfüggesztési elemekhez. Ebben a magasságban a jármű alá nem megyünk be; a gömbcsukló- és lengőkarholtjáték terhelt állapotú vizsgálatát külön, a gyártói eljárás szerint végezzük.
   - Vizsgáljuk a kerékcsapágy játékát: markoljuk meg a kereket 12 és 6 óránál, mozgassuk; a játék a gyártói határértéken belül legyen.
   - Ellenőrizzük a kormányösszekötőt, a stabilizátor-rudat, a gömbcsuklókat, a lengéscsillapító tokokat, a féktömlők állapotát.
   - Mérjük meg a fékbetét-vastagságot a féknyereg ablakán keresztül, tolómérővel; a határérték alatt cserét tervezünk.
   - Szemrevételezés a tárcsán, dobokon, fékcsöveken.

3. **Jármű teljesen felemelve**

   - Emeljük a járművet teljes magasságba, biztosítsuk az alátámasztást.
   - Vizsgáljuk alulról: kipufogórendszer rögzítései, üzemanyagtartály, fékvezetékek, futómű-kopások, hajtómű-kifolyások, féltengelycsuklók védőgumik.

- Végezzük el a leeresztési műveleteket: motorolaj, váltóolaj, hűtőfolyadék (a gyártói periódus szerint). A leeresztőcsavarokat nyomatékkulccsal, a gyártói nyomatékkal húzzuk meg **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.
- Cseréljük az olajszűrőt, a légszűrőt, az utastéri szűrőt, az üzemanyagszűrőt (ha a tervben szerepel).
- Vizsgáljuk a vezérműszíj vagy lánc állapotát, a szíjfeszítőt, a segédberendezések hajtószíját. A vezérműszíj cseréjét a gyártói intervallumnak megfelelően ütemezzük **(ellenőrizendő: gyártói periódus)**.
- Ellenőrizzük a hűtőrendszer tömítettségét, a gyári töltetnyomást, a termosztát nyitását ha szükséges.
- Töltsük fel a motorolajat a gyártói töltetmennyiség és viszkozitás szerint (pl. 5,4 l, 5*W*-30). A pontos mennyiséget a nívópálcával ellenőrizzük **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.

4. **Utolsó tételek és szervizjelző visszaállítása**

   - Végezzük el a fékfolyadék-cserét a gyártói eljárás szerint, légtelenítéssel; a használt folyadékot gyűjtsük.
   - Ellenőrizzük az akkumulátort: feszültség, hidegindító áram, töltési feszültség. Ha csere szükséges, a gyártói folyamat szerint cseréljük, és regisztráljuk az új akkumulátort a fedélzeti hálózatban (az akkumulátor-regisztrációt igénylő típusoknál).
   - Töröljük a szervizjelzőt a gyártói diagnosztikával vagy a gyártó által előírt kézi kombinációval **(ellenőrizendő: típusspecifikus eljárás)**.
   - Csatlakoztassuk a rendszertesztert; csak a már elhárított hibák kódját töröljük (elhárítatlan hibakódot nem törlünk). A törlés a readiness-monitorokat nullázza, ezért a próbaút (gyártói vezetési ciklus) után ellenőrizzük, hogy az EOBD-readiness monitorok újra „kész” állapotúak-e, és műszaki vizsga előtt erről tájékoztassuk az ügyfelet.
   - Végezzünk próbautat, majd ellenőrizzük a folyadékszinteket és a tömítettséget.
   - Töltsük ki a munkalapot, a szervizkönyvet, és rögzítsük a következő esedékességet.

35.3.8.6. Dokumentálás

A munkalapon szerepeljen: VIN, futásteljesítmény, elvégzett tételek, felhasznált anyagok és mennyiségek, meghúzási nyomatékok, mért értékek (fékbetét, nyomás, akkumulátor), a szervizjelző visszaállításának ténye, a következő esedékes szerviz időpontja (km és hónap), az észlelt rendellenességek és a javasolt további munkák.

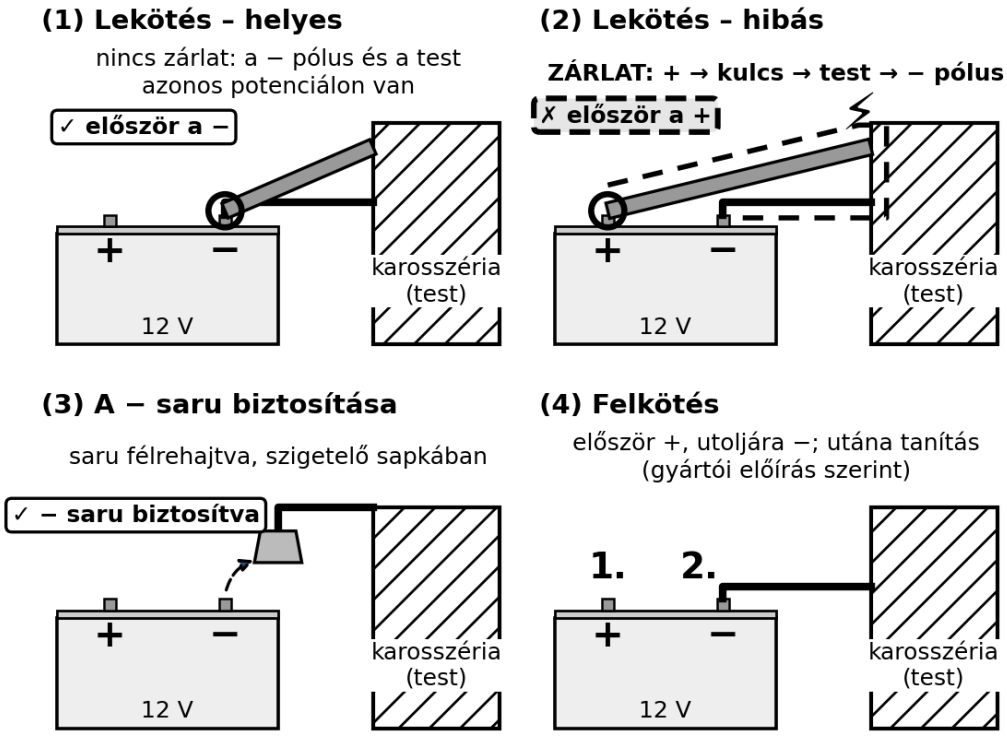
35.3.9. Receptek és eljárások

35.3.9.1. Akkumulátor le- és felkötése

Eljárás. A 12 V-os akkumulátor lekötése és felkötése a gyártói sorrend betartásával:

1. Győződjünk meg arról, hogy a gyújtás ki van kapcsolva, és a gyártó által előírt adatmentési, ablakemelő- és kormányszög-tanítási vagy egyéb eljárásokat elvégeztük, ha szükséges.
2. Vegyük le a negatív (test) saru csatlakozóját szigetelt kulccsal, és tegyük félre úgy, hogy ne érjen a kapocshoz.
3. Vegyük le a pozitív saru csatlakozóját.
4. Az eltávolítás után végezzük el a szükséges munkát.
5. Felkötéskor először a pozitív sarut csatlakoztatjuk, majd a negatívat.

6. Ellenőrizzük a kapcsok feszességét, a fedélzeti rendszerek működését, majd a gyártói előírás szerinti tanításokat (pl. ablakemelő, kormányszögszenzor, TPMS, elektromos rögzítőfék).



35.8. ábra. Akkumulátor le- és felkötése: a saruk sorrendje, helyes és hibás eset

A hibás képen a szaggatott vonal a zárlati áram útja: pozitív pólus → kulcs → karosszéria → testkábel → negatív pólus. Ha a negatív sarut oldjuk először, a kulcs a testhez érve sem okoz zárlatot, mert a negatív pólus és a karosszéria azonos potenciálon van.

Figyelem. A sorrend felcserélése esetén a testen keresztül zárlat keletkezhet, ami szikrát, sérülést vagy elektronikai károsodást okozhat. Töltéskor az akkumulátor durranógázt (hidrogént) fejleszt; nyílt lángtól, szikrától távol kell tartani.

35.3.9.2. Szervizjelző visszaállítása

Eljárás. A szervizjelző visszaállítása típusfüggő, de általános lépések:

1. Olvassuk ki a gyártói adatbázisból a pontos módszert (diagnosztikai műszer menüpont, fedélzeti kombináció, vagy mobilalkalmazás).
2. Kapcsoljuk be a gyújtást (motor nem jár).
3. Lépjünk be a diagnosztikai rendszerbe, válasszuk ki a „szerviz/karbantartás” menüt.
4. Válasszuk ki a megfelelő szervizintervallumot (ha a jármű többféle intervallumot támogat).
5. Végezzük el a visszaállítást, és erősítsük meg.
6. Kapcsoljuk ki a gyújtást, majd várjunk a gyártói idő szerint (pl. 10 s), és kapcsoljuk vissza, hogy ellenőrizzük a visszaállítást.
7. Ha az érték nem törlődik, ismételjük meg, vagy használjunk gyártói diagnosztikát.

Hiba. A visszaállítás elmulasztása után a műszerfalon továbbra is világít a szervizjelző, és az ügyfél reklamálni fog. A hibás intervallum kiválasztása (pl. az olajcsere-szerviz helyett a nagy szervizét) téves ütemezéshez vezet.

35.3.10. Tipikus hibák

1. **Hibás emelési pont használata.** A szerelő a küszöböt vagy a padlólemezt emeli, ami deformációt okoz. **Helyes gyakorlat:** mindig a gyártói emelési pontokon, emelőtalppal ellátott oszlopos emelőt használunk, és ha szükséges, bakokkal alátámasztunk.
2. **Az akkumulátor le- és felkötési sorrendjének felcserélése.** A negatív sarut kell először levenni és utoljára feltenni. A rossz sorrend ívhegesztő hatást okozhat a test és a szerszám között.
3. **A leeresztő- és feltöltőhelyek összekeverése.** A motorolaj és a váltóolaj csavarja könnyen összetéveszthető; a rossz nyílás megbontása maradandó kárt okoz. A gyártói adatot mindig azonosítani kell.
4. **A szervizjelző visszaállításának elmaradása.** A mechanikai munka elvégzése után a szervizjelzőt is törölni kell, különben az ügyfél nem tudja, mikor következik a következő karbantartás.
5. **A fékfolyadék- vagy hűtőfolyadék-csere elhanyagolása.** A periódus lejárt, de a fékfolyadék nedvességtartalma nő, a hűtőfolyadék korróziógátlója lebomlik; ezeket a gyártói periódus szerint cserélni kell.

35.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az akkumulátor lekötésekor először a pozitív sarut kell levenni. Indokold röviden.
2. Számítás: Egy autó szervizintervalluma 15 000 km vagy 12 hónap. Az utolsó szerviz 60 000 km-nél volt, 6 hónappal ezelőtt. Jelenleg 68 000 km. Mennyi van hátra km-ben és hónapban, és melyik következik előbb?
3. Mi a különbség a hagyományos (fix) és a rugalmas szervizintervallum között? Melyik járműelem jelzi a rugalmas szerviz hátralévő értékét?
4. Sorold fel a főellenőrzés három emelési szintjét, és adj mindegyikhez egy jellemző ellenőrzést.
5. Mi a hiba az alábbi leírásban? „A szerelő a műszerfalon kigyulladt szervizjelző láttán csak az olajat és az olajszűrőt cseréli, majd a gyújtást ki-be kapcsolja; a jelzés eltűnik, ezért biztos a sikeres karbantartás.”
6. Miért kell az új akkumulátort a fedélzeti hálózatban regisztrálni bizonyos típusoknál? (Röviden.)

35.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Írd le a karbantartási ütemterv fogalmát, és sorold fel a kis szerviz legjellemzőbb tételeit (legalább négyet).

2. feladat (B). Egy jármű gyártói előírása szerint a vezérműszíj cseréje 6 év vagy 90 000 km, amelyik előbb bekövetkezik. Az autó most 5,5 éves és 88 000 km-t futott. Mikor esedékes a csere, és miért?

3. feladat (C). Műhelyi munkalapot készítesz. A járművön a jobb első fékbetét vastagsága 4,5 mm, a gyártói minimális érték 3,0 mm. Az első tárcsa vastagsága 23,1 mm, a tárcsán jelzett minimális vastagság 21,0 mm. Fékfolyadék nedvességtartalma 3%. A gyártói karbantartási terv szerint a fékfolyadék 2 évente cserélendő, az utolsó csere 3 éve volt. Melyik tételeket kell javítani vagy cserélni a jelenlegi szervizben? Indokold.

4. feladat (B). Állítsd helyes sorrendbe a következő munkalépéseket, és indokold a sorrendet: (a) hűtőfolyadék-csere; (b) jármű azonosítás; (c) akkumulátor lekötése; (d) gumiabroncsnyomás ellenőrzése; (e) motorolaj leeresztése; (f) szervizjelző visszaállítása; (g) hibakód-olvasás.

5. feladat (D). Egy műhelyfőnök panaszkodik: az egyik szerelő a jármű átvizsgálása során elfelejtette felhúzni a kéziféket, majd a kocsit emelőre tette. A jármű félig felemelt állapotban elmozdult. Mely munkabiztonsági szabályt sértették meg, és hogyan előzhető meg? Fogalmazd meg a „Biztonsági korlát” elvét is.

35.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Először a negatív (test) sarut kell levenni, hogy ne keletkezhessen zárlat a szerszám és a test között. A felkötésnél fordítva: először a pozitív, utána a negatív.
2. Km szerint hátralévő: $15\,000 - (68\,000 - 60\,000) = 7\,000$ km. Idő szerint: $12 - 6 = 6$ hónap. Az eddigi átlag $8\,000\,\text{km}/6\,\text{hónap} \approx 1\,330\,\text{km/hónap}$, így a hátralévő 7 000 km kb. 5,3 hónap alatt fogy el: a 75 000 km-es határ várhatóan előbb jön el, a szerviz kb. 5 hónap múlva (75 000 km-nél) esedékes; ha a használat lassul, legkésőbb 6 hónap múlva. A pontos számítást a gyártói adatbázis végzi.
3. A fix intervallum rögzített km/idő, a rugalmas a használati körülmények alapján számolja a hátralévő élettartamot. A rugalmas szervizhez olajminőség-érzékelő és fedélzeti számítás szükséges.
4. Földön: külső világítás, abroncsnyomás; félig emelve: kerékcsapágy, fékbetét; teljesen felemelve: fékcsövek, kipufogó, leeresztések.
5. A hiba: a szervizjelző törlése nem a karbantartás elvégzését igazolja, és ha a jelzés magától eltűnik, az nem biztosítja a tételek elvégzését. A gyártói tételeket kell végrehajtani, majd a szervizjelzőt a gyártói eljárás szerint visszaállítani, és a szervizkönyvbe bejegyezni.
6. Az akkumulátor-regisztráció azért szükséges, mert az energiagazdálkodás a töltési stratégia és a start-stop funkció optimalizálásához tudnia kell az akkumulátor korát, kapacitását; enélkül a rendszer nem tölt megfelelően, és az akkumulátor idő előtt tönkremegy. A pontos eljárást a gyártói diagnosztika adja meg.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A). A karbantartási ütemterv a gyártó által meghatározott, időszakonként vagy futásteljesítmény szerint ismétlődő ellenőrzési, beállítási és cserefeladatok rendszere. Jellemző kis szerviz tételek: motorolaj csere, olajszűrő csere, folyadékszint-ellenőrzések, gumiabroncsnyomás beállítás, világítás-ellenőrzés, szervizjelző visszaállítása.

2. feladat (B). Az autó 5,5 év, és 88 000 km. Az idő szerinti határ 6 év, tehát még 0,5 év hátra. A km szerinti határ 90 000 km, tehát 2 000 km van hátra. Mivel 2 000 km várhatóan hamarabb telik el, mint fél év, a csere a 90 000 km elérésekor esedékes, vagy legkésőbb 6 éves korban, amelyik előbb bekövetkezik.

3. feladat (C). A fékbetét 4,5 mm vastag, a minimum 3,0 mm, tehát még nem éri el a kopási határt, de a fékrendszer átvizsgálása javasolt. A féktárcsa 23,1 mm, a minimum 21,0 mm, tehát a tárcsa még jó. A fékfolyadék nedvességtartalma 3%, a gyakorlatban 3% felett cserét jelez (a pontos határértéket a gyártói adat adja meg); az utolsó csere 3 éve volt, a gyártói periódus 2 év, ezért a fékfolyadékot cserélni kell a jelen szervizben. A fékbetétet csak akkor cseréljük, ha a vastagsága a minimális értékhez közelít vagy egyenetlen kopást mutat.

4. feladat (B). Helyes sorrend: (b) jármű azonosítás, (g) hibakód-olvasás, (d) gumiabroncsnyomás ellenőrzése, (e) motorolaj leeresztése, (a) hűtőfolyadék-csere, (f) szervizjelző visszaállítása; a (c) akkumulátor-lekötés opcionális, csak a gyártói előírás szerint, a villamos beavatkozás előtt. Az azonosítás és a hibakód-olvasás a munka elején történik, hogy ismerjük a jármű állapotát. Az akkumulátor lekötése olaj- és hűtőfolyadék-cseréhez nem szükséges, sőt a modern járműnél

adaptációvesztést és újratanítási igényt okozhat, a szervizjelző visszaállításához és a hűtőrendszer légtelenítéséhez pedig áram kell; ezért a (c) lépés csak akkor kerül be, ha a munka (például villamos alkatrész cseréje) a gyártó szerint megköveteli. A nyomásellenőrzés a földön végezhető. A szervizjelző visszaállítása a munka végén, a próbaút és a szintek ellenőrzése után.

5. feladat (D). Megsértették a jármű biztonságos rögzítésének kötelezettségét. A járművet emelés előtt kézifékkel és sebességváltóval (P vagy 1. fokozat) ki kell biztosítani; a kerekeket ékekkel is meg kell támasztani. A félig felemelt állapotban a jármű mozgásveszélyes, ezért mindig az emelési pontokon, alátámasztással kell dolgozni. A **Biztonsági korlát** szerint: „A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.”

35.3.14. Rövid összefoglaló

A karbantartási ütemterv a gyártó által meghatározott, idő- vagy futásteljesítmény-alapú, esetleg rugalmas szervizintervallumok rendszere. A főellenőrzés három emelési szintje – földön, félig, teljesen felemelve – biztosítja, hogy a jármű forgalombiztonsági, környezetvédelmi és állapotfüggő tételeit szisztematikusan ellenőrizzük. A szerviz során a gyártói adat az elsődleges: a leeresztő- és feltöltőhelyek, meghúzási nyomatékok, folyadékmennyiségek, vezérműszíj-csere periódusok és a szervizjelző visszaállítási mód mind a típusra érvényes adatból származnak. Az akkumulátor lekötésekor a negatív sarut vesszük le először, felkötéskor a pozitívat tesszük fel először; egyes típusoknál az új akkumulátort regisztrálni kell. A munkát mindig dokumentáljuk, és a szervizjelzőt csak a ténylegesen elvégzett karbantartás után állítjuk vissza. **Továbbvitt eredmény.** Az időszakos szerviz ellenőrzőlista szerkezetét és a dokumentációs fegyelmet később az Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben alfejezet használja fel a szervizteljesítmény és a fogyasztóvédelmi elvárások bemutatására.

35.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói karbantartási ütemtervek és javítási adatok (ellenőrizendő: adott jármű típusra vonatkozó gyártói táblázat, meghúzási nyomatékok, intervallumok).
- 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet a forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételeiről (ellenőrizendő: hatályos módosítások).
- Hulladékgazdálkodási jogszabályok (a hulladékokról szóló törvény és a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó rendeletek) (ellenőrizendő: aktuális jogszabályszám).
- F-gáz szabályozás (uniós és hazai) (ellenőrizendő: hatályos előírás).
- EN 50342-1 szabvány az indítóakkumulátorokra (ellenőrizendő: aktuális kiadás).
- A szervizjelző visszaállítására és az akkumulátor-regisztrációra vonatkozó gyártói diagnosztikai eljárások (ellenőrizendő: típusspecifikus menet).

35.4. Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása

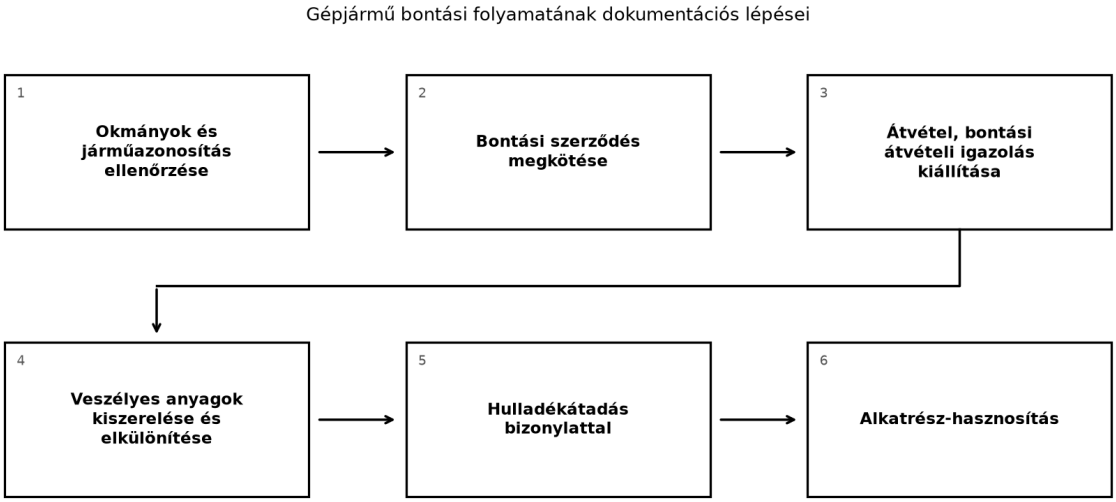
35.4.1. Motiváció

A javítóműhelyi munka akkor is komoly felelősség, ha éppen nem csavart húzunk meg, hanem dokumentumot töltünk ki. Egy sérült autó kárfelvétele, egy használtautó-átadás vagy egy kiöregedett jármű bontásba adása során ugyanúgy a szakmai pontosság, az ellenőrizhetőség és a jogkövető magatartás dönti el, hogy az ügyfél védve van-e, a szerviz pedig elkerüli-e a vitát. Ez az alfejezet a kárfelvétel, az értékesítési dokumentáció és a gépjárműbontás adminisztrációját mutatja

be, szorosan építve a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetben tanult azonosítási rendre, és a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetben megismert anyagkezelési szabályokra.

35.4.2. Szemléletes kép: a bontási folyamat dokumentációs lánca

A gépjármű bontásba adása nem egyszerű „leadom a roncsot” esemény, hanem többlépéses okmányolási és anyagkezelési folyamat. Az alábbi folyamatábra a fő állomásokat szemlélteti.



35.9. ábra. Gépjármű bontási folyamatának dokumentációs lépései - Szemléltető folyamatábra; a hatósági lépések pontos okmány- és eljárási nevei ellenőrizendők.

A folyamat minden eleme dokumentációhoz kötött: ha egy lépés igazolása hiányzik, a jármű később sem a forgalomból történő kivonásnál, sem a hulladékelszámolásnál nem kezelhető szabályosan. A következő szakaszok ezt a láncot bontják ki.

35.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Kárfelvételi jegyzőkönyv. A sérült jármű állapotának, a sérülések helyének és mértékének, valamint a javításhoz szükséges munkák és alkatrészek rögzítése. Célja, hogy a biztosító, a műhely és az ügyfél számára azonos alapot adjon a kárrendezéshez.

Definíció. Kárkalkuláció. A szükséges alkatrészek, munkadíjak, fényezési és anyagköltségek előzetes vagy utólagos számszerű összegzése. A gyakorlatban célszoftverrel, például gyári adatbázisra épülő kalkulációs rendszerrel készül (ilyen típust említhetünk „Audatex jellegű rendszerként”), de a lényeg a tételes, ellenőrizhető összegzés.

Definíció. Használtjármű-állapotlap. Az eladó és a vevő által is áttekinthető dokumentum, amely rögzíti a jármű fő azonosító adatait, futott kilométerét, műszaki állapotát, ismert hiányosságait, javítási nyomait és a legfontosabb karbantartási pontokat. Célja, hogy az értékesítéskor a jármű állapota utólag is igazolható legyen.

Definíció. Bontási átvételi igazolás. Olyan bizonylat, amelyet arra feljogosított gépjármű-bontó állít ki a jármű végleges bontásba adásáról. Az ügyfél ezzel kezdeményezheti a jármű

forgalomból történő kivonását. (ellenőrizendő: a hatályos megnevezés és a kiállítás pontos feltételei).

Összefüggés. A kárkalkuláció alapképlete:

$$K = A + M + F + V,$$

ahol K a kalkulált kárösszeg (Ft), A az alkatrészköltség, M a mechanikai és karosszéria-munkadíj, F a fényezés (munkadíj és fényezőanyag), V az egyéb anyagok és hulladékkezelési díj. Az áfát a hatályos adójogszabályok szerint külön kell felszámítani (ellenőrizendő: az aktuális áfakulcs).

35.4.4. Kárfelvétel és kárkalkuláció elve

A műhelyben a kárfelvétel általában a biztosítási bejelentéssel vagy az ügyfél javítási megbízásával kezdődik. A szerelő feladata, hogy a sérült járművet pontosan azonosítsa (alvázszám, motorszám, futott kilométer, felszereltség), majd a sérüléseket tételesen rögzítse. A jó kárfelvétel nem csupán annyit mond, hogy „megsérült a bal első ajtó”, hanem megadja a deformáció irányát, a festék- és lakksérülések mértékét, a rejtett csatlakozó elemek állapotát, és azt, hogy biztonsági rendszerek (légzsák, övfeszítő) érintettek-e.

A kárkalkuláció elkészítésekor az alábbi elvet érdemes követni:

1. **Azonosítsd a járművet** a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetben tanult lépésekkel.
2. **Rögzítsd a sérüléseket** fényképeken és a kárfelvételi lapon.
3. **Tételesen határozd meg** a cserélendő és javítható alkatrészeket.
4. **Számold ki** a munkadíjakat a gyártói időnormák (ellenőrizendő: gyártói adat) és a fényezési munkák alapján.
5. **Készítsd el az összegzést** a fenti képlet szerint.

Példa. Egy hátsó sérülést szenvedett járműnél a becsült alkatrészköltség $A = 65\,000\,\text{Ft}$, a mechanikai és karosszéria-munkadíj $M = 84\,000\,\text{Ft}$, a fényezés (munkadíj és fényezőanyag) $F = 120\,000\,\text{Ft}$, az egyéb anyag és hulladékkezelési díj $V = 9\,500\,\text{Ft}$. A kalkulált kárösszeg:

$$K = 65\,000 + 84\,000 + 120\,000 + 9\,500 = 278\,500\,\text{Ft}.$$

Az ellenőrzés itt azt jelenti, hogy a kalkuláció tételei megegyeznek-e a kárfelvételi jegyzőkönyvvel, és az árak–munkaidők a kalkulációs adatbázis szerint indokolhatók-e.

35.4.5. Értékesítési dokumentáció és használt járművek állapotlapjai

A használtautó-átadás során a legfontosabb, hogy a vevő a jármű állapotáról reális, utólag is ellenőrizhető képet kapjon. Az állapotlap nem minőségi tanúsítvány, hanem tényszerű állapotrögzítés. A hiányosság elhallgatása nemcsak fogyasztóvédelmi vitához, hanem kártérítési felelősséghez is vezethet; ezért a műhelyben a becsületes, aláírt állapotlap jobban védi az eladót is, mint egy szóbeli ígéret.

Szabály. A használt jármű állapotlapját mindig az eladás előtt, megvilágított, tiszta járművön, lehetőleg emelőn vagy vizsgálóárokban kell felvenni. A bejegyzéseket a jármű tényleges állapotának megfelelően, rövid és érthető formában kell megadni, és a vevőnek aláírás előtt be kell mutatni.

Az állapotlap tipikus rovatai:

Rovat	Példa bejegyzés
Alvázszám, motorszám	egyezik az okmányokkal
Futott kilométer	142 300 km (ellenőrizendő: a műszeregység szerint)
Gumiabroncsok	205/55 R16 91V; elöl 5 mm, hátul 6 mm futófelület-mélység
Fékrendszer	tárcsák és betétek elöl 40%-os kopás, hátul 60%-os
Karosszéria	bal hátsó sárvédőn korábbi javítás nyoma
Olajszint és szervizállapot	motorolaj szint jó, a szervizperiódus 15 000 km vagy 12 hónap
Diagnosztika	EOBD-hibakód nincs, readiness-vizsgálat rendben

Az értékesítési érték becslésére a műhely gyakran használ érték-katalógus típusú adatbázist (ilyen típust említhetünk „Eurotax jellegű rendszerként”), amely a jármű korát, futásteljesítményét, felszereltségét és állapotát figyelembe véve ad irányárat. Ez azonban nem helyettesíti a valós műszaki állapotfelmérést.

Előírás. A használt jármű értékesítésekor a fogyasztóvédelmi előírások szerint nem lehet megtéveszteni a vevőt, és a jármű lényeges tulajdonságait a valóságnak megfelelően kell közölni. A jármű életkorának, futásteljesítményének, műszaki állapotának és korábbi sérüléseinek elhallgatása vagy manipulálása jogellenes (ellenőrizendő: a hatályos fogyasztóvédelmi jogszabályok és a Ptk. vonatkozó szakaszai). A kilométeróra-állás manipulálása, a kibocsátásvédelmi rendszer eltávolítása vagy a sérült jármű állapotlap nélküli értékesítése ugyancsak jogellenes.

35.4.6. Gépjárműbontás: tulajdonjog, okmányok, bontási szerződés és hatósági intézkedések

A gépjármű bontásba adása csak akkor szabályos, ha a bontó meggyőződött a jármű azonosságáról és a bontásra jogosult személyéről. A bontó nem fogadhat be olyan járművet, amelynek az okmányai hiányosak, vagy amelynek az alvázszáma, motorszáma nem egyezik a forgalmi okmányokkal.

Előírás. A bontás szabályozási alapja uniós szinten a hulladékká vált járművekről szóló irányelv (2000/53/EK – ellenőrizendő: hatályos állapot, az ELV-szabályozás felülvizsgálat alatt áll, új uniós rendelet léphet a helyébe), hazai szinten a hulladékról szóló törvény és a hulladékká vált gépjárművekről szóló kormányrendelet (ellenőrizendő: a pontos rendeletszám és a hatályos szöveg); az átvételi igazolás, a kiszerelési kötelezettségek és a hasznosítási arányok innen erednek. A gépjármű végleges bontásba adása hulladékgazdálkodási engedéllyel rendelkező bontóban történhet. A bontó köteles a jármű azonosságát ellenőrizni, bontási szerződést kötni, és a jármű átvételekor bontási átvételi igazolást kiállítani (ellenőrizendő: a hulladékká vált gépjárművekről szóló kormányrendelet), amellyel a tulajdonos a forgalmi engedély és a rendszám leadásával kezdeményezheti a jármű forgalomból történő kivonását (ellenőrizendő: a hatályos eljárás és okmánymegnevezések, a pontos formanyomtatványok). A bontás során veszélyes hulladék keletkezik, amelyre a hulladékgazdálkodási jogszabályok és a veszélyes hulladékra vonatkozó előírások érvényesek (ellenőrizendő: a hatályos jogszabályszámok, például a hulladékról szóló törvény és a végrehajtási rendeletek).

A bontási átvételi igazolás az a dokumentum, amely igazolja, hogy a járművet a bontó átvette, és az már nem kerül közúti forgalomba. Az ügyfél ezzel tudja a járművet a hatóságnál kivonatni. Az igazolást csak a bontási szerződés és a járműazonosítás elvégzése után szabad kiadni.

Eljárás. A gépjármű bontási átvételének okmányellenőrzése és adminisztrációja:

1. Azonosítsd a járművet: alvázszám, motorszám, forgalmi engedély adatai, törzskönyv (ellenőrizendő: az aktuálisan használt okmányok és elektronikus nyilvántartások).
2. Ellenőrizd a tulajdonjogot: adásvételi szerződés, számla, tulajdonjog-igazolás, szükség esetén meghatalmazás.
3. Rögzítsd az állapotot: fényképek minden oldalról, futott kilométer, fődarabok megléte vagy hiánya, látható sérülések.
4. Kösd meg a bontási szerződést: a felek adatai, jármű adatai, bontási díj vagy átvételi ár, a veszélyes anyagok kezelésének átvállalása.
5. Vedd át a járművet, állítsd ki a bontási átvételi igazolást, és add át az ügyfélnek a forgalomból történő kivonáshoz szükséges dokumentumokat.
6. Végezd el a veszélyes anyagok eltávolítását, és dokumentáld a hulladékátadást.
7. Vezesd a bontási nyilvántartást, és gondoskodj az alkatrészek, folyadékok további kezeléséről.

A bontási szerződésben rögzíteni kell, hogy a járművet a tulajdonos végleges bontásra adja át, és a bontó jogosult a veszélyes anyagok eltávolítására. A szerződés nélküli bontás jogvitát okozhat, ezért a műhelyben ezt a lépést soha ne hagyjuk el.

35.4.7. Veszélyes anyagok kezelése és adminisztrációja a bontásnál

A bontott járműben lévő folyadékok és anyagok a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetben tanult módon kezelendők. A bontóban ezen anyagok eltávolítása nem opcionális, hanem a hulladékgazdálkodási engedély feltétele.

Környezetvédelem. A gépjárműbontás során kiszerelt üzemanyag, motorolaj, hajtóműolaj, fékfolyadék, hűtőfolyadék, akkumulátorsav, klímaközeg és AdBlue veszélyes hulladék. Ezeket nem szabad a talajba, csatornába vagy a kommunális hulladékba engedni. A bontó köteles gyűjtőedényeket és kármentő tálcákat használni, a folyadékokat fajtánként elkülönítve tárolni, és csak hulladékgazdálkodási engedéllyel rendelkező átvevőnek átadni, a nyilvántartást vezetve (ellenőrizendő: a hatályos hulladékgazdálkodási előírások). A klímahűtőközeget F-gáz képesítéssel rendelkező személynek kell lefejtenie; légkörbe engedése tilos. A légzsák- és övfeszítő egységeket a gyártói előírás szerint kell kiépíteni vagy a bontóban kezelni, mert pirotechnikai anyagot tartalmaznak (ellenőrizendő: a gyártói előírás szerint).

Biztonsági korlát. Az üzemanyag leszívása tűz- és robbanásveszélyes: nyílt láng, szikra és dohányzás tilos, a leszívást földelt, zárt gyűjtőrendszerrel és jó szellőzés vagy elszívás mellett végezzük, a gyűjtőedény mellett poroltót tartunk. A légzsák- és övfeszítő egységek (pirotechnika) kiszerelése csak a gyártói várakozási idő és eljárás szerint, akkumulátor-lekötés után történhet (ellenőrizendő: gyártói adat); hibrid vagy elektromos jármű HV-rendszerét csak feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése után, arra képesített személy bonthatja.

A hulladékátadást bizonylattal kell dokumentálni. A bontónak a veszélyes hulladék nyilvántartásában fel kell tüntetnie az anyag fajtáját, mennyiségét, az átvevő nevét és az átadás időpontját. Ennek a papírnak akkor is meg kell lennie, ha az anyagot később hasznosítják, például az akkumulátort újrahasznosításra adják át.

35.4.8. Alkatrész-újrahasznosítás

A bontás során nem minden alkatrész lesz automatikusan hulladék. A használható motor, váltó, ajtó, lámpa, ülés, futóműelem és más fődarab értékesíthető vagy újra felhasználható, ha a bontó az alkatrészt megvizsgálta, és annak műszaki állapotát, származását dokumentálta. A biztonsági szempontból kritikus alkatrészek – fék, kormány, futómű, légzsák – csak akkor hozhatók forgalomba, ha a bontó ezeket a gyártói előírás vagy az arra vonatkozó szabályzat szerint ellenőrizte, és a bizonylaton feltüntette a jármű azonosítóját (ellenőrizendő: a használt alkatrészek forgalmazásának szabályai). A gumiabroncsokat azok állapota és kopása szerint kell osztályozni; a nem megfelelő abroncsot hulladékként kell kezelni.

Minőségellenőrzés. Az adminisztrációt ugyanúgy ellenőrizni kell, mint egy beállítási értéket. A fő ellenőrzési pontok:

- Az alvázszám és motorszám egyezése a járműön és az okmányokban.
- A kárfelvételi jegyzőkönyv és a fényképek teljessége.
- A kárkalkuláció tételei (alkatrész, munkaidő, fényezés) a kalkulációs adatbázis vagy a gyártói adat szerint.
- Az állapotlap aláírása és a vevő tájékoztatása.
- A bontási szerződés és a bontási átvételi igazolás megléte.
- A veszélyes hulladék átadási bizonylatai.

Valós életbeli alkalmazás. Ügyfél érkezik egy törött autóval, amelyet biztosítási kárra szeretne javíttatni. A műhely azonosítja a járművet, kárfelvételi jegyzőkönyvet vesz fel, fotókat készít, és a gyári adatbázis alapján kárkalkulációt készít. A kalkulációból kiderül, hogy az összkár meghaladja a jármű gazdasági javíthatóságát, ezért az ügyfél a bontás mellett dönt. A bontó ellenőrzi az okmányokat, megköti a bontási szerződést, eltávolítja a veszélyes anyagokat, bontási átvételi igazolást ad ki, és az ügyfél a hatóságnál kivonatja a járművet. A folyamat minden lépése dokumentálva van; ha később az ügyfél reklamál, a papírok megvédik a bontót.

35.4.9. Tipikus hibák

Hiba. A műhely kitölt egy állapotlapot, de a futott kilométert kerekítve, pontatlanul rögzíti. **Következmény.** A vevő később csalásra hivatkozhat, mert az adat nem felel meg a valóságnak. **Helyes gyakorlat.** A kilométeróra állását pontosan rögzíteni kell, és ha az óra állása kérdéses, azt is fel kell tüntetni.

Hiba. A bontó nem végzi el a légzsák és az övfeszítő szabályos kiépítését, hanem a járművet a pirotechnikai egységekkel együtt préseli. **Következmény.** Súlyos baleset, tűz vagy jogi felelősség. **Helyes gyakorlat.** A pirotechnikai alkatrészeket a gyártói előírás szerint kell eltávolítani és külön kezelni; a ki nem oldott egységet veszélyes anyagként kell tárolni.

Hiba. A bontó a fékfolyadékot a használt olajjal egy edénybe önti. **Következmény.** A keveredés miatt a hulladék nem hasznosítható megfelelően, és a nyilvántartás sem felel meg a valóságnak. **Helyes gyakorlat.** A folyadékokat fajtánként elkülönítve, feliratozott edényben kell gyűjteni, ahogyan az a Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben alfejezetben szerepel.

Hiba. A használtautó-értékesítő a jármű ismert sérülését nem tünteti fel az állapotlapon, mert szerinte „úgyis kiderül”. **Következmény.** A vevő megtévesztése miatt az eladó kártérítési felelősséggel tartozhat. **Helyes gyakorlat.** Minden ismert sérülést, javítást fel kell tüntetni; a nyilatkozat aláírásával az eladó is védi magát.

Továbbvitt eredmény. Az itt tanult dokumentációs fegyelem – azonosítás, tételes rögzítés, aláírt nyilatkozat, bontási igazolás – a Vizsgafelkészülés gyakorlati feladataiban jelenik meg, amikor a vizsgázónak egy használtautó-állapotlapot kell kitöltenie, vagy egy bontási folyamat okmányait kell sorrendbe raknia.

35.4.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A bontási átvételi igazolást a bontó állítja ki, miután ellenőrizte a jármű azonosságát. *(Válasz: igaz, ellenőrizendő a hatályos eljárás.)*
2. **Igaz vagy hamis?** A használtautó-állapotlap minden értékesítésnél kötelező hatósági okmány. *(Válasz: hamis; jogszabály nem írja elő kötelező formanyomtatványként, de a fogyasztóvédelmi elvek miatt erősen ajánlott.)*
3. **Gyors számolás.** Mennyi a károsszeg, ha $A = 120\,000\,\text{Ft}$, $M = 60\,000\,\text{Ft}$, $F = 80\,000\,\text{Ft}$ és $V = 5\,500\,\text{Ft}$? *(Válasz: 265 500 Ft.)*
4. Melyek a bontás során kiürítendő veszélyes folyadékok? Sorolj fel legalább négyet! *(Válasz: üzemanyag, motorolaj, fékfolyadék, hűtőfolyadék, akkumulátorsav, klímaközeg, AdBlue.)*
5. Miért kell a bontási szerződésben rögzíteni a veszélyes anyagok kezelésének átvállalását? *(Válasz: mert így egyértelmű, ki felel a hulladék eltávolításáért és kezeléséért, és a dokumentáció megfelel a hulladékgazdálkodási előírásoknak.)*

35.4.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a kárkalkuláció fogalmát, és írd fel az összegzési képletét!

2. feladat (A). Egy jármű kárfelvételénél az alkatrészköltség 42 500 Ft, a munkadíj 58 000 Ft, a fényezési munka 95 000 Ft, az egyéb anyagok és hulladékkezelés 7 800 Ft. Számítsd ki a kalkulált károsszeget, és ellenőrizd az eredményt!

3. feladat (B). Rendezd sorba a bontási átvétel lépéseit: (a) bontási szerződés megkötése, (b) járműazonosítás, (c) veszélyes anyagok eltávolítása, (d) bontási átvételi igazolás kiállítása, (e) hulladékátadási bizonylat kiállítása. Indokold a sorrendet!

4. feladat (B). Tölts ki egy használtautó-állapotlapot egy kitalált, 2018-as benzinüzemű autóra. Legalább nyolc rovatot adj meg, köztük a gumiabroncsok, a fékrendszer és a diagnosztika állapotát. Az adatokat reálisan vetted fel?

5. feladat (C). Mi a szakmai probléma azzal, ha egy bontó a fékfolyadékot és a motorolajat azonos tárolóedénybe önti, majd a nyilvántartásban csak „fáradtolaj” megnevezést szerepeltet? Milyen következményei lehetnek?

6. feladat (D). Egy ügyfél használtautó-értékesítés előtt azt kéri, hogy a műhely az állapotlapot ne dokumentálja, mert a vevő úgyis megveszi az autót. Hogyan járj el? Fogalmazd meg röviden, milyen jogi és szakmai érvekkel győznéd meg az ügyfelet a pontos állapotlap fontosságáról!

35.4.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Igaz. A bontási átvételi igazolás a bontó által kiállított dokumentum, feltéve, hogy a járműazonosítás megtörtént (ellenőrizendő: az aktuális eljárás).
2. Hamis. A használtautó-állapotlap nem kötelező hatósági okmány, de a fogyasztóvédelmi és szerződéses felelősség miatt erősen ajánlott, és a megtévesztés jogi következményekkel jár.

3. $K = 120\,000 + 60\,000 + 80\,000 + 5\,500 = 265\,500\,\text{Ft}$.
4. Üzemanyag, motorolaj, fékfolyadék, hűtőfolyadék, akkumulátorsav, klímaközeg, AdBlue.
5. Mert a bontási szerződés ezzel válik egyértelművé a hulladékkezelési kötelezettség tekintetében, és így a bontó bizonyítani tudja, hogy a veszélyes anyagokat a hatályos szabályok szerint kezeli.

1. feladat (A). A kárkalkuláció a javításhoz szükséges alkatrészek, munkadíjak, fényezési munkák és egyéb anyagok tételesen összegzett költségbecslése. Képlete: $K = A + M + F + V$, ahol A alkatrész, M munkadíj, F fényezés, V egyéb anyag és hulladékkezelési díj.

2. feladat (A). Adott: $A = 42\,500\,\text{Ft}$, $M = 58\,000\,\text{Ft}$, $F = 95\,000\,\text{Ft}$, $V = 7\,800\,\text{Ft}$. Keresett: K. Képlet: $K = A+M+F+V$. Behelyettesítés: $K = 42\,500+58\,000+95\,000+7\,800 = 203\,300\,\text{Ft}$. Ellenőrzés: az összeg reális, az egyes tételek pozitívak, a végeredmény nagyobb minden tételnél.

3. feladat (B). Helyes sorrend: (b) járműazonosítás, (a) bontási szerződés, (d) bontási átvételi igazolás kiállítása, (c) veszélyes anyagok eltávolítása, (e) hulladékátadási bizonylat. Indoklás: először az azonosságot és a tulajdonjogot kell tisztázni, utána a szerződést megkötni; a bontó a jármű átvételekor kiállítja az átvételi igazolást, amellyel az ügyfél a forgalomból kivonást kezdeményezheti; ezután következik az anyagok eltávolítása és a hulladékátadás bizonylatolása (ellenőrizendő: a hulladékká vált gépjárművekről szóló kormányrendelet).

4. feladat (B). A válasz egyéni, de például:

- alvázszám, motorszám: egyezik a forgalmi engedéllyel
- futott kilométer: 76 400 km
- gumiabroncsok: 225/45 R17 94W; elöl 4 mm, hátul 5 mm
- fékrendszer: elöl tárcsa 50%-os, hátul betét 70%-os
- karosszéria: bal első ajtón kisebb karc
- motorolaj: szint jó, csereesedékes 8 000 km múlva
- diagnosztika: EOBD-hibakód nincs, readiness rendben
- klíma: hűtőközeg nyomás rendben

Az adatok fiktívek, de reálisak.

5. feladat (C). A fékfolyadék glikol-alapú veszélyes hulladék, a motorolaj szénhidrogén-alapú olaj. Az összekeverésük miatt a hulladék nem hasznosítható megfelelően, és a nyilvántartás sem fedi a valóságot. Ez hulladékgazdálkodási szabálysértés, a bontó engedélyét veszélyezteti, és környezeti kockázatot is jelent. Helyes gyakorlat: fajtánként elkülönített, feliratozott edényekben gyűjteni, és a hulladékátadást pontosan bizonylatolni.

6. feladat (D). Meg kell magyarázni az ügyfélnek, hogy a pontos állapotlap nem a vásárlás meghiúsítását, hanem a későbbi viták megelőzését szolgálja. Ha az ügyfél elhallgat egy ismert hibát, az a fogyasztóvédelmi előírások és a polgári jogi felelősség szerint jogellenes lehet (ellenőrizendő: a hatályos fogyasztóvédelmi törvény és a Ptk. rendelkezései). A műhelynek a szakmai és jogi elvek szerint kell eljárnia, és a dokumentált állapotlapot az ügyfélnek aláírásra bemutatnia. Ha az ügyfél ezt megtagadja, a műhelynek meg kell fontolnia a munka elvállalását, vagy legalább írásban rögzítenie kell az elutasítást.

35.4.13. Rövid összefoglaló

A kárfelvétel, az értékesítési dokumentáció és a gépjárműbontás közös alapelve a tételes, aláírt, ellenőrizhető adminisztráció. A kárkalkuláció képlete $K = A + M + F + V$, ahol minden tétel a kárfelvételi jegyzőkönyvhöz és a gyártói adatbázis szerinti munkaidő- és alkatrészadatokhoz köthető. A használt járművek állapotlapja a valós állapot rögzítésére szolgál; a futott kilométer,

a fék, a gumiabroncsok, a karosszéria és a diagnosztikai állapot pontatlansága fogyasztóvédelmi következményekkel járhat. A gépjárműbontás csak az okmányok és a tulajdonjog ellenőrzése után, bontási szerződéssel végezhető; a bontó bontási átvételi igazolást állít ki, amellyel az ügyfél a járművet forgalomból kivonatja (ellenőrizendő: a hatályos eljárás). A bontás során az üzemanyagot, olajokat, fék- és hűtőfolyadékot, akkumulátorsavat, klímaközeget és AdBlue-t fajtánként elkülönítve kell gyűjteni, dokumentálni, és csak engedéllyel rendelkező átvevőnek átadni. **Továbbvitt eredmény.** A dokumentációs fegyelmet és a bontási okmányok sorrendjét a Vizsgafelkészülés gyakorlati feladatai ellenőrzik, ezért az azonosítás–szerződés–anyagkezelés–igazolás láncot pontosan kell ismerni.

35.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok. Magyar jogszabályok: a hulladékról szóló törvény és annak végrehajtási rendeletei; a fogyasztóvédelmi törvény és a polgári törvénykönyv szerződésszegésre vonatkozó részei; a gépjárműbontásra vonatkozó hulladékgazdálkodási előírások. Uniós háttér: a hulladékká vált járművekről szóló 2000/53/EK irányelv (ellenőrizendő: hatályos állapot és az új ELV-rendelet), a hulladékokra és az F-gázokra vonatkozó uniós rendeletek; hazai végrehajtás: a hulladékká vált gépjárművekről szóló kormányrendelet (ellenőrizendő: rendeletszám). Kalkulációs és értékbecslési adatbázisok: gyártói és katalógusjellegű, zárt adatbázisok (Audatex, Eurotax típusúak). Gyártói adatok: a veszélyes anyagok kiürítésére, a légzsák és övfeszítő kiépítésére vonatkozó bontási utasítások.

Ellenőrizendő állítások. A bontási átvételi igazolás megnevezése, formanyomtatványa és a kiállítás pontos feltételei; a forgalomból történő kivonás hatósági eljárása; a hulladékról szóló törvény és a végrehajtási rendeletek pontos jogszabályszámai és hatályos szövege; a fogyasztóvédelmi rendelkezések a használt jármű értékesítésére; a klímaközeg lefejtésére vonatkozó F-gáz képesítési követelmények; a légzsák- és övfeszítő egységek kezelésének előírásai; a gyártói munkaidő- és alkatrészadatok, valamint az áfakulcs aktuális értéke.

36 Hatósági műszaki vizsga

36.1. A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga

36.1.1. Motiváció

Egy műhelyben gyakori eset: megérkezik az ügyfél egy frissen vásárolt, külföldről behozott használt autóval, amelyet először kell Magyarországon forgalomba helyezni. Máskor az ügyfél olyan autót hoz, amelyre engedély nélkül szereltek fel utángyártott futóművet, LED-es izzót vagy másik motort, és a műszaki vizsgán elutasították. Szerelőként nem elég tudni a csavart meghúzni: pontosan kell ismerni, hogy milyen jogszabályi keretek között kerülhet egy jármű a közútra, milyen okmányok igazolják a műszaki megfelelőséget, és mikor van szükség egyedi műszaki vizsgálatra. Ha ezt ismered, el tudod kerülni, hogy az ügyfél olyan átalakítást kérjen, ami vizsgabukáshoz vezet, és a javítást is úgy tudod dokumentálni, ahogy a hatóság elvárja.

36.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy típustáblát a motortérben, egy forgalmi engedélyt a kesztyűtartóban, és egy gyári fényszórót a polcon. A típustáblán a gyártó, a járműkategória, az össztömeg és az azonosító szám (alvázszám/VIN) látható. A forgalmi engedély ugyanezeket az adatokat tartalmazza, mert a hatóság a nyilvántartásban ezeket köti össze. A fényszórón egy körben E betű és szám, mellette egy ENSZ-EGB előírásszám áll: ez jelzi, hogy az alkatrész típusjóváhagyással rendelkezik. A hatósági vizsgálat nem mást jelent, mint hogy ezt a három azonosítási láncot – jármű, okmány, alkatrész – a jogszabály követelményeihez hasonlítjuk.

36.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Forgalomba helyezés a jármű első alkalommal történő, közúti forgalomban való részvételre jogosító hatósági engedélyezése. **Forgalmi engedély** a hatóság által kiállított okmány, amely a jármű műszaki adatait, tulajdonosát/üzembentartóját és az egyes hatósági jelzéseket (például ideiglenes forgalomban tartási tilalom) igazolja. **Típusbizonyítvány** a gyártónak vagy a hatóságnak az a dokumentuma, amely tanúsítja, hogy egy jármű- vagy alkatrésztípus megfelel az előírt műszaki és környezetvédelmi követelményeknek. **Egyedi műszaki vizsgálat** olyan hatósági eljárás, amelyben nem sorozatgyártott, átalakított vagy összeépített járművet ellenőriznek, mert arra nincs érvényes, a konkrét járműre vonatkozó típusjóváhagyás.

Előírás. A járművek forgalomba helyezésének és időszakos műszaki vizsgálatának hazai alapját a 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet (forgalomba helyezés, forgalomban tartás) és az 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet (a közúti járművek műszaki megvizsgálása) és azok módosításai képezik **(ellenőrizendő: hatályos rendeletszámok, módosítások, pontos elnevezés)**. Az M, N és O kategóriájú járművek európai típusjóváhagyásának keretét az (EU) 2018/858 rendelet, az L kategóriájúakét az (EU) 168/2013 rendelet szabályozza **(ellenőrizendő: hatályos szöveg és kiegészítő felhatalmazáson alapuló jogi aktusok)**. Az ENSZ-EGB (UNECE) előírásokat

(ECE-előírások) a részes államok alkalmazzák; például a fényszórókra, fékekre, gumiabroncsokra vonatkozó ECE-előírások **(ellenőrizendő: a konkrét előírás számai, pl. ECE R112, R13/H, R30/R54)**.

36.1.4. A forgalomba helyezés folyamata

A sorozatgyártott járművek forgalomba helyezése Európában általában a gyártó által kiállított **megfelelőségi nyilatkozat (CoC, Certificate of Conformity)** alapján történik. Ezt a gyártó az uniós típusjóváhagyás alapján adja ki. A hazai hatóság a CoC-ban szereplő adatok alapján állítja ki a forgalmi engedélyt, és rendeli hozzá a magyar hatósági rendszámot. Nem uniós vagy régebbi jármű esetén nemzeti típusbizonyítvány vagy egyedi műszaki vizsgálat alapján történhet az engedélyezés.

Külföldről behozott használt jármű. Az eljárás tipikus lépései: eredetiségvizsgálat → forgalomba helyezés előtti műszaki vizsgálat (az adatok és a műszaki állapot megállapítása a CoC vagy a külföldi okmány adataival) → regisztrációs adó → forgalmi engedély és rendszám (ellenőrizendő: hatályos eljárás, illetékes hatóság). A CoC itt legfeljebb kiegészítő adatforrás.

Szabály. A jármű forgalmi engedélyében szereplő műszaki adatoknak (alvázszám, motorszám, szín, tengelyterhelés, össztömeg, ülőhelyek, kategória) egyezniük kell a járművön található gyári adattáblával és a jármű tényleges állapotával. Eltérés esetén a jármű forgalomban tartása jogellenes, és a műszaki vizsgán a jármű elutasításra kerül.

A jármű azonosító adatait a Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok alfejezetben tárgyalt módon ellenőrzik. A forgalmi engedélybe bejegyzett járműkategória (M1, N1, L5e stb.) meghatározza a vizsgálati gyakoriságot és a felülvizsgálati követelményeket. Az M1 kategória például legfeljebb 8 utas szállítására szolgáló személygépkocsit, az N1 kategória 3,5 tonna össztömegig terjedő tehergépkocsit jelent **(ellenőrizendő: pontos kategóriadefiníciók a hatályos uniós rendelet szerint)**.

36.1.5. Járművek összeépítése, átalakítása és egyedi műszaki vizsgálatok

Előírás. A jármű főbb műszaki jellemzőinek megváltoztatása (például motorszám, hajtáslánc típusa, fékrendszer, tengelytáv, felépítmény jellege, járműkategória) nem végezhető el a hatóság előzetes hozzájárulása nélkül **(ellenőrizendő: 6/1990. KÖHÉM rendelet vonatkozó előírásai)**. Az átalakítás befejeztével a járművet egyedi műszaki vizsgálatra kell bemutatni. Ugyanez vonatkozik az egyedi gyártású, sorozatból összeépített vagy külföldről okmány nélkül behozott járművekre is.

Az **egyedi műszaki vizsgálat** során a hatóság a jármű teljes műszaki állapotát, az átalakítás szakszerűségét, az alkatrészek jóváhagyását és az adatváltozásokat ellenőrzi. Ilyenkor gyakran a gyártó vagy egy akkreditált laboratórium szakvéleményét, szilárdsági számítást vagy zaj- és emissziós mérést is kérhet. Ha a jármű megfelel, a hatóság kiállítja a módosított forgalmi engedélyt, és a járműre új típust vagy egyedi azonosítást jegyez be.

Példa. Ha egy személygépkocsiba a gyárival azonos típusú, de más hengerűrtartalmú motort szerelnek be, az átalakítási engedélyen túl a jármű emissziós és zajszintjét is ellenőrizni kell. Ha az új motor nagyobb teljesítményű, előfordulhat, hogy a fékrendszert és a futóművet is igazoltan hozzá kell igazítani, és a beépített alkatrészeknek (fékbetét, tárcsa, lengéscsillapító) rendelkezniük kell érvényes E-jelöléssel.

36.1.6. A típusbizonyítvány és az alkatrész-jóváhagyás

Két szintet kell megkülönböztetni: a járműre vonatkozó típusjóváhagyást és az alkatrészre vagy tartozékra vonatkozó típusjóváhagyást. **E-jel** alatt a köznyelvben általában az ENSZ-EGB előírások szerinti típusjóváhagyási jelet értjük: egy körben „E” betű, szám, amely a jóváhagyó országot jelzi, majd az előírásszám és a jóváhagyás kibocsátási sorozata. Például egy E-jeles tompított fényszóró jelölése az ECE R112 szerinti vagy azzal egyenértékű uniós jóváhagyásra utal **(ellenőrizendő: tagállami kódok, előírásszám)**.

Fontos. Egyes tartozékok (például szélvédő, ülések, biztonsági övek, gumiabroncsok, féktömlők, fényforrások) csak akkor szerelhetők be, ha azok a járműkategóriára érvényes típusjóváhagyási jellel rendelkeznek, vagy a jármű jóváhagyása az adott alkatrészt lefedi. Az E-jel nem önmagában a minőség igazolása, hanem a hatósági megfelelőség jogi jele. A forgalmi engedélyben bejegyzett méretű abroncsot olyan E-jelű abronccsal szabad helyettesíteni, amely a jármű kategóriájára és a sebesség- és terhelési indexre érvényes jóváhagyással rendelkezik.

36.1.7. Az időszakos műszaki vizsgálat érvényessége

Az időszakos vizsgálat (a műhelyi szóhasználatban gyakran „műszakiztatás” vagy „zöldkártya” – pontatlanul, mert a zöldkártya a környezetvédelmi felülvizsgálati igazolás volt) a jármű közúti forgalomban tartásának rendszeres, hatóság által végzett ellenőrzése. Az érvényesség az első forgalomba helyezéstől, majd mindig az előző sikeres vizsga napjától számít.

Az alábbi táblázat tájékoztató jellegű; a pontos gyakoriság a jármű kategóriájától és felhasználásától függ.

Járműkategória	Példa	Első vizsga utáni ciklus (években)
M1 (személygépkocsi, magáncélú)	első vizsga 4 év, majd 2 évente (ellenőrizendő: 6/1990. KÖHÉM rendelet melléklete, 2014/45/EU)	4, 2, 2, …
M1 (taxi, személyszállító engedélyes)	Folyamatosan évente	1
N1 (3,5 t össztömegig)	a hatályos melléklet szerint	–
N2/N3 (tehergépkocsi)	évente (ellenőrizendő: a hatályos melléklet)	1
O1 (könnyű pótkocsi)	a hatályos melléklet szerint	–
L3e (motorkerékpár)	a hatályos melléklet szerint (az L-kategóriára a tagállamok eltérően szabályoznak)	–
T (mezőgazdasági vontató)	a hatályos melléklet szerint	–

Az M1 sor az uniós minimumot és a hazai gyakorlatot követő tanulási példa, a többi sorhoz a hatályos melléklet értékét kell használni (ellenőrizendő: hatályos 5/1990. KÖHÉM rendelet és 6/1990. KÖHÉM rendelet melléklete, 2014/45/EU).

Szabály. A vizsgálati érvényesség lejárta után a jármű nem tartható forgalomban. Kivételt a hatóság által kiadott ideiglenes forgalomban tartási engedély vagy a vizsgálatra közlekedés (például a vizsgálóállomásra történő eljutás) szabályai jelentenek **(ellenőrizendő: a vonatkozó hazai szabály)**.

36.1.8. Minőségellenőrzés

A műhelyben a szerelő feladata elsősorban a **beépített alkatrészek E-jelölése**, a **forgalmi engedély és a jármű adatainak egyezősége**, valamint a **vizsgálatra való felkészítés**. Ellenőrzőlistával dolgozz:

1. Alvázszám (VIN) egyezősége: adattábla, alvázba ütött szám, forgalmi engedély.
2. Kategória és műszaki jellemzők egyezősége: össztömeg, tengelyterhelés, szín, ülések.
3. Motor és emissziós azonosítók: motorszám, motorkód, környezetvédelmi osztály (Euro).
4. Beépített alkatrészek: gumiabroncs, fényszóró, fékbetét, szélvédő, biztonsági övek, visszapillantó tükrök – E-jel megléte.
5. Futómű és fékek: gyári vagy jóváhagyott méretű, típusú alkatrészek.
6. Zajforrások: kipufogódob, sportkipufogó esetén típusjóváhagyás.

36.1.9. Valós életbeli alkalmazás

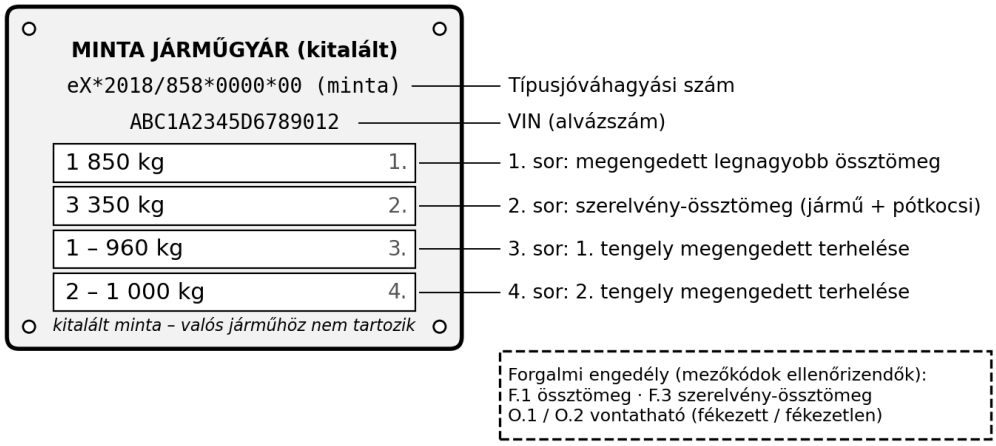
Ügyfél hoz egy 10 éves személygépkocsit, amelyre egyedi felniket és utángyártott, sportos futóműrugókat szerelt fel. A műszaki vizsgán a jármű megbukik, mert a kerék- és abroncsméret nincs bejegyezve a forgalmi engedélybe, és a rugókhoz nincs a járműre érvényes műszaki igazolás (bevizsgálási dokumentum), így az ültetés hatósági bejegyzése sem lehetséges (ellenőrizendő: hazai eljárás). A szerviz megvizsgálja a dokumentumokat: kiderül, hogy az ügyfél „jóárasított” alkatrészt vásárolt internetes piactéren, doboz nélkül. A megoldás: visszaszerelés gyári futóműre, vagy a felnik és rugók olyan darabra cserélése, amelyhez a járműre érvényes jóváhagyás vagy műszaki igazolás tartozik, majd az adatváltozás hatósági bejegyzése. Az ügyfél tanulsága: a vizsgához nem elég az alkatrész „passzol”, az alkatrésznek a járműre érvényes jóváhagyással kell rendelkeznie.

36.1.10. Gyakorlati útmutató – Munkalap: vizsgára felkészítés az azonosítás szintjén

(Cél) A jármű dokumentumainak és azonosítóinak ellenőrzése, hogy a hatósági vizsgára bocsátás előtt az adategyezési hiányokat felfedjük.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre és oktató felügyeletére vonatkozik. A jármű alatti adattábla vagy alvázszám leolvasásához a járművet csak a gyártói emelési pontokon, biztonságosan alátámasztva szabad megemelni; emelt, nem alátámasztott jármű alá nem megyünk.

1. Azonosítsd a járművet: gyártó, típus, VIN, motorszám.
2. Olvasd le a gyári adattáblát: össztömeg, tengelyterhelés, kategória, vontatható tömeg.
3. Hasonlítsd össze a forgalmi engedéllyel. Minden eltérést jelölj fel a munkalapra.
4. Ellenőrizd a felépítmény és a kategória jellegét: ha a típushoz képest más felépítmény vagy hajtás látható, az átalakítási engedély megléte szükséges.
5. Nézd meg a beépített tetőcsomagtartót, vonóhorgot, pótlámpát: A vonóhorog esetén a forgalmi engedélybe bejegyzett vontatható tömegnek és a vonóhorog típusjóváhagyásának egyeznie kell.
6. Dokumentáld: dátummal, aláírással, hibajegyzékkel add át az ügyfélnek.



36.1. ábra. A gyári adattábla leolvasása (kitalált minta) és a forgalmi engedély megfelelő mezői

A 2. lépéshez: a tábla számozott soraiban felirat nélkül áll a megengedett legnagyobb össztömeg (1. sor), a szerelvény-össztömeg (2. sor) és a két tengely megengedett terhelése (3–4. sor). A kitalált mintán a vontatható tömeg $3\,350\,\mathrm{kg} - 1\,850\,\mathrm{kg} = 1\,500\,\mathrm{kg}$; fékezett pótkocsinál a gyártói határ ennél kisebb is lehet (ellenőrizendő).

Figyelem. A munkalap rögzítése nem helyettesíti a hatósági vizsgálatot; csak a szervizben végzett ellenőrzést igazolja.

36.1.11. Tipikus hibák

1. **„Az E-jel azt jelenti, hogy minden autóra felszerelhető.”** Hiba. Az E-jel a típust, a kategóriát és a korlátozásokat is magában foglalhatja. Egyes E-jelű fényszórók csak meghatározott kivitelhez vagy izzóhoz használhatók.
2. **„A motorszám nem fontos, a VIN a lényeg.”** Hiba. Egyes járműveknél a motorszám külön is vizsgálati azonosító, és a cseréje adatváltozást jelent.
3. **„Az utólagos, E-jelű vonóhorog mindig bejegyezhető.”** Hiányos. A felszerelés után a hatósági vizsgán meg kell győződni arról, hogy a horog a jármű típusjóváhagyásában szerepel, és a forgalmi engedély adatait módosítani kell.

36.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A forgalmi engedélyben szereplő össztömeg eltérhet a gyári adattáblától, ha a jármű tényleges tömege kisebb. Válaszod indokold!
2. Milyen jel jelzi egy fényszórón, hogy az ENSZ-EGB vagy uniós típusjóváhagyással rendelkezik?
3. Mi a különbség a típusjóváhagyás és az egyedi műszaki vizsgálat között?
4. Egy frissen vásárolt, külföldről behozott M1 járműnek mi a leggyakoribb forgalomba helyezési dokumentuma?
5. Mikor kell a járművet a jogszabályi alapciklusnál gyakrabban vizsgáztatni egy M1 esetén?

36.1.13. Az önellenőrzés megoldásai

1. **Hamis.** A forgalmi engedély adatainak egyezniük kell az adattáblával; az eltérés vizsgálati elutasítást von maga után.
2. **E-jel**, körben „E” betű, országkód, előírásszám és a jóváhagyási sorozat (pl. ECE R112) **(ellenőrizendő: pontos jelkép-formátum)**.
3. A típusjóváhagyás a gyártó sorozatjárművére vonatkozik; az egyedi vizsgálat a nem sorozatjármű, átalakított vagy összeépített jármű ellenőrzése.
4. A külföldi forgalmi engedély (és ha van, a CoC) alapján, eredetiségvizsgálat és forgalomba helyezés előtti műszaki vizsgálat után (ellenőrizendő: hatályos eljárás).
5. **Taxi vagy személyszállító engedélyes** használat esetén évente.

36.1.14. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a forgalmi engedélyben szereplő három olyan műszaki adatot, amelyet a járművön is azonosítani kell.

2. feladat (A) Melyik rendelet szabályozza a hazai időszakos műszaki vizsgálatot? Válaszodban jelöld, hogy a rendeletszám ellenőrizendő.

3. feladat (B) Ügyfél bemutat egy autót, amelyre egy másik autóban használt, de azonos típusú közvetlen befecskendezésű motort szereltek. A forgalmi engedélyben a régi motorszám szerepel. Ismertesd a helyes eljárást, és hogy milyen vizsgálatra lesz szükség.

4. feladat (B) Egy N1 kategóriájú, 3,2 t össztömegű haszongépjármű első vizsgája után a jármű magáncélú használatba kerül. Hogyan alakul a vizsgálati ciklus? (Válaszodban jelezd, hogy az értékek ellenőrizendők.)

5. feladat (C) Mi történik, ha egy sorozatgyártott járműre nem a típusjóváhagyásban szereplő, hanem egy nem jóváhagyott méretű és típusú gumiabroncsot szerelnek, és az autó így vesz részt a vizsgán? Indokold meg, miért nem elég a „vizsgán átmegy” szempont.

6. feladat (D) A műhelyben egy ügyfél azt kéri, hogy szereljetek be E-jel nélküli, versenypályára szánt fényforrást a tompított fényszóróba. Ő úgy érvel, hogy „este úgyis csak fényt ad”. Írd le, mi a szerviz jogilag és műszakilag helyes válasza, és milyen következményei lehetnek a beszerelésnek.

36.1.15. A feladatok megoldásai

1. feladat hibátlan megoldása. A forgalmi engedélyben szereplő és a járművön ellenőrzendő adatok közül legalább a következők: alvázszám (VIN), motorszám, össztömeg. Emellett ellenőrizhető a tengelyterhelés és a járműkategória.

2. feladat megoldása. Az 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet szabályozza a közúti járművek műszaki megvizsgálását **(ellenőrizendő: hatályos módosításokkal együtt)**.

3. feladat megoldása. A motorcsere a jármű fő műszaki jellemzőjének (motorszám, teljesítmény, emisszió) megváltozása. A beavatkozás előtt a hatóság előzetes hozzájárulása szükséges, majd az átalakítás után **egyedi műszaki vizsgálat** szükséges. Ezen ellenőrzik a motor beszerelésének szakszerűségét, a jármű emissziós és zajszintjét, és az új motorszámot bejegyzik a forgalmi engedélybe.

4. feladat megoldása. N1 kategória esetén tipikusan az első két vizsgálati ciklus 2 év, ezt követően 1 év **(ellenőrizendő: a hatályos előírás szerinti pontos ciklusok)**. A magáncélú

használat nem változtatja meg az N1 kategóriát; a jármű továbbra is tehergépkocsi, tehát a tehergépkocsikra vonatkozó ciklus marad.

5. feladat megoldása. A nem jóváhagyott méretű/típusú gumiabroncs a jármű típusjóváhagyásával, illetve a forgalmi engedélyben vagy a gyártó adatbázisában szereplő értékkel nem egyező. Ez befolyásolja a fékutat, a stabilitást, a sebességmérő pontosságát és a hasmagasságot. A vizsgán a jármű megbukik, mert az abroncs nincs jóváhagyva, tehát a jármű forgalomban tartási feltételei nem teljesülnek. A „vizsgán átmegy” szempont hibás, mert az alkatrész a járműre érvényes jóváhagyás hiányában a biztonsági előírásokat nem igazoltan teljesíti.

6. feladat megoldása. A szerviznek meg kell tagadnia a beépítést, mert az E-jel nélküli, közúti használatra nem jóváhagyott fényforrás a jármű fénytechnikai jóváhagyását érvényteleníthetí, és a vizsgán a jármű elutasításra kerül. A következmény: a jármű közúti forgalomban nem tartható, baleset esetén a biztosítási és hatósági felelősség is felmerülhet. Helyes válasz: kizárólag a típusjóváhagyásban szereplő, E-jelelt izzót szabad beépíteni.

36.1.16. Rövid összefoglaló

A hatósági vizsgálat jogi kerete a forgalomba helyezés és a forgalomban tartás folyamatát szabályozza hazai rendeletek és uniós típusjóváhagyási keretrendszer útján. A sorozatgyártott járműveknél a megfelelőségi nyilatkozat (CoC) vagy a hazai/nemzeti típusbizonyítvány alapján állítják ki a forgalmi engedélyt. A jármű adatainak (VIN, motorszám, kategória, tömegadatok) egyezniük kell az okmányokkal. A fő műszaki jellemzők megváltoztatása vagy jármű összeépítése esetén előzetes hatósági hozzájárulás és egyedi műszaki vizsgálat szükséges. Az időszakos vizsgálat a járműkategória és a felhasználás szerint, fix ciklusokban kötelező; például M1 magánjárműnél jellemzően az első vizsga 4 év, majd 2 évente, taxinál évente (ellenőrizendő: hatályos melléklet). Az alkatrészek beépítésénél az E-jel igazolja a típusjóváhagyást. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a jogi hátteret használjuk a Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj alfejezetben, ahol a konkrét mérési eljárásokat és határértékeket tárgyaljuk.

36.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

- 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai **(ellenőrizendő: pontos rendeletszám, hatályos szöveg)**.
- 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai **(ellenőrizendő: pontos rendeletszám, hatályos szöveg)**.
- (EU) 2018/858 rendelet a járművek típusjóváhagyásáról és piacfelügyeletéről **(ellenőrizendő: hatályos konszolidált szöveg)**.
- (EU) 168/2013 rendelet és módosításai az L kategóriájú járművekről **(ellenőrizendő: hatályos szöveg)**.
- ENSZ-EGB előírások listája és az E-jel formai követelményei **(ellenőrizendő: a hivatkozott előírások száma)**.
- A vizsgálati ciklusok és az egyedi vizsgálat részletes eljárási szabályai **(ellenőrizendő: a hatályos hazai jogszabályok szerint)**.

36.2. Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj

36.2.1. Motiváció

A műhelyben a „tudsz-e vizsgát csinálni?” kérdés általában azt jelenti: ellenőrizd át az autót úgy, ahogyan a vizsgálóállomáson fogják mérni, és találd meg azokat a hibákat, amelyek miatt a jármű esetleg nem kapná meg a forgalmi engedélybe bejegyezhető vizsgaeredményt. Az időszakos műszaki vizsga nem „büntetni akar”, hanem azt hivatott ellenőrizni, hogy a jármű közlekedésbiztonsági és környezetvédelmi szempontból alkalmas-e a forgalomban való részvételre. Szerelőként ezért pontosan értenünk kell, hogyan méri a vizsgálóberendezés a fékhatást, hogyan kell beállítani a fényszóró fény-sötét határát, mit mutat a lengéscsillapító-vizsgáló és a zajszintmérő.

A hibák nagy része nem ritka alkatrészhiba, hanem beállítási, karbantartási hiányosság: rosszul beállított fényszóró, levegős vagy egyik oldalán szoruló fék, túlzottan sötét fólia, elkopott lengéscsillapító. Ha ezeket a vizsgálat előtt felismerjük, elkerülhető a pótvizsga, az ügyfél pedig biztonságosabb autót kap vissza.

36.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy időszakos vizsgálóállomási sort. Az autó először az azonosító fülkébe gurul, ahol rögzítik a rendszámot, az alvázszámot és a jármű adatait. Innen a vizsgálósorra kerül: görgős fékerőmérő próbapad, futómű holtjáték-vizsgáló lemezekkel és világítással, lengéscsillapító-vizsgáló, fényszóró-ellenőrző műszer, zajszintmérő mikrofon. A vizsgabiztosnak nem kell próbaútra mennie; a mérések a teremben, reprodukálható körülmények között zajlanak. A jármű a görgőkön áll, a kerekeit a görgők forgatják, miközben a fékpedálra lépéskor a rendszer rögzíti a fékerőt. A fényszóró előtt optikai fej néz szembe a lámpatesttel, és a fény-sötét határ eltérését mutatja. Minden mérés elektronikus jegyzőkönyvbe kerül, a minősítést a hibakategóriák alapján adják.

36.2.3. Általános vizsgálati technológia és minősítés

Definíció. A hatósági műszaki vizsgálat olyan, jogszabályban meghatározott, feljogosított vizsgálóállomáson végzett ellenőrzés, amelynek során a jármű megfelelőségét mért értékek, szerkezeti vizsgálat és vizuális ellenőrzés alapján minősítik.

Előírás. A közúti járművek forgalomba helyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeit a 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet, a hatósági vizsgálat eljárási és méréstechnikai követelményeit a kapcsolódó vizsgálati szabályzatok rögzítik (ellenőrizendő: hatályos jogszabályhelyek, vizsgálati módszertan). Emellett az egyes részvizsgálati módszereket ENSZ-EGB előírások és a típusjóváhagyási keretek is meghatározzák; például a fékkel kapcsolatos megfelelőséget az ECE R13/R13-H, a világítást az ECE R48 és a fényszórókra vonatkozó ECE-előírások pontosítják (ellenőrizendő: előírásszámok és hatályos változatok).

A vizsgálat tárgya a jármű azonosítása, a felszerelések, a világítás, a fékrendszer, a kormányzás, a futómű, a kerekek, a karosszéria, a környezetvédelmi rendszerek, a gumiabroncsok és a zajszint. Az általános technológia mindig ugyanazt a láncot követi: **előkészítés → mérés/szemrevételezés → kiértékelés → dokumentálás**. A járművet a vizsgálathoz megfelelő állapotba kell hozni: az abroncsnyomás, a terhelés, a folyadékszintek és a beállítható fényviszonyok befolyásolják az eredményt. A vizsgálóállomás a méréseket hitelesített műszerekkel végzi, és a vizsgálati jegyzőkönyvben rögzíti az értékeket.

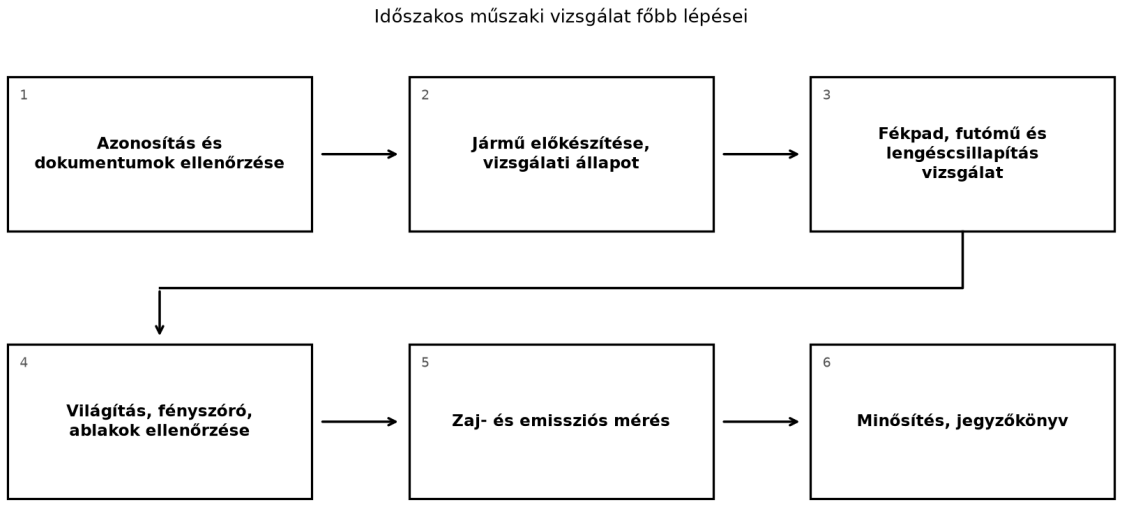
A minősítés nem egyszerű megfelel/ nem megfelel, hanem hibakategóriákat használ. Az itt bemutatott kategóriák az európai vizsgálati gyakorlatban elterjedtek, de a pontos magyar elnevezést és következményeket a hatályos vizsgálati jogszabályok adják (ellenőrizendő).

Hibakategória	Jellemző példa (tanulási példa)	Következmény (példa)
Kisebb hiba	a rendszámtábla-világítás egyik izzója nem működik	a jármű vizsgálat szempontjából megfelelő lehet, de az okmányban megjegyzés kerülhet
Súlyos hiba	az egyik kerékfék oldalankénti eltérése a megengedett határ fölé esik	javítás kötelező, a jármű csak pótlólagos vizsgálat után kaphat megfelelőséget
Veszélyes hiba	például az üzemi fék egyik körének teljes kiesése, vagy a fékpedál a padlóig lenyomható	a járművet azonnal ki kell vonni a forgalomból, az üzemeltetés tilos

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

A vizsgálati technológiák alább ismertetett lépései a leggyakoribb mérési eljárások; a mérést csak arra jogosult vizsgáló végezheti a hatályos előírás szerint. A tanműhelyi gyakorlatok során ugyanezeket az elveket használjuk fel, de mindig meg kell különböztetni a gyakorló mérést a hatósági jegyzőkönyvezett méréstől.

Az általános vizsgálatsorozatot az alábbi folyamat szemlélteti:



36.2. ábra. Időszakos műszaki vizsgálat főbb lépései - Szemléltető folyamat; a hatályos vizsgálati eljárás lépései ellenőrizendők.

36.2.4. Görgős fékerőmérő próbapad

A görgős fékerőmérő a vizsgálóállomás egyik legfontosabb műszere. A jármű kereke a görgőpárra áll; a görgők villanymotorral vagy hidraulikusan hajtják a kereket, és a járműszerelő a fékpedálra

lép. A berendezés nem a jármű lassulását méri közvetlenül, hanem a kerékre ható fékezőnyomatékot és az abból származó fékerőt; a kerék és a görgő közötti erőátadás révén a mérőrendszer a féknyereg vagy a dobfék által keltett kerületi erőt érzékeli.

Összefüggés. Ha egy tengelyen a mért összes fékerő F_f, és a tengely statikus tengelyterhelése F_t, akkor az adott tengelyen érvényes fékhatás:

$$z_t = \frac{F_f}{F_t}.$$

A teljes járműre vonatkozó üzemi fékhatást a tengelyenkénti fékerőösszeg és a jármű súlyereje viszonya adja:

$$z = \frac{\sum F_f}{m\,g},$$

ahol m a jármű tényleges vagy megengedett tömege, $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$. A rögzítőfékre ugyanezt az összefüggést használjuk a rögzítőfék által fékezett tengelyre.

Szabály. A görgős vizsgálatnál a járművet rögzített állapotban kell tartani: a kézi rögzítőfék kioldott állapotban van az üzemi fék mérésénél, a sebességváltó üres vagy N állásban van (automataváltónál a gyártói előírást kell követni), és a fékpedált egyenletesen, a vizsgálati eljárásban megadott erővel kell nyomni. A rögzítőfék mérésénél a rögzítőfék fokozatát, a pedálerőt vagy a rögzítőfék karerőt a vizsgálóberendezés folyamatosan figyeli.

A vizsgálóbiztos a mérés alatt figyeli az oldalankénti különbséget, a „lapos” vagy szakaszos fékérzetet, a kerék blokkolását, a görgő megcsúszását, valamint azt, hogy a lassítás egyenletes-e. A kopott, ovális féktárcsa vagy a szennyezett fékbetét jellegzetes lüktető görbét ad, ezért a mérési jegyzőkönyv görbéjének alakját is ki kell értékelni.

A görgős fékpadi vizsgálat technológiai lépései:

1. Ellenőrizzük a jármű- és adatazonosítást, az abroncsnyomást, a futófelület állapotát és a fékfolyadék szintjét.
2. A járművet a görgőpárra egyenesen, a kerekeket a görgők közepére állítjuk; a másik tengelyt elgurulás ellen ékkel vagy kitámasztóval rögzítjük.
3. A fékrendszert néhány lassítással „bemelegítjük”, a fékpedált egyszer erősen lenyomjuk, hogy a kopási hatások kiegyenlítődjenek.
4. Az üzemi féket a vizsgálati utasítás szerinti pedálerővel, fokozatosan működtetjük, miközben a görgők forognak.
5. Lekérjük a tengelyenkénti fékerőt, az oldalankénti eltérést, a fékhatást és a lüktetést; a rögzítőfékre külön mérést végzünk.
6. A görgőket leállítjuk, a járművet elgurítjuk, és a mérési eredményt a jegyzőkönyvben rögzítjük.

Figyelem. A görgős próbapadon a kerekek nagy kerületi sebességgel foroghatnak. A mérés közben a jármű előtt vagy mögött tartózkodni tilos; a járművet a megcsúszás vagy kizuhanás ellen a gyártói/állomási előírás szerint kell biztosítani. A mérést csak feljogosított személy végezheti.

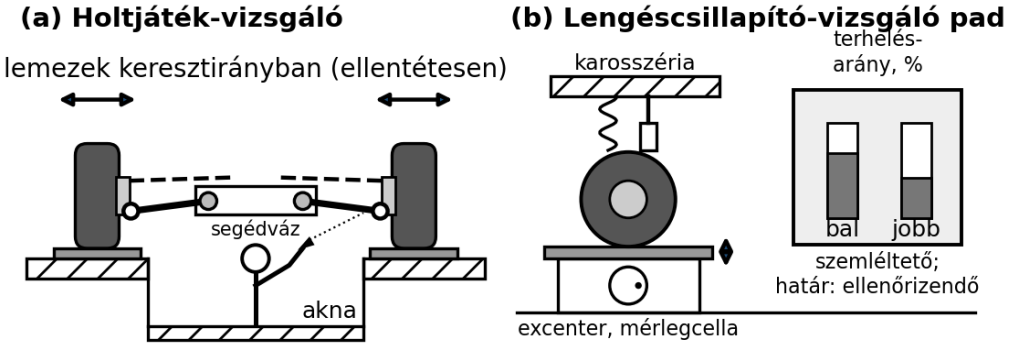
36.2.5. Futómű holtjáték-vizsgáló berendezés

A futómű holtjáték-vizsgáló a kerékfelfüggesztés, a kormányrudazat és a kerékcsapágyak elmozdulásait érzékeli. A járművet a vizsgáló állványra állítják, és a kerekek alatt hidraulikus mozgatású lemezek oldalirányú vagy fékezett mozgásokat végeznek. A szerelő vagy a vizsgabiztos egy alulról megvilágított, gödörből vagy tükörrel ellenőrizhető helyzetből figyeli a csuklók, szilentek és vezetőkarok elmozdulását.

A mérés lényege, hogy a kerék terhelt állapotban, a jármű saját tömegével a lemezen áll; a vizsgálóberendezés a kereket egymás után hossz- és oldalirányban mozgatja. A megengedett játékot a járműtípushoz tartozó gyártói vagy hatósági határérték adja (ellenőrizendő: a vizsgálati határértékek). A vizsgálat során a következőket ellenőrzik:

- gömbcsuklók és kormányösszekötő csuklók radiális és axiális játéka,
- kormányösszekötő gömbfej és a lengőkar perselyek,
- kerékcsapágy holtjátéka,
- futóműszilentek repedése, kiszakadása,
- kormánymű rögzítése.

A játékot milliméterben vagy a vizsgálófej jeléből származtatott elmozdulásértékben rögzítik. A hibakeresésnél a kopogni, csörögni kezdő futómű és a bizonytalan kormányérzet mindig ennél a vizsgálatnál nyer megerősítést; a vizsgáló pad nemcsak a mérésre, hanem a pontos hibahely behatárolására is használható.



36.3. ábra. Futómű holtjáték-vizsgáló és lengéscsillapító-vizsgáló pad

Az ábra (a) részén a kerekek a mozgó lemezeken állnak, a vizsgáló az aknából, kézilámpával figyeli a gömbcsuklókat, a kormányösszekötőket és a szilenteket; a (b) rész a lengéscsillapító-vizsgáló padot mutatja (lásd a lengéscsillapítás vizsgálatánál): a rezgőlap a kereket függőlegesen rezegteti, a kijelző kerekenként a kerékterhelés-arányt adja.

36.2.6. Fényszóró-ellenőrzés és beállítás

A fényszóró vizsgálata optikai fejjel, úgynevezett fényszóró-ellenőrzővel történik. A berendezés a tompított fény fény-sötét határának helyzetét méri; a távolsági fény fényerősségét és a szimmetrikus fénykéve középpontját külön mérheti. A fényszóró beállításakor nem a megvilágítás szubjektív érzékelésére hagyatkozunk, hanem a vetített határvonal geometriájára.

A mérőhenger vagy kamera a fényszóró előtt, a fényszóróval azonos magasságban, egymáshoz képest párhuzamosan lett elhelyezve. A járművet előkészítve, a gyártó által megadott terhelési állapotban, előírt abroncsnyomással, a fénymagasság-állító kapcsolót a megadott helyzetbe

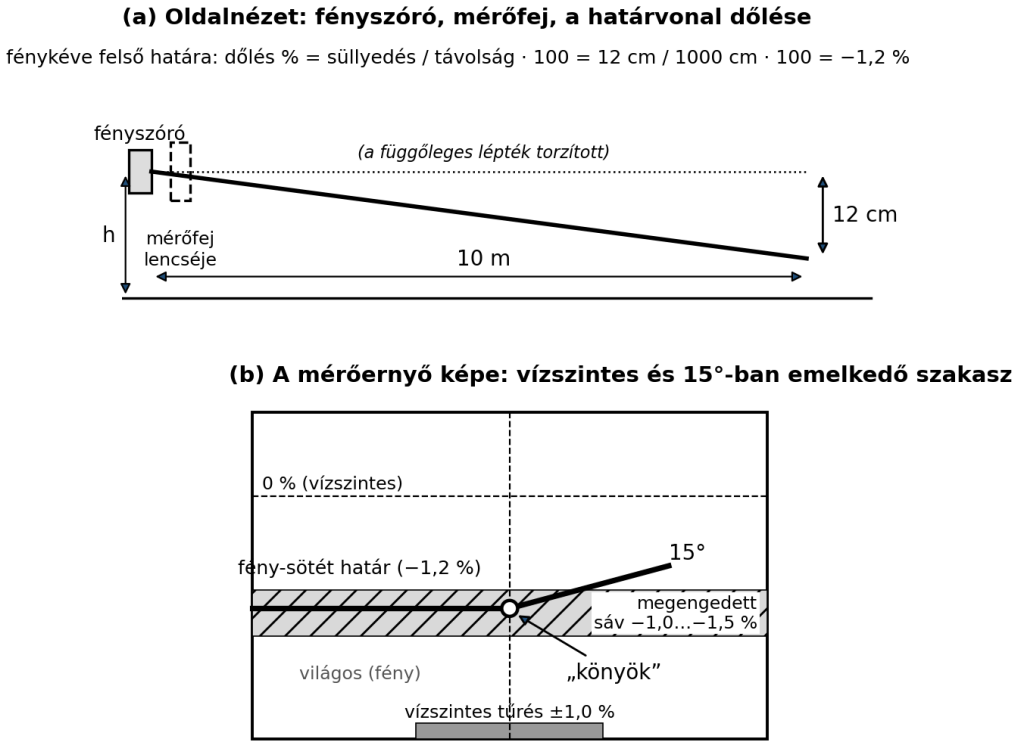
állítva mérik. A hatósági vizsgálatnál a jármű terheletlen, a gyártói beállítási értékek szerint, a gyártó által megadott dőlés-százalékot kérik (ellenőrizendő: a gyártói érték, jellemzően 1,0–1,5 % lefelé).

A mérés során a fényszóróból kilépő fénykéve a műszer ernyőjére vetül. Az aszimmetrikus tompított fénynél a vetület bal oldala vízszintes, a jobb oldala emelkedő szakasszal rendelkezik; a mérőműszer a vízszintes és az emelkedő szakasz metszéspontját (a fény-sötét határ „könyökét”) érzékeli. A kamera tájolásával biztosítjuk, hogy a mérés merőleges legyen a fénykéve tengelyére. A beállító csavarokon azután úgy állítunk, hogy a metszéspont a gyártói dőlés és a vízszintes eltérés nulla vagy megengedett tartományon belül legyen.

A fényszóró-ellenőrző mérés lépései:

1. A járművet vízszintes, tiszta, legalább akkora helyen állítjuk fel, amennyi a szabad fénykéve vetületéhez szükséges.
2. Rögzítjük a járműtömegre és terhelésre vonatkozó gyártói beállítási feltételeket; a fénymagasság-szabályzót a gyártói pozícióba tesszük.
3. A mérőfejet a fényszóró lencséje elé merőlegesen, a gyártó által meghatározott távolságba toljuk, és a kamera/lencse magasságát a fényszóró középpontjához igazítjuk.
4. Bekapcsoljuk a tompított fényt; a műszeren leolvassuk a fény-sötét határ függőleges dőlését (pl. $-1{,}2\,\%$) és vízszintes eltérését.
5. Ha az érték a tűrésen kívül esik, a gyártó által megjelölt vízszintes és magassági állítócsavarokkal korrigálunk.
6. Újabb méréssel ellenőrizzük mindkét fényszórót, a távolsági fényt is, és rögzítjük az eredményt.

Figyelem. Az erős fényű fényszóróba hosszan belenézni tilos; a beállítást jól szellőző, pormentes helyen végezzük. Xenon- vagy LED-rendszernél a beállítás előtt a gyártói utasítást követve ellenőrizni kell, hogy a szintezőrendszer működőképes; a fényszóró belső nagyfeszültségű elemét csak feszültségmentesítés után szabad cserélni. A hatósági vizsgálatnál a fényforrás típusának meg kell egyeznie a lámpatest típusjóváhagyásával.



36.4. ábra. Fényszóró-mérés elrendezése és a fény-sötét határ

Az ábra (a) része a dőlés jelentését mutatja: a dőlés százalékban a süllyedés és a távolság hányadosa, −1,2 % tehát 10 m-en 12 cm, 25 m-en 30 cm süllyedést jelent. A (b) rész a mérőernyő képe: a fény-sötét határ bal oldala vízszintes, a jobb oldala 15°-ban emelkedik, a mérés a kettő metszéspontját, a „könyököt” keresi; a szürke sáv a tanulási példában megengedett −1,0 % … −1,5 % tartomány (ellenőrizendő: gyártói érték). A HTML-változatban a dőlés és a vízszintes eltérés csúszkával állítható.

36.2.7. Lengéscsillapítás vizsgálata

A jármű lengéscsillapítóit a hatósági vizsga során speciális vizsgálópadon ellenőrzik. A lengéscsillapító-vizsgáló a kereket a hordozólemezen át periodikus függőleges gerjesztésnek teszi ki, és a kerékfelfüggesztés által visszadott erők arányát, a kerék talajnyomás-ingadozását méri. A gép a kerék tapadási értékét (%) és a tengely bal–jobb oldala közötti különbséget adja; minél nagyobb a tapadási érték, annál jobban tartja a csillapító a kereket az úton (határérték: ellenőrizendő). A vizsgálat a rugó és a csillapító együttes működését mutatja, ezért az eredmény akkor is rossz lehet, ha például a gumiabroncsnyomás nem megfelelő, vagy a kerék kiegyensúlyozatlan.

Szabály. A vizsgálópad mellett a lengéscsillapítót mindig el kell végezni a járművön egy rövid kézi billegtetéses próbával is. A járművet a sarkoknál erősen megnyomva elengedjük, és figyeljük, hogy a karosszéria legfeljebb egy-két csillapodó mozdulat után nyugalomba kerüljön; a folyamatos, hintázó mozgás kopott csillapítóra utal. A pad által jelzett rossz értéket ki kell egészíteni a csillapító szivárgásának, kopásának, a rugó törésének és a felső lengéscsillapító-támasz állapotának ellenőrzésével.

36.2.8. Szélvédő és ablakok fényáteresztése

A szélvédő, valamint az első ajtók oldalüvegei fényáteresztő képességét fényáteresztés-mérővel (transzmisszométerrel) mérik. A műszer két egységből áll: az egyik oldalon a fényforrás, a másik oldalon a fényérzékelő; az üveg közé kerül, és a mérőszám az átengedett fény arányát adja százalékban.

Előírás. A szélvédő és az első oldalüvegek fényáteresztése csak a gyárilag megengedett mértékig csökkenthető. Magyarországon a szélvédőn és az első oldalüvegeken semmilyen sötétítő fólia nem engedhető, ha a fényáteresztés a megadott határ alá csökken (a gyári homológ üveg értékét gyárilag jelölik; az ellenőrzési határérték jellemzően 70–75 %, ellenőrizendő: a hatályos jogszabályi határérték). A hátsó oldalüvegek és a hátsó szélvédő fóliázása megengedett, de a járműnek rendelkeznie kell megfelelő visszapillantó tükörrel (ellenőrizendő).

A mérésnél az üvegnek száraznak, tisztának kell lennie; a mérőfejet merőlegesen kell az üvegre helyezni. A vizsgálat előtt ellenőrizzük, hogy a fólia nem tartalmaz-e buborékot, karcolást vagy leválást, mert ezek a fényáteresztést rontják. A mérést, ha lehet, fedett, állandó hőmérsékletű helyen végezzük.

36.2.9. Közeltéri zajszintmérés

A jármű zajkibocsátását álló járművön, közeltéri módszerrel mérik, hogy a motor és a kipufogórendszer zajhatását ellenőrizzék. A méréshez hitelesített zajszintmérőt és az előírás szerinti mikrofonállványt használnak. A mérési pont a kipufogó nyíláshoz képest meghatározott távolságra és szögben helyezkedik el, például a kipufogó nyílástól 0,5 m-re, a kipufogó magasságában, 45°-os szögben (ellenőrizendő: a hatályos mérési módszertan pontos geometriája). A mérési feltétel nagyon fontos: a jármű motorja üzemi hőmérsékleten van, a motor fordulatszámát a gyártói előírás vagy a vizsgálati módszertan által megadott értékre, például a maximális teljesítmény fordulatszámának 75 %-ára emelik és stabilizálják, majd a gázpedált hirtelen elengedik; a műszer a lassulás alatti legnagyobb A-súlyozott szintet rögzíti (ellenőrizendő: ECE R51/R41, a pontos fordulatszám- és időfeltételek).

A zajszintet A-súlyozással mérik, ezért a mértékegység dB(A). A mérések számát és kiértékelését (átlag vagy legnagyobb érték) a hatályos előírás adja (ellenőrizendő: ECE R51/R41, vizsgálati módszertan); a példában két mérést végeznek, és energiaátlagot számítanak. A zajszintmérő eredményét összehasonlítják a jármű forgalmi engedélyében szereplő, típusjóváhagyásból származó zajhatárértékkel, vagy a jármű korosztálya szerinti hatósági határértékkel. A határértékek egy-egy kategóriánál szigorodtak az évtizedek során; a pontos értéket a hatályos előírások és a jármű okmányai tartalmazzák.

36.2.10. Gyakorlati útmutató: fényszóró-ellenőrzés és beállítás tanműhelyi környezetben

Cél: A vizsgára felkészítő fényszóró-ellenőrző mérés és beállítás elvégzése tanműhelyi személyautón.

Jármű- és adatazonosítás: Rögzítsük az alvázszámot, a forgalmi engedélyben szereplő világítás- és fényforrás-adatokat, a gyártói beállítási értéket (pl. fényszóró dőlés, terhelési állapot, fénymagasság-állító pozíció; ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: fényszóró-ellenőrző műszer vagy hitelesített optikai fej, keréknyomás-mérő, tisztítókendő, vízszintes padlófelület, esetleg mérőszalag, védőkesztyű.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkalépések

1. A járművet sík, vízszintes, pormentes munkaterületre állítjuk, a kerekeket egyenesre, a váltót üresbe vagy P állásba tesszük, a rögzítőféket behúzzuk.
2. Ellenőrizzük a gumiabroncsnyomást a gyártói táblázat szerint; a hibás nyomás a magassági fény-sötét határt eltérítheti.
3. Megkeressük a fénymagasság-állító kapcsolót, és a gyártó által a terheletlen állapotra előírt fokozatba tesszük; az automatikus szintezővel szerelt járműnél az önellenőrzés után megvárjuk a beállást.
4. A fényszórólencséket letöröljük, a lámpatest rögzítését és a fényforrás típusát ellenőrizzük.
5. A mérőfejet a bal fényszóró elé, a lencsével azonos magasságba, merőlegesen elhelyezzük; a mérőtávolságot a gyártói utasítás szerint beállítjuk.
6. Bekapcsoljuk a gyújtást és a tompított fényt; a mérőfej ernyőjén leolvassuk a fény-sötét határ vízszintes eltérését (pl. 0,3 % jobbra) és függőleges dőlését (pl. −1,0 %).
7. Ha az eltérés kívül esik a gyártói tűrésen, a megfelelő állítócsavarral korrigálunk; minden állítás után megismételjük a mérést.
8. A jobb fényszóróra ugyanezt elvégezzük; az előírásos fénykéve nem vakítja a szembejövőt, de megfelelő távolságot világít.
9. Rögzítjük a mért értékeket a munkalapon, és dokumentáljuk a beállítást a szervizkönyvben.

Ellenőrzési pontok: mindkét fényszóró fény-sötét határának függőleges dőlése a gyártói tűrésen belül (például −1,0 % és −1,5 % között, ellenőrizendő), vízszintes eltérés közel nulla, távolsági fény működik, a világítás jelzései nem hibásak.

36.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy vizsga előtti átvizsgálásra érkező autó tulajdonosa arról panaszkodik, hogy a bal fényszóró „nagyon magasra világít”, és a vizsgán egyszer már visszadobták fékerő-különbség miatt. A műhelyben a fényszóró-mérő a bal oldalon +2,5 % felfelé dőlést mutat, a jobb oldalon −1,2 % lefelé dőlést; ez a bal fényszóró vakításához vezet. A fénymagasság-állító kapcsoló nem gyári, a használati utasításban előírt fokozatra állítva a bal oldal továbbra is magas. Kiderül, hogy a bal oldali lámpatest tartókerete törött, ezért a csavarhiány miatt a lámpa felfelé áll. A törött tartót cserélik, majd a fény-sötét határt a gyártói előírás szerint újra beállítják; a fékerő-mérés az egyik hátsó dob fék egyenlőtlenségét mutatja, amit a fékdob és a betétek cseréje után a görgős padon ellenőriznek. A jármű így már megkapja a vizsgaérvényesítést, és az ügyfél is elégedett a biztonságos fénykévével.

36.2.12. Tipikus hibák

1. **Téves fékpad-kiértékelés:** a mérőgörbe alapján csak az oldalankénti különbséget nézik, és nem veszik észre a kerék lüktető fékerőjében megjelenő ovális tárcsa hibát. Helyesen a görbe lefutását is ellenőrizni kell, és a járművön a féktárcsa, a féknyereg és a csapágy játékát is meg kell vizsgálni.
2. **Fényszóró-beállítás tájolás nélkül:** a mérőfejet nem merőlegesen, a lencsével nem azonos magasságban állítják fel; a mért érték hibás lesz, a jármű fénykévéje pedig továbbra is vakít. A mérőfej tájolása és a magasság beállítása mindig a mérés első lépése.

3. **Ablak fényáteresztés kézi becslése:** a szerelő csak „ránézésre” minősíti az ablakot, holott a fólia néhány százalékkal is a határ alá csökkentheti a fényáteresztést. A pontos méréshez transzmisszométert kell használni.
4. **Zajszintmérés hideg motorral:** a vizsgálóállomás követelményeivel ellentétes mérési feltétel, mert a hideg motor más égési zaja és a kipufogórendszer hideg állapota eltérő eredményt ad. A mérést üzemi hőmérsékletre melegedett motorral, a meghatározott fordulatszám-protokoll szerint kell elvégezni.

36.2.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a görgős fékpad közvetlenül a jármű lassulását méri? Indokold!
2. Egy tengelyen mért fékerő 3 200 N, a tengelyterhelés 6 800 N. Számítsd ki a tengelyre vonatkozó fékhatást!
3. Mondd el röviden, hogyan kell eljárni a fényszóró-ellenőrző mérésnél, ha a fény-sötét határ $+1{,}8\,\%$ felfelé dőlést mutat.
4. Miért kell a lengéscsillapító-vizsgáló pad mérését kézi billegtetéses próbával és szemrevételezéssel kiegészíteni?
5. Milyen veszélyre figyelmeztet a kerék a görgős próbapadon?
6. Milyen adatokat rögzítünk a jármű- és adatazonosításnál a fényszóró-beállítás előtt?

36.2.14. Feladatok

1. feladat (A) Fogalmazd meg, mit jelent a fékhatás (z_t) a görgős fékerőmérőn mért értékekből, és írd fel a képletét.

2. feladat (A) Egy személyautó tömege 1 250 kg. A görgős padon az első tengelyen mért összes fékerő 4 800 N, a hátsó tengelyen 1 800 N. Számítsd ki a teljes járműre vonatkozó fékerőt és az üzemi fékhatást.

3. feladat (B) Egy vizsgálati jegyzőkönyv szerint a bal első kerékfék maximuma 2 100 N, a jobb első kerékfék maximuma 1 850 N ugyanazon tengelyen. Számítsd ki az oldalankénti különbséget a nagyobb fékerő százalékában! (A megengedett különbség tanulási példa: 25 %, ellenőrizendő.)

4. feladat (B) A fényszóró-ellenőrző mérésnél a bal fényszóró vízszintes eltérése $0{,}6\,\%$ jobbra, a függőleges dőlése $-1{,}3\,\%$. A megengedett vízszintes eltérés példaként $\pm 1{,}0\,\%$, a megengedett függőleges dőlés $-1{,}0\,\%$ és $-1{,}5\,\%$ között van. Minősítsd a mérési eredményt!

5. feladat (C) A zajszintmérő két mérést rögzített: $L_1 = 78{,}2\,\mathrm{dB(A)}$ és $L_2 = 77{,}8\,\mathrm{dB(A)}$. Számítsd ki a két mérés energiaátlagát dB(A)-ben! (Segítség: az energiaátlag $10 \cdot \log_{10}\left[\tfrac{1}{2}\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}\right)\right]$.)

6. feladat (D) A vizsgán az ablak fényáteresztését mérő műszer a szélvédőn 62 %-ot mutat, az első oldalüvegen 68 %-ot, a hátsó szélvédőn 81 %-ot. A gyári ablakok jelölései alapján a szélvédő gyári értéke 75 %, az első oldalüveg 70 % (ellenőrizendő: pontos határértékek). Mi lehet a hiba oka, és mit tanácsolsz a vizsgára? Indokold a minősítés előtti teendőket!

36.2.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A görgős pad a kerékre ható fékerőt méri, és abból a fékhatást számítjuk; a jármű lassulását nem közvetlenül, hanem a fékerőkből lehet levezetni.

2. $z_t = 3\,200\,\mathrm{N} / 6\,800\,\mathrm{N} = 0{,}471 = 47{,}1\,\%$ (példaérték).
3. A felfelé dőlés vakítást okozhat, ezért a fényszóró beállító csavarját a gyártói utasítás szerint lefelé állítjuk, amíg a dőlés a megengedett tartományba (pl. $-1{,}0\,\%$ … $-1{,}5\,\%$) esik; ezután újra ellenőrizzük a mérést.
4. A pad objektív tapadási értéket ad, de a hiba okát nem mutatja meg; a kézi billegtetés és a szemrevételezés (szivárgás, rugótörés, támasz, perselyek) a hibahely behatárolását segíti.
5. A kerék a görgőn forog; a jármű előtt/mögött tartózkodni tilos, a járművet ékkel/kihúzás ellen rögzíteni kell, és a mérés közben a vizsgálóállomás utasításait be kell tartani.
6. Alvázszám/rendszám, forgalmi engedélyben szereplő fényforrás- és lámpatestadatok, gyártói beállítási érték, terhelési állapot, fénymagasság-állító pozíció, abroncsnyomás.

Megoldások – feladatok

1. A tengelyen mért összes fékerő és az ugyanazon tengelyre jutó statikus tengelyterhelés hányadosa:
$$z_t = \frac{F_f}{F_t}.$$
Ez a mutató azt mutatja, hogy a fékrendszer mekkora fékezőerőt képes adni az adott tengely terheléséhez képest; a teljes járműnél a teljes fékerőt a jármű súlyerejéhez viszonyítjuk.

2. A teljes fékerő:
$$F_f = 4\,800\,\mathrm{N} + 1\,800\,\mathrm{N} = 6\,600\,\mathrm{N}.$$
A jármű súlyereje:
$$G = m\,g = 1\,250\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} = 12\,262{,}5\,\mathrm{N}.$$
Az üzemi fékhatás:
$$z = \frac{6\,600\,\mathrm{N}}{12\,262{,}5\,\mathrm{N}} = 0{,}538 = 53{,}8\,\%.$$
Az 53,8 % a régebbi M1 járművekre vonatkozó 50 %-os határt teljesíti, a később forgalomba helyezett M1-re vonatkozó 58 %-ot nem (ellenőrizendő: 2014/45/EU II. melléklet, hazai vizsgálati előírás). A minősítéshez tehát a jármű forgalomba helyezési idejét és a viszonyítási tömeget is ismerni kell.

3. Az oldalankénti különbség a nagyobb fékerőhöz viszonyítva:
$$\Delta = \frac{F_b - F_j}{F_b} \cdot 100\,\% = \frac{2\,100 - 1\,850}{2\,100} \cdot 100\,\% = 11{,}9\,\%.$$
Ez a 25 %-os példa-határ alatt van, tehát a különbség megengedett lehet; de a vizsgálóberendezés a lüktetést és a bemelegedési görbét is figyeli, ezért a 11,9 % önmagában még nem zárja ki a betétproblémát.

4. A vízszintes eltérés $0{,}6\,\%$ jobbra, ami a $\pm 1{,}0\,\%$ példatűrésen belül van. A függőleges dőlés $-1{,}3\,\%$, ami a $-1{,}0\,\%$ … $-1{,}5\,\%$ tartományba esik. A mérési eredmény a példahatárok szerint megfelelő. Ha a jármű tényleges gyártói előírása eltér, akkor azt kell alkalmazni.

5. Először a lineáris energiákat számítjuk:
$$10^{78{,}2/10} = 10^{7{,}82} \approx 6{,}61 \cdot 10^7, \quad 10^{77{,}8/10} = 10^{7{,}78} \approx 6{,}03 \cdot 10^7.$$
Az átlaguk:
$$\bar{I} = \frac{6{,}61 \cdot 10^7 + 6{,}03 \cdot 10^7}{2} = 6{,}32 \cdot 10^7.$$

Vissza dB-be:

$$L_{avg} = 10 \cdot \log_{10}(6{,}32 \cdot 10^{7}) = 10 \cdot 7{,}8007 \approx 78{,}0\,\mathrm{dB(A)}.$$

Tehát az energiaátlag kerekítve 78,0 dB(A).

6. A szélvédő 62 %-os értéke a gyári 75 %-os értékhez képest jelentős csökkenés; az első oldalüveg 68 %-a a gyári 70 %-hoz képest is határ körüli vagy alatti. A hiba oka általában utólagosan felszerelt sötétítő fólia, vagy erősen szennyezett, karcos üveg. A vizsga előtti teendő: tisztítsuk meg az üvegeket, és ha fólia van rajta, mérjük meg újra; ha a szélvédő vagy az első oldalüveg a megengedett határ alatt marad, a fóliát el kell távolítani, vagy a gyártói előírást kell követni. A jármű csak a megengedett fényáteresztés elérése után vizsgáztatható.

36.2.16. Rövid összefoglaló

A hatósági vizsgálat során a járművet hitelesített műszerekkel mérik, és a hibákat kategóriákba sorolják; a súlyos vagy veszélyes hiba javítást és pótvizsgát vagy a jármű kivonását vonhatja maga után. A görgős fékerőmérőn a tengelyenkénti fékerőt mérik; a tengelyenkénti fékhatás $z_t = F_f/F_t$, a teljes járműre $z = \sum F_f/(m\,g)$. A fékvizsgálatnál figyelni kell az oldalankénti különbségre és a fékerőgörbe lüktetésére. A fényszóró-ellenőrző a fény-sötét határ vízszintes és függőleges helyzetét méri; a beállítást a gyártói dőlés szerint, a jármű előkészítése után kell elvégezni. A lengéscsillapító-vizsgáló tapadási értéket ad, de a kézi billegtetéses próba és a szemrevételezés is szükséges a hibabehatároláshoz. Az ablak fényáteresztését transzmisszométerrel mérik; a szélvédőn és az első oldalüvegen a határ alatti fényáteresztés vizsgahiba. A zajszintmérést meleg motornál, meghatározott fordulatszám-protokollal, A-súlyozással végzik, és a mért értéket a járműre érvényes határértékhez hasonlítják. **Továbbvitt eredmény.** A fent bemutatott résztechnológiákat az Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára alfejezetben a teljes vizsgafelkészítés, a Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata alfejezetben pedig a fékrendszer célzott diagnosztikája használja fel; a görgős pad mérésének kiértékelése különösen fontos a fékhibák behatárolásánál.

36.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a hazai hatósági vizsgálati jogszabályok (6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és kapcsolódó vizsgálati módszertani előírások), az ENSZ-EGB előírások (ECE R13/R13-H fék, ECE R48 világítás, a fényszórókra és a zajra vonatkozó előírások), gyártói javítási/beállítási adatok, valamint a vizsgálóberendezések kezelési útmutatói. Az alábbi adatok kiadás előtt célzottan ellenőrizendők:

- a pontos hibakategóriák és a minősítési következmények a hatályos vizsgálati jogszabály szerint,
- a görgős fékerőmérőn alkalmazott pedálerő, a fékerő-görbe kiértékelési határértékek,
- a fényszóró-ellenőrzés mérési távolsága, a megengedett dőlés és a vízszintes eltérés tűréshatárai,
- a szélvédő és az első oldalüvegek fényáteresztési határértékei és a fóliázás szabályai,
- a közeltéri zajszintmérés mérési geometriája, fordulatszám-protokollja és a járműkategóriánkénti határértékek.

36.3. Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára

36.3.1. Motiváció

A műhelyben gyakran hallod: „viszem műszaki vizsgára, nézzük át, hogy ne bukjon meg”. Az időszakos vizsga nemcsak fék-, futómű- és világításvizsgálatból áll, hanem **környezetvédelmi felülvizsgálatból** is. Ha a kipufogógáz-érték rossz, a motorellenőrző lámpa (MIL) világít, az OBD-rendszer readiness állapota nem kész, vagy a futómű/kormány/fék rendszerben kopást talál a vizsgabiztos, a jármű elutasítást kap. A javítás és a vizsga előtti **tudatos felkészítés** az autószerelő feladata, mert így kerülhetők el a felesleges vizsgaismétlések és az ügyfél bosszúsága.

36.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy vizsgaállomást. Az autó a vizsgálósor elején áll. A vizsgabiztos először az okmányokat és az alvázszámot ellenőrzi, majd szemrevételezi a világítást, az üléseket, a biztonsági övet és az üvegfelületeket. Ezután a jármű a fékpadra gurul, ahol fékerőt és oldalankénti fékerő-különbséget mérnek. A következő állomáson a lengéscsillapító-vizsgáló és a futómű-holtjátékmérő következik, majd a fényszóró-ellenőrző. A sor végén a kipufogógáz-műszer szondáját a kipufogóba helyezik, vagy a diagnosztikai csatlakozón át EOBD-adatokat olvasnak. A mért értékeket a műszer a jármű típusához rendelt határértékekkel veti össze, a jegyzőkönyv pedig azonnal mutatja az eredményt.

36.3.3. Definíciók és jogi keret

Definíció. Környezetvédelmi felülvizsgálatnak nevezzük a jármű műszaki vizsgájának azt a részét, amely a kipufogógáz-kibocsátást, a fedélzeti diagnosztika (OBD/EOBD) állapotát, a tüzelőanyag- és kipufogórendszer tömítettségét, valamint a környezetvédelmi szempontból lényeges szerkezetek (például katalizátor, DPF, EGR, aktívszén-tartály) meglétét és működését ellenőrzi.

Definíció. Műszaki vizsgálati tanúsítvány a vizsgálat eredményéről kiállított, a jármű adatait, a vizsgálat típusát, a mért értékeket, azok határértékeit és a minősítést tartalmazó dokumentum. A gyakorlati életben ez elektronikus jegyzőkönyvként jelenik meg; a hagyományos „zöldkártya” korábbi, külön környezetvédelmi igazolás volt, amelynek mai megfelelőjét a hatályos vizsgálati rendszer szerint kell kezelni **(ellenőrizendő: az aktuális hazai eljárásrend és nyomtatványok)**.

Előírás. A közúti járművek időszakos műszaki vizsgálatát és környezetvédelmi felülvizsgálatát Magyarországon a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról szóló 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és a forgalomba helyezés, illetve forgalomban tartás feltételeiről szóló 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet szabályozza **(ellenőrizendő: a hatályos rendeletszámok, szövegek és a módosítások, valamint az illetékes közlekedési hatóság aktuális megnevezése)**. Az Európai Unióban a típusjóváhagyás keretében az Euro-kibocsátási fokozatok, az EOBD-követelmények és a forgalmi vizsgálatok keretfeltételei az uniós közlekedési jogszabályokból következnek **(ellenőrizendő: a hatályos EU-rendeletek és EGB-előírások, valamint a vizsgálati határértékeket tartalmazó táblázatok)**.

Környezetvédelem. A vizsgálat során a kipufogógáz-értékeket zárt térben csak elszívással szabad mérni. A járműből kikerülő fáradt olaj, hűtőfolyadék, fékfolyadék, olajos törlőkendő, kiszűrt részecske és az elhasznált akkumulátor veszélyes hulladék. A kibocsátásvédelmi rendszer

(katalizátor, DPF, EGR, AdBlue-rendszer) eltávolítása, üzemen kívül helyezése vagy szoftveres manipulálása **tilos**; az ilyen jármű a vizsgán elutasítást kap, a szerelő és az üzemben tartó pedig jogi következményekkel számolhat.

36.3.4. A környezetvédelmi felülvizsgálat technológiája

A vizsgálat módja függ a jármű tüzelőanyagától, évjáratától és emissziós besorolásától. Három fő utat különböztetünk meg: **Otto-motoros gázmérés**, **dízelfüstölésmérés** és **OBD/EOBD-alapú vizsgálat**.

36.3.4.1. Otto-motoros járművek kipufogógáz-vizsgálata

Benzinüzemű jármű esetén a kipufogógáz-összetételt a kipufogóba helyezett szondával mérik. A mérés akkor érvényes, ha a motor **üzemmeleg**, a katalizátor elérte a működési hőmérsékletét, és a motor alapjáraton, illetve előírt emelt fordulatszámon jár. A műszer jellemzően a következő mennyiségeket méri:

- **CO** (szén-monoxid) – százalékban; a dús keverék, szivárgó befecskendező, hibás lambdaszabályozás vagy gyenge katalizátor növeli.
- **HC** (szénhidrogén) – ppm-ben; gyújtáskimaradás, szegény keverék miatti égéskimaradás vagy rossz kompresszió növeli.
- **λ** (légviszony) – dimenzió nélküli; **λ≈1** a háromutas katalizátor optimális tartománya, ettől való eltérés CO- vagy HC-emelkedést okozhat.
- **CO_2, O_2** – a mért értékeket ellenőrzésre használják; a szivárgó kipufogó vagy a hígított minta torzítja.

A mérés során a műszer a mért értéket a jármű korához és az emissziós fokozathoz tartozó határértékekkel hasonlítja össze. Egy katalizátoros Otto-jármű üresjárati CO-értéke jellemzően 0,3% alatt, λ értéke 0,97–1,03 között elfogadható **(ellenőrizendő: az adott járműre előírt hivatalos határérték, mérési fordulatszám és vizsgálati eljárás)**. A pontos határokat a vizsgálóállomás műszere a jármű műszaki adatai alapján rendeli a méréshez.

Megjegyzés. A modern benzinmotoroknál a gázmérés mellett vagy helyett az EOBD-adatkiolvasás is kötelező lehet. A hibás katalizátor vagy lambdaszonda nemcsak a gázértékben, hanem a vezérlő hibakódjában és a readiness monitorok állapotában is megjelenik; ezért a gázmérés és az OBD-vizsgálat együtt ad teljes képet.

36.3.4.2. Dízel füstölésmérés

A hagyományos dízelvizsgálat a **füstölésmérés** néven ismert. A mérés célja a kipufogógáz **fényelnyelési együtthatójának** meghatározása, amelyet k-val jelölnek, mértékegysége m^{-1}. Minél több a koromrészecske a kipufogógázban, annál nagyobb a fényelnyelés, tehát annál nagyobb a k érték.

A vizsgálat jellemzően **szabadgyorsításos** módszerrel történik: a motort meleg állapotban, üresben több alkalommal gázpedállal a leszabályozási fordulatszámig gyorsítják, miközben a műszer a füstgáz átlátszóságát méri. Az érvényes mérésekből képzett eredményt az előírt határértékkel hasonlítják össze. Egy korszerű, jól karbantartott dízel motor k értéke DPF nélkül jellemzően 0,5–1,5 m^{-1}, részecskeszűrős motornál nagyságrenddel kisebb, de a határ függ a motortól és az évjárattól **(ellenőrizendő: a hatályos előírás szerinti mérési eljárás és határérték)**.

Figyelem. A szabadgyorsításos mérés a dízelmotor fordulatszámát hirtelen megemeli. A vizsgálatot csak megfelelően rögzített járművön, járó motornál, a kipufogógáz-elszívást üzemeltetve szabad végezni. A nagynyomású common rail rendszeren a méréshez nem kell szerelni, de a vizsgálat előtt a rendszeren semmilyen nyomás alatti csavart nem szabad meglazítani.

36.3.4.3. OBD-alapú vizsgálat

Az OBD/EOBD-vizsgálat a diagnosztikai csatlakozón keresztül a jármű saját fedélzeti rendszerének adatait olvassa. A vizsgáló a következőket ellenőrzi:

- **MIL** (motorellenőrző lámpa) villog-e, világít-e a műszerfalon; alaphelyzetben gyújtásnál be kell világítania, járó motorral ki kell aludnia.
- **Tárolt hibakódok** – emisszióval kapcsolatos hibakód esetén a jármű nem felel meg.
- **Readiness monitorok** – a vezérlő által lefuttatott emissziós öndiagnosztikai tesztek kész állapota. Ha túl sok monitor „nem kész”, a vizsga elutasítható, mert a jármű nem bizonyítja a kibocsátáscsökkentés megfelelő működését **(ellenőrizendő: a hatályos OBD-vizsgálati követelmény, a megengedett nem kész monitorok száma és a MIL-ellenőrzési eljárás)**.
- **Járműadatok** – a vezérlő által jelentett VIN, kalibrációs azonosító, emissziós besorolás egyezzen a jármű okmányaival.

Gyakorlat. A műhelyben ezért nem elég a hibakódot törölni a vizsga előtt: a törlés a readiness teszteket is alaphelyzetbe állítja, és a vizsgán „nem kész” állapotot mutathat. A helyes megoldás a hibát **megjavítani**, majd a járművel előírt menetciklust teljesíteni, amíg a rendszer a monitorokat újra lefuttatja. Ez a diagnosztikai részletekkel együtt a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD és a Rendszerteszter-használat alfejezetekben kerül elő.

36.3.5. A tanúsítvány és a műszaki adatlap

A vizsgálat során rögzített adatokból készül a **vizsgálati jegyzőkönyv**, amelynek fő rovatai:

- **Járműazonosítás:** rendszám, alvázszám, gyártmány, típus, típusváltozat, motorszám, futott kilométer.
- **Vizsgálat típusa:** időszakos vizsga, hatósági vizsgálat, soronkívüli vizsga; a vizsgálat dátuma és az állomás azonosítója.
- **Műszaki adatok:** hengerűrtartalom, teljesítmény, tüzelőanyag, emissziós fokozat, ülések száma, gumiabroncsméret, tengelyterhelés, megengedett össztömeg.
- **Mért értékek:** fékhatás, fékhatáskülönbség, lengéscsillapítás, fényszóró-irány, CO, HC, λ vagy füstölés k érték.
- **Határértékek:** a járműhöz rendelt előírt értékek.
- **Minősítés:** megfelelt, megfelelt kisebb hibával, elutasítás; a hibák kódja és a javítási határidő.
- **Azonosító aláírások:** vizsgabiztos, állomás bélyegzője, elektronikus azonosító.

A **műszaki adatlap** a jármű alapadatainak és műszaki jellemzőinek összefoglalója, amely a vizsgálathoz és a javításhoz is alapinformáció. Kitöltését a tanműhelyben gyakorolni kell: a forgalmi engedély, a gyártói típustábla és a jármű okmányai alapján az adatokat össze kell vetni a vizsgálati rendszerben szereplő értékekkel. Ha például a bejegyzett gumiabroncsméret 205/55 R16, de a járművön 195/65 R15 van felszerelve, a vizsgán elutasítás járhat, mert a méret nem felel meg a jármű engedélyének **(ellenőrizendő: a hatályos előírás a megengedett méretekről)**.

Gyakorlat. A tanúsítvány kitöltésekor a mért értéket mindig a megfelelő mértékegységgel írd be: fékhatás %, CO %, HC ppm, λ dimenzió nélkül, füst k m^{-1}. A határérték mellett a műszer döntését (megfelelt/elutasított) rögzítik, nem a szerelő becslését.

36.3.6. Vizsga előtti ellenőrzőlista

Az átvizsgálás célja, hogy a vizsga előtt minden olyan hibát megtaláljunk, amely elutasításhoz vezethet. Az alábbi **számozott ellenőrzőlista** tanműhelyi átvizsgálásra szolgál, és a Gázelemzés és füstölésmérés, valamint a Vizsgafelkészülés alfejezetekben is visszaköszön.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Jármű alá csak a gyártói emelési pontokon, megfelelő emelővel, alátámasztott állapotban szabad bemenni.

Ellenőrzőlista:

1. **Azonosítás és okmányok.** Forgalmi engedély, típustábla, alvázszám, motorszám, emissziós besorolás egyezése.
2. **Világítás és láthatóság.** Fényszórók, index, helyzetjelző, féklámpa, hátsó ködlámpa, tolatólámpa, rendszámtábla-világítás; kiégett izzó és rossz fényszóró-beállítás javítása.
3. **Fékrendszer.** Fékfolyadék-szint, pedálutak, kézifék-út, fékbetét- és tárcsa/dobkopás, féktömlők, csővezetékek, ABS-hibakód, figyelmeztető lámpa.
4. **Kormányzás.** Kormányholtjáték, gömbcsuklók, kormányösszekötők, szervokormány-tömlők, rásegítés és egyenletes kormányzási ellenállás.
5. **Futómű.** Lengéscsillapító-szivárgás, rugó, szilent, kerékcsapágy, kerékagy-kottyanás, holtjáték.
6. **Gumiabroncsok és kerekek.** Mintamélység, egyenletes kopás, sérv, vágás, korhadt gumi, kerékanyák meghúzása, előírt méret és sebességindex.
7. **Karosszéria és korrózió.** Teherviselő elemek, küszöbök, padlólemez, hossztartók, toronycsapágy, féktárcsa mögötti zónák; átrozsdásodás, lyukadás, éles lemez.
8. **Szivárgások.** Motorolaj, hűtőfolyadék, fékfolyadék, üzemanyag, kormányszervó-folyadék, klímaolaj; friss csepegések a padló alatt.
9. **Kibocsátás.** MIL-lámpa, EOBD-hibakódok, readiness állapot, kipufogórendszer tömítettsége, katalizátor/DPF megléte, AdBlue-szint, füstölés.
10. **Próbaút.** Fék viselkedése, kormányzás, futómű zajok, sebességmérő, ABS/ESP visszajelzés, motor teljesítmény, elszívással járó motor vizsgálata.

36.3.7. Gyakorlati útmutató: teljes vizsga előtti átvizsgálás

Cél. A jármű felkészítése az időszakos műszaki vizsgára; az elutasításra vezető hibák felderítése és javítása.

Jármű- és adatazonosítás. Gyártmány, típus, rendszám, alvázszám, futott km, tüzelőanyag, emissziós fokozat. A jármű adatait mindig vessük össze a forgalmi engedéllyel és a gyártói javítási adatbázissal.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok. Emelő/bak, lámpa, zseblámpa, tükör, műanyag lap, gumiabroncs-mintamélységmérő, fékfolyadék-minőségmérő, hűtőfolyadék-ellenőrző, olajszintmérő, diagnosztikai műszer OBD-csatlakozóval, gáz- vagy füstmérő (ha a műhely rendelkezik), nyomatékkulcs, törlőkendő, gyűjtőedény.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Az emelést a gyártói emelési

pontokon végezd, az alátámasztást ellenőrizd, és járó motornál mindig használj kipufogógáz-elszívást. Az akkumulátor lekötése előtt kövesd a gyártói előírást (adatmentés, adaptációk). Ne dolgozz feszültség alatt lévő HV-rendszeren.

Munkalépések.

1. **Dokumentumok és azonosítás.** Ellenőrizd a forgalmi engedély, alvázszám, motorszám és típusadat egyezését. Írd fel a vizsgálati rendszerben szereplő emissziós fokozatot.
2. **Szemle és funkcionális ellenőrzés.** Minden világítást, kürtöt, ablaktörlőt, ablakmosót, biztonsági övet, ajtózárat, ülésrögzítést és tükröt ellenőrizz.
3. **Emelés és alátámasztás.** Emeld meg a járművet a gyártói emelési pontokon, majd helyezd bakokra. Soha ne menj alá kizárólag kocsiemelővel tartott jármű alá.
4. **Futómű- és fékellenőrzés.** Vizsgáld át a fékbetéteket, tárcsákat, dobokat, féktömlőket, csővezetékeket; keress szivárgást, repedést, kopott szilenteket, gömbcsuklókat, lengéscsillapító-szivárgást, kerékcsapágy-kottyanást. A gumiabroncsok mintamélységét legalább három helyen mérd a teljes szélességen; keress sérvet, vágást, egyoldalú kopást.
5. **Korrózió- és szivárgás-ellenőrzés.** Nézd át a padlólemezt, küszöböket, hossztartókat, rugódombokat, féktartókat; keress friss vagy régi olaj-, hűtőfolyadék-, fékfolyadék-, üzemanyag- és kormányszervó-folyadék-szivárgást.
6. **Szintek és folyadékok.** Motorolaj, hűtőfolyadék, fékfolyadék, szervoolaj, AdBlue (ha van), ablakmosó, akkumulátor-töltöttség ellenőrzése. A fékfolyadék forráspontja ne legyen a gyártói minimum alatt.
7. **Diagnosztikai csatlakozó és OBD.** Kapcsold a rendszertesztert a diagnosztikai csatlakozóra. Olvasd ki a hibakódokat, a MIL-állapotot és a readiness monitorokat. A vizsga előtt ne csak töröld a hibákat: tárgyold fel az okot, javítsd, majd teljesítsd a gyártói menetciklust.
8. **Kibocsátás előkészítése.** Melegítsd be a motort a gáz- vagy füstmérés előtt. Ellenőrizd a kipufogórendszer tömítettségét, ne legyen szivárgás a mérőpont előtt. Dízelnél ellenőrizd a DPF regenerációs állapotát; szükség esetén kényszerregenerálást csak a gyártói eljárás szerint végezz.
9. **Próbaút.** Végezz rövid próbautat: fék, kormány, futómű, motor, sebességmérő, ABS/ESP figyelmeztetések. Járó motornál biztonságos helyen kipufogógáz-elszívással dolgozz.
10. **Dokumentálás.** Töltsd ki a munkalapot: az elvégzett ellenőrzéseket, a mért értékeket, a javításokat, a beépített alkatrészeket, a meghúzási nyomatékokat és a próbaút eredményét. A munkalap legyen egyértelmű, mert a vizsgán és az ügyfél tájékoztatásában is bizonyíték.

Ellenőrzési pontok. A fékbetét minimális vastagsága, a gumiabroncs minimális mintamélysége, a fékfolyadék forráspontja, a fényszóró beállítása, a CO/HC/λ, illetve a füstölés k értéke, a MIL-állapot és a readiness. Ezek mind a járműhöz tartozó gyártói vagy hatósági adatok **(ellenőrizendő: az adott jármű előírásai)**.

Dokumentálás. Munkalap, átvizsgálási lista, fék- és futómű-mérési jegyzőkönyv, EOBD-jelentés, fényképek, szervizkönyv-bejegyzés.

36.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy benzinüzemű, katalizátoros autó vizsga előtt érkezik. Az ügyfél nem panaszkodik, mert a motor jár, az autó gyorsul, de a vizsgaállomáson az előző időszakban CO-érték miatt megbukott. A szerelő a diagnosztikai műszerrel kiolvassa az EOBD-hibakódokat: régi, emisszióval kapcsolatos „rendszer túl szegény” hibakód tárolódott, a readiness monitorok egy része nem kész. A gázműszerrel meleg motoron mért CO 0,8%, λ 0,95. A szemrevételezés során a szívócső-levegőtömlő repedését és egy rossz állapotú kipufogócsonk-tömítést talál. A lambdaszonda előtti

kipufogócsonk-szivárgáson beszívott levegő miatt a szonda szegény keveréket érzékelt, ezért a vezérlő tartósan dúsított, és hibakódot tárolt („rendszer túl szegény”); a kipufogóvégen mért CO és λ ezért mutat dús keveréket. A repedt szívótömlő ezt tovább bonyolította. A tömítést és a tömlőt cserélik, a lambdaszondát és a gyújtást ellenőrzik, majd a gyártói menetciklust teljesítik. Az ellenőrző mérésen CO 0,15%, λ 0,99, a MIL nem világít, a readiness kész. A vizsgára felkészített jármű megfelelt.

Tanulság. A tünetmentes autó is elutasítható, mert a kibocsátási hiba nem mindig jár érezhető motorproblémával; ezért a vizsga előtti OBD- és gázmérés legalább olyan fontos, mint a fék és a futómű ellenőrzése.

36.3.9. Tipikus hibák és elutasítási okok

Rendszer	Gyakori elutasítási ok	Vizsgálati mód	Megelőzés
Világítás	kiégett izzó, rossz fényszóróbeállítás	szemle, fényszórómérő	izzócsere, beállítás
Fék	túl nagy fékhatáskülönbség, alacsony fékhatás	görgős fékpad	betét/tárcsa/dob javítás, légtelenítés
Futómű-kormány	holtjáték, kopott szilent/gömbcsukló	rázópad, holtjátékmérő	előzetes futóműjavítás
Gumiabroncs	kopott vagy sérült gumi, nem engedélyezett méret	szemle, mintamélységmérő	megfelelő gumi felszerelése
Korrózió	teherviselő elem átrozsdásodása, lyuk	szemle, kalapácsos vizsgálat	alvázvédelem, lakatos-javítás
Kibocsátás	CO/HC/füst-túllépés, MIL, readiness nem kész	gázmérés, OBD, füstölésmérés	motor-, lambda-, katalizátor/DPF-javítás, menetciklus

Az értékek tanulási példák **(ellenőrizendő: a hatályos előírás és az adott jármű határértékei)**.

Hiba. A hibakódot közvetlenül vizsga előtt törlik anélkül, hogy a hibát megjavítanák. A readiness nem kész, a MIL a menet során újra világít, és a vizsgán elutasítás várható. **Helyes gyakorlat:** a hibát mérd fel, javítsd, és a gyártói menetciklussal futtasd le a monitorokat.

Hiba. A gázmérést hideg motoron végzik, vagy a mérőszondát lyukas kipufogó elé helyezik. A mért λ és CO érték nem lesz reprezentatív, a vizsga érvénytelen vagy elutasító lehet. **Helyes gyakorlat:** üzemmeleg motor, tömör kipufogó, gyártói mérési fordulatszám.

Hiba. A járművön a forgalmi engedélytől eltérő méretű gumiabroncs van, vagy a fékbetét kopásjelzője már jelez, de az ügyfél „csak vizsgára” szeretné vinni. **Helyes gyakorlat:** a vizsga nem pusztán formalitás; a biztonsági és környezetvédelmi hibákat a vizsga előtt ki kell javítani, és az ügyfélnek ezt részletesen el kell magyarázni.

Figyelem. A vizsgát nem szabad úgy értelmezni, mint a jármű átvizsgálásának egyetlen helyszínét. A műhelyi vizsga előtti átvizsgálás célja a hibák megelőző felismerése; a vizsga csak megerősíti a jármű közúti alkalmasságát.

36.3.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A kipufogógáz-méréshez mindig üzemmeleg motor szükséges, hogy a katalizátor és a lambdaszonda a működési tartományban legyen.
2. **Igaz vagy hamis?** Ha az EOBD-hibakódot töröljük, a jármű azonnal vizsgakész, függetlenül a readiness állapottól.
3. Milyen mértékegységben adják meg jellemzően a dízelfüstölésmérés eredményét?
4. Sorolj fel legalább három olyan rovatot, amelyet a környezetvédelmi felülvizsgálati jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell.
5. Miért okozhat elutasítást, ha a gumiabroncs mérete eltér a forgalmi engedélyben bejegyzettől?
6. Mit ellenőrzünk az EOBD-vizsgálaton a MIL-lámpán és a readiness monitorokon?

36.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a környezetvédelmi felülvizsgálat három alapvizsgálati formáját Otto-, dízel- és OBD-képes járműveknél, és nevezd meg mindegyiknél a legfontosabb mért mennyiséget.

2. feladat (A). Sorolj fel legalább öt adatot, amelyet a vizsgálati jegyzőkönyv járműazonosító és műszaki adat részében rögzítenek.

3. feladat (B). Egy benzines autó vizsgálatán a gázműszer a következőket méri: CO 0,45%, HC 180 ppm, λ 1,03. A vizsgálati határértékek tanulási példaként: CO 0,30%, HC 200 ppm, λ 0,97–1,03. Értékeld az eredményt, és írd le a javasolt teendőt.

4. feladat (B). Rendezd helyes sorrendbe a vizsga előtti átvizsgálás négy lépését: (a) fék- és futómű-emelőn végzett ellenőrzés, (b) okmány- és alvázszám-azonosítás, (c) OBD-kiolvasás és kibocsátás-előkészítés, (d) világítás- és funkcionális ellenőrzés. Indokold röviden a sorrendet.

5. feladat (C). Egy ügyfél azt mondja: „A szerelő törölte a hibakódot, mégis megbukott az autóm a műszakin, mert nem kész a readiness.” Magyarázd el, miért nem elég a hibakód-törlés, és mi a helyes eljárás.

6. feladat (D). Dízel szabadgyorsításos füstölésmérésnél három mérést rögzítenek: 2,5, 1,8 és 0,9 m^{-1}. A határérték tanulási példaként 1,5 m^{-1}. Az eljárás szerint (tanulási példa) az eredmény a 0,5 m^{-1} sávon belüli, egymást követő három mérés átlaga. Értelmezd a három mérést, és írd le, milyen karbantartási lépések segíthetnek, ha az eredmény határérték-feletti.

36.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. **Igaz.** A katalizátor csak üzemi hőmérsékleten alakítja át a szennyezőket; hideg motornál a mérés nem reprezentatív, és a vizsgálati eljárás is meleg motort ír elő.
2. **Hamis.** A törlés alaphelyzetbe állítja a readiness monitorokat; amíg az emissziós tesztek nem készek, a jármű nem vizsgakész, és elutasítást kaphat.
3. A dízelfüstölésmérés eredményét jellemzően k fényelnyelési együtthatóban adják meg, mértékegysége m^{-1}.
4. Rendelkezésre álló példák: rendszám, alvázszám, gyártmány/típus, futott km, emissziós fokozat, mért CO/HC/λ vagy füst k érték, minősítés, vizsgadátum.

5. A gumiabroncs méretének meg kell felelnie a jármű forgalmi engedélyében bejegyzett méretnek; eltérő méretnél sérülhet a menetbiztonság, a sebességmérő hitelesítése és a típusjóváhagyás, ezért a vizsgán elutasítás járhat.
6. Ellenőrizzük, hogy a MIL gyújtásnál bevilágít-e, járó motornál kialszik-e, nincs-e emissziós hibakód, és a readiness monitorok teljesítették-e a szükséges öndiagnosztikai teszteket.

1. feladat (A). - Benzinmotoros: gázmérés; CO, HC, λ, CO_2/O_2. - Dízelmotoros: füstölésmérés; k fényelnyelési együttható. - OBD-képes: fedélzeti diagnosztika; MIL-állapot, hibakódok, readiness monitorok.

2. feladat (A). Például: rendszám, alvázszám, gyártmány, típus, motorszám, futott kilométer, hengerűrtartalom, teljesítmény, emissziós fokozat, gumiabroncsméret.

3. feladat (B). A mért CO 0,45% meghaladja a 0,30% határértéket, tehát a jármű ezen a ponton elutasítható. A HC 180 ppm megfelel, a λ 1,03 a tartomány felső határán van. Magas CO szegény λ mellett ellentmondás, amely nem egyszerű dúsulásra, hanem a katalizátor csökkent átalakítására, hengerenként egyenetlen keverékképzésre (befecskendező) vagy mérési hibára (hideg katalizátor, hígított minta, kipufogó-szivárgás) utal. Teendő: üzemmeleg ellenőrző mérés, CO_2/O_2 értékelése, OBD-hibakód kiolvasása (katalizátor-monitor, lambdaszonda-jelek), szivárgáskeresés, majd célzott javítás és javítás utáni meleg motoros ellenőrző mérés. **(Az értékek tanulási példák, ellenőrizendő: járműhöz tartozó határérték.)**

4. feladat (B). Helyes sorrend: (b) okmány- és alvázszám-azonosítás, (d) világítás- és funkcionális ellenőrzés, (a) fék- és futómű-emelőn végzett ellenőrzés, (c) OBD-kiolvasás és kibocsátás-előkészítés. Előbb azonosítjuk a járművet, majd a gyors, biztonságos funkcionális ellenőrzések következnek; az emelést igénylő vizsgálat után, járó motor nélkül ellenőrizzük a diagnosztikát, végül meleg motorral a kibocsátást.

5. feladat (C). A hibakód törlése csak a tárolt hibajegyet törli, de a hiba okát nem szünteti meg. A törlés a readiness monitorokat is alaphelyzetbe állítja, ezért a vizsgán „nem kész” állapot látható. A MIL a meghibásodás visszatérésekor újra világít. Helyes eljárás: a hibát diagnosztizálni, javítani, törölni, majd a gyártói menetciklust teljesíteni, amíg a monitorok kész állapotba kerülnek; csak ezután vihető a jármű vizsgára.

6. feladat (D). A három mérés terjedelme $2{,}5 - 0{,}9 = 1{,}6\ \mathrm{m}^{-1} > 0{,}5\ \mathrm{m}^{-1}$, ezért a mérés nem érvényes; a csökkenő sor hideg motorra, elkoszolódott befecskendezőre, hibás EGR-re, eltömődő légszűrőre vagy DPF/turbo problémára is utalhat. További szabadgyorsítások kellenek, amíg három egymást követő érték a sávba esik. (A három érték átlaga $1{,}73\ \mathrm{m}^{-1}$ lenne, ami a $1{,}5\ \mathrm{m}^{-1}$-es példahatár fölött van, de az átlag nem érvényes mérésből származik.) Teendő: motorolaj és szűrők ellenőrzése, befecskendezők és EGR-vizsgálat, DPF állapot/regeneráció, esetleg kényszerregenerálás gyártói eljárás szerint, majd meleg motorral megismételt mérés. **(Az értékek tanulási példák, ellenőrizendő: a hatályos mérési eljárás és határérték.)**

36.3.13. Rövid összefoglaló

A környezetvédelmi felülvizsgálat a műszaki vizsga része; célja a jármű kibocsátásának és emissziós rendszereinek ellenőrzése. Benzinmotornál CO-, HC- és λ-mérést, dízelmotornál füstölésmérést, modern járműveknél EOBD-vizsgálatot végeznek. Az EOBD-vizsgálat a MIL-t, a tárolt hibakódokat és a readiness monitorokat ellenőrzi; a hibakód puszta törlése nem vizsgakész állapot. A tanúsítvány és a műszaki adatlap a jármű azonosítóit, a mért értékeket, a határértékeket és a minősítést rögzíti. A vizsga előtti átvizsgálás ellenőrzőlistája a világításra, fékre, kormányra, futóműre, abroncsokra, korrózióra, szivárgásra, kibocsátásra, hibakódokra és readinessre terjed ki. A kibocsátásvédelmi rendszerek eltávolítása vagy manipulálása tilos; az ilyen jármű a vizsgán elutasítást kap, és jogi következményekkel jár. **Továbbvitt eredmény.** A

vizsga előtti ellenőrzőlista és a kibocsátásvizsgálati eljárás közvetlenül előkészíti a Gázelemzés és füstölésmérés diagnosztikai méréseit, valamint a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés fejezet önellenőrző feladatait.

36.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hatályos magyar jogszabályok (különösen 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM és 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendeletek), európai uniós rendeletek és ENSZ-EGB előírások, a közlekedési hatóság vizsgálati utasításai, gyártói javítási adatok és diagnosztikai eljárások, valamint szakkönyvi emissziótechnika.

Ellenőrizendő állítások: a hatályos rendeletszámok és a vizsgálati eljárásrend; a gázmérési, füstölésmérési és OBD-vizsgálati határértékek; a megengedett nem kész readiness monitorok száma; a tanúsítvány és az elektronikus jegyzőkönyv pontos rovatai; a mérési módszerek és az üzemmeleg motor pontos feltétele. A megadott CO-, HC-, λ- és k-értékek tanulási példák, nem a járműre érvényes hivatalos határértékek.

37 Motordiagnosztika

37.1. Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata

37.1.1. Motiváció: mikor kell mechanikai motordiagnosztikát végezni?

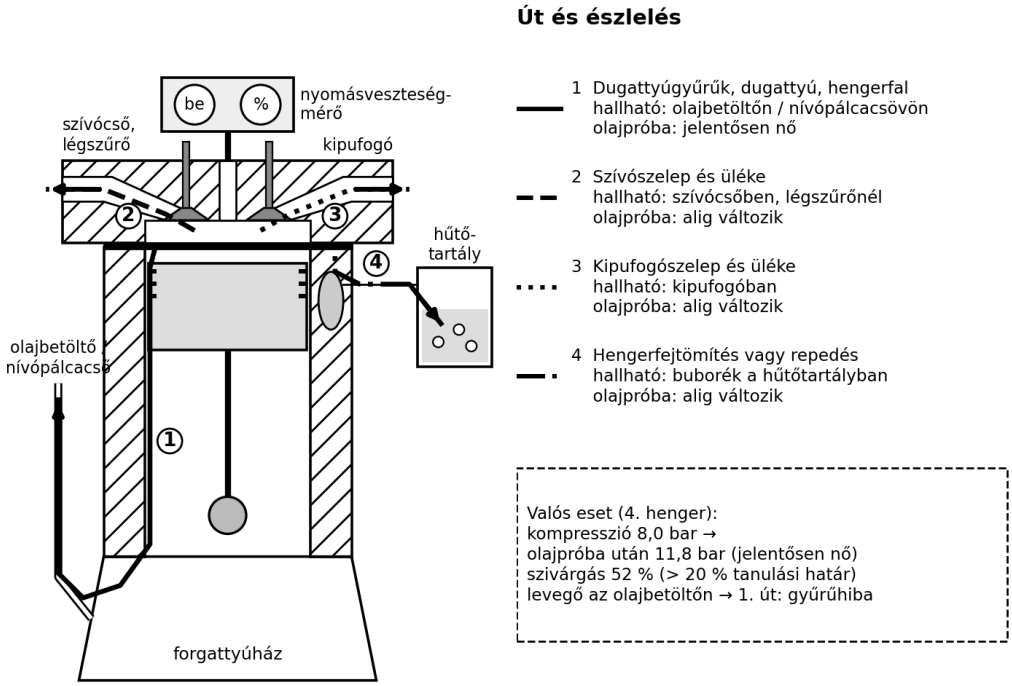
Az ügyfél így írja le a panaszt: hidegen nehezen indul, alapjáraton egyenetlen, gyorsításkor rángat, közben az olajfogyasztás is megnőtt. Ugyanezt a motort a szervizben nem lehet „ránézésre” megjavítani. A diagnosztikai feladat az, hogy a tünetekből célzott mérésekkel derítsük ki, hogy melyik henger, melyik tömítési eleme – dugattyúgyűrű, szelep, hengerfejtömítés – hibás, vagy a probléma inkább keverékképzési, gyújtási vagy vezérlési oldalon van.

A motor mechanikai állapotvizsgálata akkor is előkerül, ha a motor bontása előtt tudni szeretnénk, hogy a hengerek tömítettsége megfelelő-e, vagy a javítást a külső segédberendezésekkel kell kezdeni. A kompresszió- és nyomásveszteségmérés eredményét a(z) A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése alfejezetben is használjuk majd, amikor eldöntjük, hogy a motort érdemes-e teljesen szétszerelni.

37.1.2. Szemléletes kép: a henger mint nyomástartó kamra

Képzeljünk el egy négyhengeres benzinmotort a kompressziós ütemben. A dugattyú felfelé mozog, a szívó- és kipufogószelepek zárva vannak, a hengerfej, a hengerfal és a dugattyú egy zárt teret alkot. Ebbe a térbe levegőt sűrítünk; a nyomás csak akkor marad magas, ha a tér jól tömít.

A tömítést három fő elem adja: a dugattyúgyűrűk és a hengerfal közötti rés, a szelepek és szelepülések közötti zárás, valamint a hengerfejtömítés. Ha ezek bármelyike ereszt, a sűrítés alatt levegő vagy égésgáz szökik el: a gyűrűknél a forgattyúházba, a szelepeknél a szívó- vagy kipufogócsatornába, a hengerfejtömítésnél a hűtőrendszerbe vagy két henger közé. A diagnosztikai mérések ezeket a szivárgási utakat különböztetik meg.



37.1. ábra. A henger szivárgási útjai és a mérésük

A metszeten a dugattyú a kompressziós ütem felső holtpontján áll, mindkét szelep zárva, a nyomásveszteség-mérő a gyertyafuratba csatlakozik. A négy számozott út: (1) a gyűrűk mentén a forgattyúházba – a levegő az olajbetöltőn hallható, olajpróbánál a kompresszió jelentősen nő; (2) a szívószelepen át a szívócsőbe; (3) a kipufogószelepen át a kipufogóba; (4) a hengerfejtömítésen át a hűtőrendszerbe – buborékok a hűtőtartályban. A valós esetben (4. henger: 8,0 bar, olajpróba után 11,8 bar, 52 % szivárgás, levegő az olajbetöltőn) az 1. út a valószínű.

37.1.3. Fogalmak: műszaki diagnosztika, mély- és szelektív diagnosztika

Definíció. A **műszaki diagnosztika** egy műszaki rendszer aktuális állapotának meghatározása, a hiba helyének, okának és várható következményének feltárása mérésekkel, megfigyeléssel és dokumentációval. A **gépjármű-diagnosztika** ennek járművekre alkalmazott formája, amely a motor, az erőátvitel, a futómű, a fék- és a villamos/elektronikus rendszerek állapotát vizsgálja.

Definíció. Mélydiagnosztika alatt egy rendszer teljes körű, minden fő részegységére kiterjedő vizsgálatát értjük. Ilyen például a motorfelújítás előtti átfogó állapotfelmérés, amikor minden henger kompresszióját, szivárgását, kartergázát, olajnyomását és vezérlési állapotát is dokumentáljuk. A **szelektív diagnosztika** ezzel szemben a tünet alapján kiválasztott, célzott vizsgálatokat jelenti: ha például egy henger nem dolgozik, először azt a hengert vizsgáljuk, nem mérjük feleslegesen mind a négy hengert.

Definíció. Összetetten értékelő diagnosztikának nevezzük azt a szemléletet, amikor a mérési eredményeket nem önmagukban, hanem egymással és a tünetekkel összevetve értékeljük. Egy alacsony kompresszióérték önmagában csak annyit jelent, hogy valamelyik henger tömítetlen.

Az olajpróba, a nyomásveszteség-mérés hangja, a kartergázmennyiség és a hengerteljesítmény-különbség együttesen már megmondja, hogy dugattyúgyűrű, szelep vagy hengerfejtömítés a hibás.

Szabály. A mechanikai motordiagnosztikában a tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás láncot követjük. Először rögzítjük a panaszt és a körülményeket, ezután felállítjuk a lehetséges okok sorrendjét, majd célzottan mérünk. A mérési eredményeket a gyártói javítási adatokhoz és a hengerek közötti különbségekhez hasonlítjuk.

A hengerek működőképességéhez mechanikai oldalról három feltétel szükséges: a hengernek tömítenie kell, a vezérlésnek megfelelő időben kell nyitnia-zárnia, és a keveréknek/levegőnek be kell tudnia jutnia. A kompresszió- és szivárgásmérés a tömítést, a szívócső-depresszió mérés a töltéscsere-utakat, a hengerteljesítmény-különbség mérés a hengerüzem egyenletességét vizsgálja.

37.1.4. Kompresszió-végnyomás mérése

A kompresszió-végnyomás mérés az egyik leggyorsabb szelektív vizsgálat. A motort indítómotorral forgatjuk gyújtás és befecskendezés nélkül, miközben a vizsgált hengerbe kompressziómérőt csatlakoztatunk. A dugattyú a szívóütemben levegőt szív, majd a kompressziós ütemben összesűríti. A mért csúcsnyomás az adott henger tömítettségétől, a sűrítési aránytól, a vezérlési időzítéstől, a fordulatszámtól és a motor hőmérsékletétől függ.

Összefüggés. A hengerek közötti eltérést a legnagyobb mért értékhez viszonyítva fejezzük ki:

$$\Delta p_{\%} = \frac{p_{\max} - p_{\text{henger}}}{p_{\max}} \cdot 100\%$$

ahol $p_{\max}$ a legnagyobb mért kompresszió-végnyomás, p_{henger} a vizsgált hengeré. **Előírás.** Gyártói példaérték szerint a hengerek közötti megengedett legnagyobb eltérés jellemzően kb. 10%, de mindig a típusra vonatkozó javítási adat a mérvadó (ellenőrizendő: gyártói adat).

A mérés után **olajpróbát** végezhetünk: a gyanús hengerbe a gyújtógyertya furatán keresztül néhány cm³ motorolajat csepegtetünk, majd megismételjük a kompressziómérést. Ha a nyomás jelentősen megemelkedik, az olaj átmenetileg tömítette a dugattyúgyűrűk és a hengerfal közti rést, tehát a hiba valószínűleg a dugattyú–gyűrű–henger egységben van. Ha a nyomás alig változik, akkor a szivárgás inkább a szelepeknél vagy a hengerfejtömítésnél keresendő.

A kompresszió-végnyomás nem keverendő össze a sűrítési aránnyal vagy a működő motor égésterében kialakuló tényleges kompressziós nyomással. Indítózás közben a fordulatszám alacsony, a töltet nem teljes, ezért a mért érték rendszerint kisebb, mint az égés előtti valódi csúcsnyomás.

37.1.5. Nyomásveszteség-mérés

A nyomásveszteség-mérés (hengerszivárgás-mérés, angolul leak-down test) pontosabban megmutatja, hogy a szivárgás hol történik. A vizsgált henger dugattyúját kompressziós ütemben a felső holtpontra állítjuk, amikor mindkét szelep zárva van. A hengerbe a gyújtógyertya furatán át sűrített levegőt engedünk. A műszer fúvókán vagy nyomáskülönbségen alapulva kijelzi a szivárgási arányt százalékban.

Előírás. A szivárgási határérték típusonként eltérő; tanulási példaként vegyünk 20%-ot felső határnak, ami fölött a henger tömítetlensége már meghatározó (ellenőrizendő: gyártói adat). A szivárgás helyét hallgatással vagy áramlásérzékeléssel azonosítjuk: ha a levegő a szívócsőben

hallható, a szívószelep ereszt; ha a kipufogórendszerben, a kipufogószelep hibás; ha az olajbetöltő nyíláson vagy a nívópálca csövén jön, a dugattyúgyűrűk engedik át a levegőt; ha a hűtőtartályban buborékok jelennek meg, hengerfejtömítés-sérülésre vagy repedésre kell gondolni.

37.1.6. Szívócső-depresszió mérése

A szívócsőben a szívóütemek és a fojtószelep állása miatt a légköri nyomásnál kisebb nyomás, azaz vákuum alakul ki. Benzinmotoron alapjáraton a fojtószelep csaknem zárt, ezért a vákuum nagy. **Példaérték.** Egészséges szívó benzinmotornál üzemi hőmérsékleten, alapjáraton a depresszió jellemzően 45–65 kPa a légköri nyomáshoz képest, a vákuummérő mutatója nyugodt (ellenőrizendő: gyártói adat).

A depresszió-jel alakjának megfigyelése diagnosztikai értékű. Ha a mutató erősen ingadozik, és a motor alapjáraton rángat, az lehet beszűkült, nem megfelelően záró szelep, gyújtáskihagyás vagy hengerfejtömítés. Ha a vákuum folyamatosan alacsony, gondolhatunk kései vezérlésre, beszívott fals levegőre vagy kipufogórendszeri ellennyomásra. A méréshez a szívócső megfelelő, gyártó által kijelölt vákuumcsatlakozójára szerelt mérő kell; a fékrásegítő csatlakozóját csak a gyártói útmutató szerint szabad megbontani.

37.1.7. Kartergáz-mennyiség mérése

A dugattyúgyűrűk mellett mindig átjut valamennyi gáz a forgattyúházba; ezt nevezzük kartergáznak vagy blow-by gáznak. Kopott gyűrűk, erősen karcos hengerfal vagy sérült dugattyú esetén a kartergázáram jelentősen megnő. A mérést a kartergáz-elvezető rendszerbe kötött áramlásmérővel vagy a gyártó által megadott eljárással végezzük.

Példaérték. Egy személyautó benzinmotornál a megengedett kartergázmennyiség üzemi hőmérsékleten, jellemző terhelésen legyen például 35 L/min; a mért 48 L/min már gyűrűkopásra utal (ellenőrizendő: gyártói adat). A kartergázmérés azért fontos, mert az alacsony kompresszióérték és a nagy kartergáz együtt már viszonylag biztonsággal a dugattyúgyűrűkre mutat.

37.1.8. Hengerteljesítmény-különbség és relatív kompressziómérés

A hengerteljesítmény-különbség mérése azt vizsgálja, hogy az egyes hengerek ténylegesen mennyire járulnak hozzá a motor munkájához. Hagyományos eljárásnál a motort üresjáratban járatjuk, majd hengerenként kiiktatjuk a gyújtást vagy a befecskendezést, és mérjük a fordulatszám-csökkenést. Ha egy henger kiiktatásakor alig esik a fordulatszám, az a henger nem dolgozik rendesen. **Példa.** Ha az alapjárat 780 1/min, és a 4. henger kiiktatásakor a fordulatszám csak 772 1/min-re csökken, míg a többi hengernél 730–750 1/min-re, akkor a 4. henger hozzájárulása gyanús.

A korszerű motorirányítás lehetővé teszi a hengerkiiktatás diagnosztikai célú vezérlését a rendszerteszterrel. A kipufogógáz-analizátorral mért ΔHC-eljárásnál a hengerenkénti kiiktatás alatt a szénhidrogén-koncentráció változását figyeljük: a nem dolgozó henger elégetlen keveréke megnöveli a HC-kibocsátást.

Definíció. Relatív kompressziómérés alatt olyan elektronikus vizsgálatot értünk, amely nem igényel gyertyakiszerelést. Indítózás közben az indítómotor áramfelvételének vagy a főtengely szögsebesség-ingadozásának hullámalakját elemezzük. A kompressziós ütemben minden henger lefékezi a főtengelyt, ezért áramcsúcs és fordulatszám-völgy alakul ki. Ha egy henger kompressziója alacsony, az adott szegmensben az áramcsúcs kisebb, a fordulatszám kevésbé esik. Ez a módszer

gyors, de csak hengereket hasonlít össze, a szivárgás helyét nem mutatja meg; ezért gyanú esetén hagyományos kompresszió- és nyomásveszteségméréssel kell kiegészíteni.

37.1.9. Kidolgozott példák

Számítás. Négyhengeres motor kompressziómérésénél a következő értékeket kapták: 1. henger 12,4 bar, 2. henger 12,1 bar, 3. henger 12,3 bar, 4. henger 8,8 bar. A legnagyobb érték 12,4 bar. A 4. henger eltérése:

$$\Delta p_{\%} = \frac{12{,}4 - 8{,}8}{12{,}4} \cdot 100\% = \frac{3{,}6}{12{,}4} \cdot 100\% = 29{,}0\%$$

A 29%-os eltérés a 10%-os tanulási határ felett van, tehát a 4. henger tömítetlensége jelentős. A többi henger egymáshoz képest 2,4%-on belül van, ami megfelelő.

Számítás. Ugyanazon a motoron kartergázmérést végeznek. A gyártói javítási adat szerint a megengedett érték 35 L/min, a mért érték 48 L/min. A túllépés:

$$\frac{48 - 35}{35} \cdot 100\% = \frac{13}{35} \cdot 100\% = 37{,}1\%$$

A nagymértékű kartergázáram és a 4. henger alacsony kompressziója együtt a dugattyúgyűrűk vagy a dugattyú/hengerfal hibájára utal.

37.1.10. Minőségellenőrzés

A mechanikai vizsgálatoknál a következő ellenőrzési pontokat érdemes dokumentálni:

- motor hőmérséklete, indítófordulatszám, akkumulátorfeszültség;
- kompresszióértékek hengerenként, a legnagyobbhoz viszonyított eltérés;
- olajpróba előtti és utáni érték;
- nyomásveszteség százalékos értéke és a szivárgási hang helye;
- szívócső-depresszió értéke és a mutató viselkedése;
- kartergázmennyiség és a gyártói határ.

Előírás. A mérési jegyzőkönyvben tüntessük fel a jármű azonosítóját, a motortípust, a mérési körülményeket, a mért értékeket és a gyártói határértéket. A javítást csak a mért értékek és a gyártói előírás összevetése után szabad megtervezni.

37.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy benzines autó ügyfele arra panaszkodik, hogy hidegen nehezen indul, alapjáraton rángat, és az olajfogyasztás is emelkedett. A motorszimptóma alapján először hengerteljesítmény-különbséget mérünk üresjáratban. A 4. henger kiiktatásakor a fordulatszám alig csökken, a többi henger kiiktatásakor jól érzékelhetően. Ezután kompressziómérést végzünk: az 1–3. henger értéke 12,2–12,5 bar között van, a 4. hengeré 8,0 bar. Olajpróba után a 4. henger nyomása 11,8 bar-ra emelkedik. A nyomásveszteség-mérés 4. hengernél 52%-os szivárgást mutat, és a levegő erősen hallható az olajbetöltő nyíláson. A kartergázmennyiség is magas.

Az értékelés: a 4. henger tömítetlen, és a szivárgás a dugattyúgyűrűk felé történik. A javítás a motor szétszerelése, a 4. henger dugattyújának, gyűrűinek és a hengerfal kopásának ellenőrzése,

majd gyűrű- vagy dugattyúcsere, szükség esetén furatfelújítás lett. A tanulság: a kompresszió- és szivárgásmérés együtt tette feleslegessé a hengerfej felesleges bontását, mert már a szétszerelés előtt behatárolta a hibát.

37.1.12. Gyakorlati útmutató

37.1.12.1. Kompresszió-végnyomás és nyomásveszteség mérése benzinmotoron

Cél. A hengertömítettség vizsgálata, a szivárgás helyének behatárolása, a javítási munka terjedelmének meghatározása.

Jármű- és adatazonosítás. Olvassuk le a gyártmányt, típust, motorkódot, futásteljesítményt. Keressük meg a gyártói javítási utasításban a kompresszió-végnyomás, a hengerek közötti megengedett eltérés, a nyomásveszteség határ és az olajpróba előírásait (ellenőrizendő: gyártói adat).

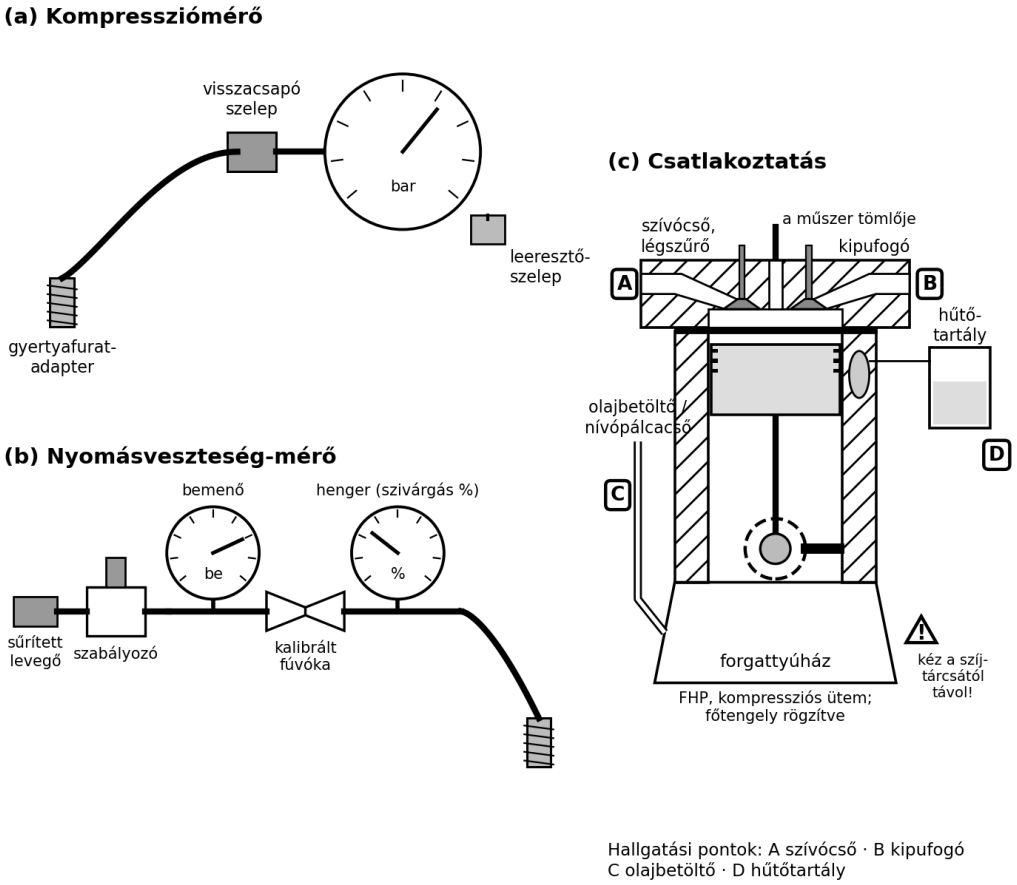
Szükséges eszközök. Kompressziómérő a megfelelő adapterrel, nyomásveszteség-mérő műszer sűrítettlevegő-csatlakozóval, vákuummérő, kartergázmérő, diagnosztikai teszter, multiméter, szikrakulcs/gyertyakulcs, nyomatékkulcs, akkumulátor-töltő, védőkesztyű, védőszemüveg.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések.

- A motortér és a kipufogórendszer forró lehet: védőkesztyű, óvatos érintés.
- A gyújtás és a befecskendezés kikapcsolása előtt a gyártói utasítás szerint járjunk el; a befecskendezők nyomás alatt állhatnak.
- Akkumulátor lekötésnél először a testkábelt (negatív) kössük le, visszakötésnél utoljára azt csatlakoztassuk.
- A sűrített levegővel végzett nyomásveszteség-mérésnél a hengerből olajpára távozhat; dolgozzunk jól szellőztetett helyen.
- A motortérbe került olajcseppeket töröljük fel; az olajos rongy veszélyes hulladéknak számít.
- Ha a méréshez a jármű megemelése szükséges, csak a gyártói emelési pontokon, bakra támasztva szabad dolgozni.

A két műszer felépítését és a motoron való csatlakoztatását az alábbi ábra mutatja; a nyomásveszteség-mérésnél a vizsgált henger felső holtponton áll, a főtengelyt rögzítjük, és a szivárgó levegőt a jelölt A–D pontokon hallgatjuk.



37.2. ábra. Kompresszióméró és nyomásveszteség-mérő felépítése, csatlakoztatás a motoron

37.1.12.2. Kompresszióméró lépései

1. Járassuk a motort üzemi hőmérsékletre, majd állítsuk le, és rögzítsük a járművet.
2. Kapcsoljuk ki a befecskendezést és a gyújtást a gyártó szerint, például a befecskendező és a gyújtótekercsek biztosítékának/reléjének eltávolításával.
3. Szereljük ki a gyújtógyertyákat, és jelöljük meg őket hengerenként.
4. Csavarjuk a kompresszióméró adaptert az első henger gyertyahelyére.
5. Nyomjuk le teljesen a gázpedált, hogy a fojtószelep nyitva legyen, és indítózzunk addig, amíg a műszer csúcsértéke állandósul. Jegyezzük fel az értéket.
6. Ismételjük meg a mérést minden hengeren.
7. Hasonlítsuk össze az értékeket egymással és a gyártói határértékkel.
8. Ha egy henger túl alacsony, végezzünk olajpróbát: cseppentsünk kevés motorolajat a hengerbe, majd ismételjük meg a mérést.
9. Szereljük vissza a gyújtógyertyákat, a biztosítékokat/reléket, és töröljük a mérés közben keletkezett hibakódokat, majd végezzünk próbajáratot.

Ellenőrzési pontok. A mért kompresszió legyen a gyártói tartományban; a hengerek közötti eltérés legfeljebb a gyártói mérték; olajpróba után a gyűrűhibás henger nyomása jelentősen emelkedik, a szelephibásé alig változik.

37.1.12.3. Nyomásveszteség-mérés lépései

1. A vizsgált henger dugattyúját állítsuk kompressziós ütem felső holtpontjára, és rögzítsük a főtengelyt az előírt módon.
2. Csatlakoztassuk a nyomásveszteség-mérőt a gyertyahelyre.
3. Adjunk a műszerre meghatározott nyomású, szűrt sűrített levegőt.
4. Olvassuk le a szivárgási százalékot, és hallgassuk meg a szívócsövet, a kipufogót, az olajbetöltőt és a hűtőtartályt.
5. Jegyezzük fel a szivárgási arányt és a hang helyét.
6. Ismételjük meg minden hengeren, ha a hiba helye nem egyértelmű.

Táblázat: Szivárgási hang és valószínű hiba helye (példaértékek).

Hol hallható a szivárgó levegő?	Valószínű hiba
Szívócsőben	Szívószelep és üléke
Kipufogórendszerben	Kipufogószelep és üléke
Olajbetöltőn / nívópálca-csövön	Dugattyúgyűrűk, dugattyú, hengerfal
Hűtőtartályban buborékok	Hengerfejtömítés vagy repedés

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

37.1.13. Tipikus hibák

1. **Hideg motoron mérnek.** A hideg motoron mért értékek eltérhetnek az üzemi hőmérsékletű értékektől, ezért a gyártói határhoz való hasonlítás félrevezető lehet.
2. **Nem nyitják ki a fojtószelepet.** Zárt fojtószelepnél a henger töltete csökken, így alacsonyabb kompressziót mérhetünk, és tévesen hengerhibát állapítunk meg.
3. **Az olajpróba növekedését rosszul értelmezik.** Ha az olajpróbánál minden henger kis mértékben emelkedik, az nem feltétlenül gyűrűhiba; a döntő a vizsgált henger jelentős, hengerenkénti emelkedése.
4. **A nyomásveszteség-mérésnél nincs a dugattyú pontosan FHP-ban.** Ha a dugattyú nincs a kompressziós ütem felső holtpontján, a szelepek kismértékben nyitva lehetnek, és a szivárgást tévesen szelephibának tulajdonítjuk.
5. **A kartergázmérést figyelmen kívül hagyják.** A magas kartergázmennyiség fontos jel, mert a kompresszió- és szivárgásmérés mellett megerősíti a gyűrűhibát.

37.1.14. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kompresszió-végnyomás megegyezik a sűrítési aránnyal? Indokold!
2. Egy motoron a mért kompresszióértékek: 13,0; 12,7; 13,1; 10,2 bar. Számítsd ki a 4. henger eltérését a legnagyobb értékhez képest.
3. Olajpróba után a 4. henger kompressziója 10,2-ről 12,9 bar-ra emelkedett. Melyik elem hibája valószínű?
4. Nyomásveszteség-mérésnél a szivárgó levegő a kipufogórendszerben hallható. Mi a hiba?
5. Miért fontos a befecskendezés kikapcsolása kompressziómérés előtt?
6. Egy henger kiiktatásakor az üresjárati fordulatszám alig csökken, a többi hengernél 40–60 1/min az esés. Mit jelent ez?

37.1.15. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden a mély- és a szelektív diagnosztikát, és adj mindkettőre egy-egy motoros példát!

2. feladat (A). Kompressziómérésnél a következő értékeket kapod: 1. henger: 11,5 bar; 2. henger: 11,2 bar; 3. henger: 11,6 bar; 4. henger: 9,0 bar. Számítsd ki a 4. henger eltérését a legnagyobb értékhez képest!

3. feladat (B). Az előző mérés után olajpróbát végzel a 4. hengeren, és a kompresszió 9,0-ról 11,3 bar-ra nő. A 4. henger nyomásveszteségmérésénél a levegő az olajbetöltő nyíláson hallható. Melyik szerkezeti elemet gyanúsítod elsősorban? Miért?

4. feladat (B). Egy motornál a kartergázmegengedett érték 30 L/min, a mért érték 42 L/min. Számítsd ki a túllépést százalékban, és értékeld a kompressziómérés ismeretében, ha az egyik henger kompressziója 16%-kal marad el.

5. feladat (C). Válaszd ki, milyen mechanikai vizsgálatot végeznél először, ha a tünet hidegindítási nehézség, alapjáraton egyenetlen járás, és a kipufogó szénhidrogén-szintje magas. Indokold meg, miért nem feltétlenül elég önmagában a hengerteljesítmény-különbség mérése!

6. feladat (D). Egy ügyfél azt panaszolja, hogy autója gyorsításkor rángat, és a hűtőfolyadék szintje lassan csökken. A kompressziómérés szerint az 1–3. henger 12,0–12,6 bar, a 4. henger 8,5 bar. A nyomásveszteségmérésnél a 4. henger szivárgási aránya 38%, és a hűtőtartályban apró buborékok jelennek meg. Mi a hibafeltételezésed, és milyen további mérést vagy vizsgálatot javasolsz?

37.1.16. Megoldások

37.1.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A kompresszió-végnyomás indítózás közben mért nyomás, a sűrítési arány pedig geometriai viszonyszám: $\varepsilon = (V_\mathrm{h} + V_\mathrm{c})/V_\mathrm{c}$.
2. $p_\mathrm{max} = 13{,}1$ bar; $\Delta p = (13{,}1 - 10{,}2)/13{,}1 \cdot 100\% = 22{,}1\%$. Ez jelentős eltérés.
3. A dugattyúgyűrűk–hengerfal egység, mert az olaj átmenetileg tömítette a gyűrűk melletti rést.
4. Kipufogószelep vagy annak üléke ereszt.
5. Ellenkező esetben a befecskendezett üzemanyag tűzveszélyes, és a nem égetett benzin kimossa az olajfilmet, torzíthatja a mérést; a gyújtás miatt szikraveszély is fennáll.
6. Az a henger nem dolgozik megfelelően; mechanikai tömítetlenséget vagy gyújtási/befecskendezési hibát kell keresni.

37.1.16.2. Feladatok megoldása

1. feladat. A mélydiagnosztika teljes körű, minden fő részegységre kiterjedő vizsgálat; például motorfelújítás előtt minden henger kompresszióját, szivárgását, kartergázát és olajnyomását is megmérik. A szelektív diagnosztika a tünetből kiinduló, célzott vizsgálat; például ha egy henger nem dolgozik, először annak a hengernek a kompresszióját és szivárgását ellenőrzik.

2. feladat. $p_\mathrm{max} = 11{,}6$ bar; a 4. henger eltérése:

$$\Delta p_\% = \frac{11{,}6 - 9{,}0}{11{,}6} \cdot 100\% = \frac{2{,}6}{11{,}6} \cdot 100\% = 22{,}4\%$$

A 4. henger tömítetlensége a 10%-os tanulási határ felett van.

3. feladat. A dugattyúgyűrűket, illetve a dugattyú–hengerfal érintkezést gyanúsítjuk. Az olajpróba jelentős nyomásemelkedést adott, és a szivárgó levegő a forgattyúház felé távozott. Ha szelep lenne a hiba, a levegő a szívócsőben vagy a kipufogóban lenne hallható, és az olaj nem javítaná a kompressziót.

4. feladat. A kartergáz-túllépés:

$$\frac{42-30}{30}\cdot 100\% = \frac{12}{30}\cdot 100\% = 40\%$$

A 40%-os kartergáz-túllépés és a 16%-os kompresszióelmaradás együtt gyűrűkopásra vagy dugattyú/hengerfal sérülésre utal, ezért szivárgásméréssel kell a helyét megerősíteni.

5. feladat. Először hengerüzem-vizsgálatot és kompresszió-végnyomás mérést végeznék, mert a tünet mechanikai tömítetlenséget is jelezhet. A hengerteljesítmény-különbség mérés önmagában csak azt mutatja, hogy melyik henger nem dolgozik, de nem különíti el a mechanikai, gyújtási vagy keverékképzési okot. Ezért a kompresszió-, szivárgás- és szívócső-depresszió méréssel együtt értékeljük.

6. feladat. A 4. henger alacsony kompressziója, a 38%-os szivárgás és a hűtőtartályban megjelenő buborékok hengerfejtömítés-sérülést vagy repedést valószínűsítenek a 4. henger környékén. Javasolt továbbá hűtőrendszeri nyomáspróba, kipufogógáz jelenlétének vizsgálata a hűtőfolyadékban, valamint a hengerfej síkfelületének és repedéseinek ellenőrzése a bontás után.

37.1.17. Rövid összefoglaló

A motor mechanikai diagnosztikája a tünetekből célzott mérésekkel határozza meg a hengertömítettségi hibát és annak helyét. A kompresszió-végnyomás mérés indítózás közben vizsgálja a hengerek tömítését; a hengerek közötti eltérést a legnagyobb értékhez viszonyítva százalékban fejezzük ki. Az olajpróba a dugattyúgyűrű-hibát szelephibától különíti el: gyűrűhibánál a nyomás jelentősen emelkedik. A nyomásveszteségmérés pontosabban megmutatja a szivárgás helyét: szívócső, kipufogó, kartergáz vagy hűtőrendszer. A szívócső-depresszió a töltéscsere- és vezérlésállapotot, a kartergázmennyiség a gyűrűk tömítését, a hengerteljesítmény-különbség és a relatív kompressziómérés a hengerek egyenletes működését vizsgálja. **Továbbvitt eredmény.** A kompresszió- és nyomásveszteségmérés százalékos kiértékelését és a szivárgási hely azonosítását használjuk a(z) A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése alfejezetben a szétszerelés előtti hibafelvételezéshez. Biztonsági szabály: a befecskendezést és a gyújtást ki kell kapcsolni, a motort csak az előírás szerint indítóztatjuk, és a mért értékek mindig a gyártói javítási adathoz igazodnak.

37.1.18. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási adatok: kompresszió-végnyomás határérték, hengerenkénti megengedett eltérés, nyomásveszteség-határ, olajpróba eljárás, kartergáz-határ, szívócső-depresszió jellemzők (ellenőrizendő: típusonként)
- A műszaki diagnosztika fogalmai: tankönyvi általános ismeretek; a mérési példaértékek tanulási adatok
- A relatív kompressziómérés elve: indítómotor-áram és főtengely-szögsebesség elemzésén alapul; a konkrét műszeres eljárások gyártónként eltérhetnek (ellenőrizendő)

- Munkavédelem: a járműjavító műhelyi veszélyek általános szabályai; a gyártói javítási utasítás elsőbbsége (ellenőrizendő: hatályos munkavédelmi előírások)

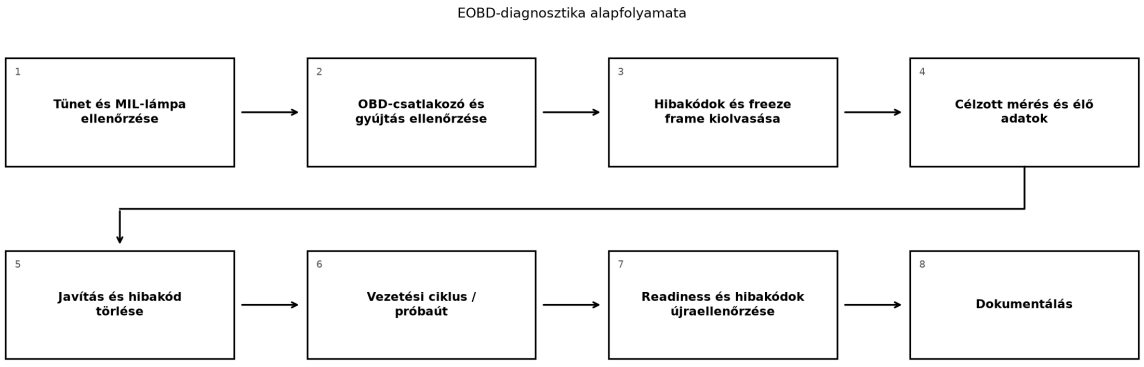
37.2. Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD

37.2.1. Motiváció

Egy Otto-motoros autó műszerfalán menet közben sárga, motorszimbólummal ellátott lámpa gyullad ki: a **MIL** (Malfunction Indicator Lamp), köznyelven „motordiagnosztikai lámpa". Az ügyfél azt kérdezi: „Miért világít, és muszáj-e azonnal megállni?" A mai járművekben ilyenkor a motorvezérlő memóriájában általában már egy **hibakód (DTC – Diagnostic Trouble Code)** és egy befagyasztott mérési pillanatkép, az úgynevezett **freeze frame** található. Az autószerelő feladata nem az, hogy csak „lehúzza" a hibakódot és törölje, hanem az, hogy az EOBD/OBD-rendszer adataiból célzott diagnózist állítson fel, megjavítsa a tényleges okot, majd ellenőrizze, hogy a fedélzeti tesztek ismét lefutottak-e. Ebben az alfejezetben megtanulod, hogyan olvasod ki és értelmezed ezeket az adatokat, és miért nem elég a hibakód-törlés a vizsga előtt.

37.2.2. Szemléletes kép

Képzeld el a következő műhelyi helyzetet. A szerelő az OBD-csatlakozót keresi a kormánykerék alatt, a bal oldali térdszintnél, egy 16 pólusú, trapéz formájú, fekete diagnosztikai aljzatban (SAE J1962 szerinti elrendezés, hazánkban is így alkalmazzák; az elhelyezés járműtípusonként kissé eltérhet – ellenőrizendő a gyártói kézikönyvben). A csatlakozó 4. és 5. érintkezője általában test, a 16. akkumulátorfeszültség, a 6. és 14. a CAN-busz, a 7. és 15. a K-vonal, illetve L-vonal a régebbi protokolloknál. A rendszertesztert csatlakoztatva a készülék először a beépített akkumulátorról kap tápfeszültséget, majd felismeri a járműben használt kommunikációs protokollt, és az ECU-val felvett kapcsolat után kiolvassa a hibakódokat. A diagnosztikai rendszer így egy ablakot nyit a motorvezérlő belső méréseire, amelyeket a szerelő műszer nélkül nem látna.



37.3. ábra. EOBD-diagnosztika alapfolyamata - A lépések a hibakód-kiolvasástól a javítás utáni ellenőrzésig vezetnek (tanulási vázlat).

37.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Az **OBD (On-Board Diagnostics)** a jármű fedélzeti diagnosztikai rendszere, amely a motor és a kipufogógáz-utókezelő rendszerek működését figyeli, hibákat tárol, és a műszerfali

MIL-lámpán keresztül jelzi az emissziót befolyásoló rendellenességeket. Az **EOBD (European On-Board Diagnostics)** ennek Európában érvényes, a hatályos uniós és ENSZ-EGB előírásokkal harmonizált változata (ellenőrizendő: az adott járműkategóriára érvényes EOBD-előírás száma és a bevezetés időpontjai).

Definíció. A **DTC (hibakód)** egy betűkből és számjegyekből álló, szabványos felépítésű kód, amely a hibás rendszerre, a hiba jellegére és a konkrét alkatrészre utal. Például `P0420` jelenti a katalizátorrendszer hatásfokának csökkenését az 1. hengersoron; a kód **nem** mondja meg, hogy a katalizátor vagy a mögötte lévő lambdaszonda hibás-e, csak a tünetcsoportot azonosítja.

Definíció. A **freeze frame** (befagyasztott keret) olyan, a hibakód eltárolásának pillanatában rögzített mérési adatcsomag, amely tartalmazza a fordulatszámot, hűtőfolyadék-hőmérsékletet, járműsebességet, légtömegáramot, motorterhelést és más releváns paramétereket. Ez a pillanatkép segít reprodukálni a hiba létrejöttének körülményeit.

Definíció. A **readiness** (készenléti állapotjelző) azt mutatja, hogy a jármű fedélzeti diagnosztikai tesztjei az adott gyújtási ciklus vagy az utolsó törlés óta teljes ciklusban lefutottak-e. Ha egy teszt „nem kész”, a jármű még nem alkalmas hatósági emissziómérésre, mert a rendszer esetleg elrejthet hibát.

Összefüggés. Az EOBD célja, hogy a kipufogógáz határértékek betartását folyamatosan ellenőrizze. A fedélzeti felügyelet két fő csoportra oszlik: **állandó (folyamatos)** és **időszakos (nem folyamatos)** ellenőrzésekre. Az állandó felügyeletű rendszerek – égéskimaradás, tüzelőanyag-ellátás, lambdaszabályozás egyes részei – minden motorfordulatnál dolgoznak; ha hibát észlelnek, a MIL-lámpa azonnal kigyulladhat. Az időszakos felügyeletű rendszerek – katalizátorhatásfok, EGR, szekunderlevegő, párolgási emisszió (EVAP) – csak meghatározott üzemállapotokban (pl. meleg motoron, részterhelésen) futtatják le a tesztjeiket, ezért a readiness csak a megfelelő feltételek teljesülése után válik „kész” értékűvé.

37.2.4. Felépítés és működés

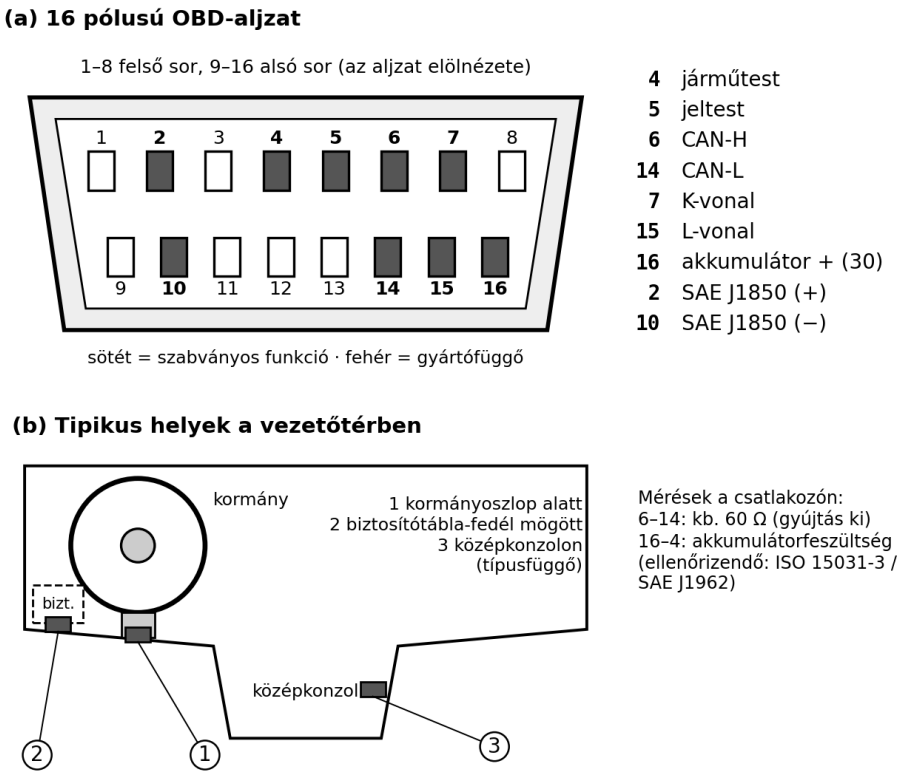
37.2.4.1. Fedélzeti állapotfelügyelet

A motorvezérlő minden égésütemnél kiértékeli a főtengely-jeladó fordulatszámjelét. A hengerenkénti fordulatszám-ingadozásból már korai stádiumban felismeri az **égéskimaradást** (misfire). Ha a kimaradás olyan gyakoriságú, hogy a katalizátor túlmelegedne vagy a HC-kibocsátás megnőne, az ECU MIL-lámpát kapcsol, és P0300–P0304 jellegű hibakódot tárol. A **katalizátor-felügyelet** a katalizátor utáni lambdaszonda jelének amplitúdóját hasonlítja az első szonda jeléhez. A jó katalizátor oxigéntároló képessége miatt a második szonda jele lassú, kis amplitúdójú hullámzást mutat; ha a katalizátor kiöregedett, a második szonda is gyors, nagy amplitúdójú váltakozást produkál, ami P0420/P0430 hibakódhoz vezet. A **lambdaszonda-felügyelet** a szonda fűtését, belső ellenállását, feszültségtartományát és váltási frekvenciáját ellenőrzi (P0130–P0167 tartomány). Az **EGR-felügyelet** a visszavezetett kipufogógáz mennyiségének hatását értékeli, például a szívócső-nyomás vagy a légtömeg jel megváltozásából. A **szekunderlevegő-rendszer** felügyelete a hidegindítás utáni lambda-jel gyors szegényedését vizsgálja, amikor a levegőpumpa friss levegőt juttat a kipufogóoldalra. Az **EVAP-felügyelet** a tartályszellőztető rendszer tömítettségét és a szelepek működését ellenőrzi nyomásváltozás vagy vákuumfenntartás alapján.

Megjegyzés. A dízelmotoroknál a fedélzeti felügyelet a befecskendezési mennyiségeket, a légtömegmérőt, a töltőnyomás-szabályozást és a részecskeszűrő ellennyomását is figyeli; a dízelspecifikus felügyelet kódjai is a szabványos P0/P2 tartományban vannak (pl. P0087, P0401, P2002 – ellenőrizendő), emellett gyártóspecifikus (P1…) kódok is előfordulnak.

37.2.4.2. Az OBD-csatlakozó és kommunikáció

A csatlakozó **16 pólusú, trapéz kialakítású** (SAE J1962 / ISO 15031 szerint, hazánkban is ez a szabványos szerelői csatlakozó). Elhelyezkedése a jármű utasterében, a vezetőoldalon, általában a kormányoszlop és a bal ajtó közötti műszerfalrész alatt van, de típusonként eltérhet (ellenőrizendő a gyártói dokumentációban). A rendszerteszter a csatlakozó 4. és 5. érintkezőjéről kap testet, a 16. érintkezőről akkumulátorfeszültséget; a kommunikáció gyakran a 6. (CAN-H) és 14. (CAN-L) érintkezőn zajlik. Régebbi járműveken a 7. érintkező a K-vonal (ISO 9141/14230), a 15. az L-vonal, esetleg a 2. és 10. a SAE J1850 PWM/VPW. A mai járművek többsége **ISO 15765-4 CAN** protokollt használ, 11 bites azonosítóval, 500 kbit/s sebességgel.



37.4. ábra. A 16 pólusú OBD-csatlakozó érintkezőkiosztása és tipikus helyei

Az ábrán az aljzat elölnézete látható: a felső sorban az 1–8., az alsóban a 9–16. érintkező; sötéttel a szabványos funkciójú érintkezők (4 járműtest, 5 jeltest, 6 CAN-H, 14 CAN-L, 7 K-vonal, 15 L-vonal, 16 akkumulátor-plusz, 2 és 10 SAE J1850), fehérrel a gyártófüggők. A gyakorlati útmutató mérései ezekre épülnek: a 16. és a 4. érintkező között akkumulátorfeszültség, gyújtás kikapcsolt állapotában a 6. és a 14. között kb. $60\,\Omega$ mérhető (ellenőrizendő).

Előírás. Az EOBD diagnosztikai csatlakozójának kialakítását és hibatárolási elveit uniós rendeletek és a kapcsolódó ENSZ-EGB előírások tartalmazzák (ellenőrizendő: az adott járműre érvényes kibocsátási és EOBD-előírásszámok, például a könnyű személygépkocsikra vonatkozó hatályos Euro-előírás). A kódok felépítése az ISO 15031-6 szabvány szerinti, a kommunikáció az ISO 15765-4 szerinti (ellenőrizendő a legfrissebb kiadás száma).

A rendszerteszter **OBD-szolgáltatásokat** hív le. A legismertebb szolgáltatási módok (Mode) a következők:

Szolgáltatás (Mode)	Megnevezés	Mit kapunk?
Mode 01	Aktuális adatlekérés	élő adatok: fordulatszám, λ, hűtővíz-hőmérséklet, járműsebesség, terhelés
Mode 02	Freeze frame lekérés	a hibatárolás pillanatában rögzített paraméterek
Mode 03	Hibakódok kiolvasása	tárolt DTC-k listája
Mode 04	Hibakódok törlése	DTC-k, freeze frame és readiness visszaállítása
Mode 05	Oxigénszenzor teszt	szonda-teszteredmények (egyes járműveken)
Mode 06	Nem folyamatos tesztek	az egyes felügyelt rendszerek belső tesztértékei és küszöbértékei
Mode 07	Függőben lévő hibakódok	olyan hibák, amelyek még nem erősítették meg a MIL bekapcsolást
Mode 09	Járműinformációk	VIN, szoftver-azonosítók, kalibrációs adatok

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: járműspecifikus protokoll és módok).

37.2.4.3. A hibakódok szerkezete

Szabály. Az EOBD-hibakódok **egy betűből és négy számjegyből** állnak, például `P0420`. A betű a rendszerkört mutatja: - `P` – hajtáslánc (Powertrain): motor és váltó, - `B` – karosszéria (Body), - `C` – futómű (Chassis), - `U` – hálózati kommunikáció (Network).

A második karakter a kód szabványosságát vagy rendeltetését jelzi: `0` szabványos emissziós kód, `1` gyártóspecifikus, `2` szabványos, de gyártói kiegészítés, `3` gyártóspecifikus/ott használt. A harmadik karakter a hibás alrendszert azonosítja, például `P01xx` a levegő- és üzemanyag-bevitel, `P02xx` a befecskendező rendszer, `P03xx` az égéskimaradás, `P04xx` a kipufogógáz-utókezelés. Az utolsó két karakter a hiba pontosabb helyét adja meg.

Példa. A `P0302` kód feloldása: `P` hajtáslánc, `0` szabványos, `3` égésrendszer, `02` a 2. henger égéskimaradása. A `P0420` esetén pedig `P` hajtáslánc, `0` szabványos, `4` utókezelés, `20` katalizátor-hatásfok az 1. hengersoron.

37.2.4.4. MIL-lámpa üzemmódok és readiness-kódok

A MIL-lámpa többféle üzemmódban világíthat: - **folyamatosan ég**: megerősített, emissziószempontból kritikus hiba (pl. égéskimaradás, katalizátorhatásfok), - **villog**: súlyos égéskimaradás, amely katalizátor-károsodást okozhat – ilyenkor azonnal csökkenteni kell a terhelést, és lehetőleg leállítani a motort, - **nem világít, de kód tárolva van**: a hiba már előfordult, de a felügyeleti teszt még nem erősítette meg újra, vagy a hiba nem igényel MIL-t.

A **readiness** bitek megmutatják, hogy az egyes felügyelt rendszerek tesztjei elvégezték-e a teljes diagnosztikai ciklust. Ha akkumulátorlekötés vagy hibakód-törlés történt, a readiness bitek törlődnek, és a járművet előbb **járműspecifikus vezetési ciklusnak** (drive cycle, OBD-ciklus) kell alávetni, hogy a tesztek újra lefussanak. A tipikus ciklus hidegindítással kezdődik, városi

gyorsítást-lassítást, országúti szakaszt és alapjáratot tartalmaz; pontos feltételei járműtípusonként eltérnek (ellenőrizendő: gyártói és járműszoftver-adat).

37.2.5. Kidolgozott példák

37.2.5.1. 1. példa: Hibakód kiolvasása és freeze frame elemzése

Adott. A rendszerteszter Mode 03-ban a `P0420` hibakódot olvassa ki. A Mode 02 freeze frame adatai: motorfordulatszám $n = 2\,100\,1/\text{min}$, járműsebesség $v = 86\,\text{km/h}$, hűtőfolyadék-hőmérséklet $T = 91\,^\circ\text{C}$, légtömegáram $\dot{m}_L = 28\,\text{g/s}$, motorterhelés $R_L = 45\,\%$.

Keresett. Mely üzemállapotban keletkezett a hiba, és milyen irányú diagnózist indítasz?

Megoldás. A freeze frame mutatja, hogy a hiba meleg motoron, részterhelésen, országúti sebességnél keletkezett – pontosan abban a tartományban, ahol a katalizátor-hatásfok teszt le szokott futni. A légtömegáram $28\,\text{g/s}$ kétliteres szívómotornál közepes terhelésnek felel meg. A diagnózist a katalizátor mögötti oxigénszonda élő jelének, a fűtésének és a katalizátor oxigéntároló képességének irányába indítod: élő adatnál a hátsó szonda jelváltása gyors-e, vagy esetleg az első szonda is ellaposodott. A törlés előtt dokumentáld a freeze frame értékeit, mert a törlés ezeket is törli. ∎

37.2.5.2. 2. példa: Readiness-állapot és vizsgakészültség

Adott. A járművön akkumulátorcsere után elvégezték a szerelést, majd hibakód törlése történt. A rendszerteszter readiness képernyőjén a katalizátor- és lambdaszonda-felügyelet „nem kész” állapotban van, az égéskimaradás „kész”. A hatósági vizsgálat jövő héten esedékes.

Keresett. Átmehet-e a jármű emissziómérésen, ha a motor jól jár, és nincs hibakód?

Megoldás. Nem feltétlenül, mert a hatósági vizsgálat – az eljárástól függően – kérheti a readiness állapotok ellenőrzését, vagy az EOBD-rendszer által jelzett készültséget. A „nem kész” (incomplete) bitek arra utalnak, hogy a katalizátor- és szondatesztek még nem futottak le, így a vizsgálóállomás elutasíthatja a járművet. El kell végezni a gyártó által előírt vezetési ciklust (pl. hidegindítás, városi szakasz, 80–100 km/h országút, alapjárat), majd újra ellenőrizni a readiness értékeket. Csak akkor szabad a járművet vizsgára vinni, ha minden előírt felügyeleti teszt „kész” állapotú, vagy a vizsgálóállomás az adott ellenőrzéshez elfogadja a rendelkezésre álló ready-s biteket. ∎

37.2.6. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista a diagnosztikai munka előtt és közben:

1. Gyújtás ki, OBD-csatlakozó érintkezőinek tisztasága, feszültség a 16. és 4-5. érintkező között 12 V körül (akkumulátor és tesztcsatlakozó állapota).
2. Rendszerteszter firmware- és járműadatbázis-frissítése (ha van gyártói előírás).
3. Mode 03 hibakódok kiolvasása, Mode 02 freeze frame mentése.
4. Mode 07 függőben lévő hibák ellenőrzése.
5. Mode 01 élő adatok ellenőrzése: lambdajel, hűtővíz-hőmérséklet, terhelés, fordulatszám, adaptációs értékek.
6. Javítás után Mode 04 hibakód-törlés, majd a megfelelő felügyeleti teszt lefuttatása a gyártó szerinti vezetési ciklussal.
7. Readiness bitek ellenőrzése, próbaút után hibakódok újbóli kiolvasása.

37.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy 2012-es benzinmotoros jármű ügyfele szerint a MIL-lámpa kétszer is kigyulladt, de a lámpa idővel kialudt. A szerelő a Mode 03-ban a `P0420` kódot és a freeze frame-et találja; a Mode 07 szerint nincs függőben lévő kód. Az élő adatoknál az első lambdaszonda szép szinuszos jelváltást mutat, a katalizátor mögötti szonda azonban szinte ugyanolyan gyorsan vált, mint az első, és az amplitúdó is magas. A szerelő a kipufogórendszeren repedést vagy tömítetlenséget keres, mert az alacsony katalizátorhatásfoknak lehet mechanikai oka is: a katalizátor előtti és utáni csatlakozásnál kipufogószivárgás „hamis” szegény jelet okozhat. A hővédő lemez eltávolítása után a katalizátor bemeneti tömítésénél kormos nyomot talál. A csavart a gyártói nyomatékkal (ellenőrizendő: gyártói adat) utánhúzza, azonban a tömítés deformálódott, ezért újat szerel be. Javítás után törli a hibakódot, lefuttatja a katalizátortesztet, majd a readiness bitek „kész” állapotba kerülnek. A próbaúton már nem jelenik meg hiba.

37.2.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél. OBD-hibakód kiolvasása, freeze frame elemzése, MIL-lámpa okának feltárása és a javítás utáni readiness ellenőrzése.

Szükséges szerszámok, műszerek: OBD/EOBD rendszerteszter vagy megfelelő diagnosztikai szoftver, multiméter, járműszkennerrel kompatibilis gyári javítási utasítás, védőkesztyű (forró motor környezetéhez).

Munkalépések:

1. Rögzítsd a jármű azonosítóit: rendszám, alvázszám, motorszám, gyártási év, motorkód (a gyártói adatbázishoz). Kapcsold ki a gyújtást.
2. Ellenőrizd az OBD-csatlakozó fizikai állapotát, a 16. érintkezőn lévő feszültséget a 4-5. érintkezőhöz képest; 11,5 V alatt az akkumulátort vagy a csatlakozó táplálását ellenőrizd.
3. Csatlakoztasd a rendszertesztert, és indítsd el a járművel való kommunikációt. Ha a kapcsolat nem jön létre, vizsgáld a gyújtást, a csatlakozó testpontjait, a biztosítékokat.
4. Olvasd ki a tárolt hibakódokat (Mode 03) és a freeze frame-et (Mode 02). Jegyezd fel az adatokat, mielőtt bármit törölnél.
5. Nézd meg a függőben lévő kódokat (Mode 07), és a readiness állapotokat. Ha „nem kész” a teszt, a hibakeresést ne hanyagold el; a MIL-lámpa jelenlegi állapotát is rögzítsd.
6. A kódok és fagyott keret alapján állíts fel hipotézist, majd Mode 01 élő adattal, multiméteres méréssel vagy oszcilloszkóppal igazold az okot. Szerkezeti hibánál vizsgáld a kipufogószivárgást, vákuumcsöveket, csatlakozókat.
7. A javítás elvégzése után töröld a hibakódokat (Mode 04) a gyártó engedélye szerint. **Figyelem.** A hibakód törlése a freeze frame-et és a readiness biteket is törli; ezután a jármű nem rögtön vizsgakész.
8. Futtasd le a gyártó által előírt felügyeleti tesztet vagy vezetési ciklust. Ellenőrizd, hogy a hibakód nem ismétlődik-e meg, és a readiness bitek „kész” állapotba kerülnek-e.
9. Dokumentáld a munkalapon a kódokat, a freeze frame értékeket, a javítás módját és a végső ready állapotot.

Tipikus hiba. Ne törölj hibakódot a mérési adatok rögzítése nélkül; ne töröld a kódot gyári javítási utasítás nélkül, ha a hiba további diagnosztikát igényel.

37.2.9. Tipikus hibák

1. **Csak a hibakódot törlik, az okot nem javítják.** A P0420 kód törlése után a MIL-lámpa egy időre kialszik, de a hiba visszatér, és a jármű emissziós vizsgán megbukhat. Helyes gyakorlat: először az okot kell megtalálni és javítani, majd törölni a kódot.
2. **A freeze frame-et figyelmen kívül hagyják.** A kód önmagában nem ad elég információt; a befagyasztott keret megmutatja, milyen körülmények között lépett fel a hiba. A hibakeresés gyakran csak azzal kezdhető, ha tudjuk, hogy hidegen vagy melegen, alapjáraton vagy részterhelésen történt-e.
3. **A readiness biteket összekeverik a hibakódokkal.** A hibakód-törlés után a rendszer „kész” állapot nélkül nem feltétlenül vizsgakész; ha a szerelő a műszaki vizsga előtt törli a kódot, a járművön elvégzett OBD-tesztek hiányosnak tűnhetnek. Helyes gyakorlat: a gyártói vezetési ciklust elvégezni.

37.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A `P0301` kód az 1. henger égéskimaradását jelzi. Indokold.
2. Mit jelent a „readiness nem kész” állapot, és miért gond a vizsgán?
3. Mi a különbség a Mode 03 és a Mode 07 között?
4. Egy 4 hengeres, 2 literes motornál a freeze frame fordulatszáma 840 1/min, a hűtővíz-hőmérséklet 35 °C. Milyen üzemállapotra utal ez?
5. Melyik két lambdaszonda-jel jelzi a leggyakrabban a katalizátor romlását?
6. Miért hiba a hibakódot a freeze frame mentése és dokumentálása előtt törölni?

37.2.11. Feladatok

1. feladat (A) Bontsd fel a `P0420` és `P0135` hibakódokat a karakterpozíciók szerint.

2. feladat (A) Sorold fel az EOBD hét fő felügyelt rendszerét (katalizátor, lambdaszonda stb.), és jelöld, melyik állandó, melyik időszakos.

3. feladat (B) A tárolt hibakód P0171 (rendszer túl szegény, 1. hengersor); a rendszerteszter Mode 02 (freeze frame) adatai: $n = 2\,500$ 1/min, $v = 110$ km/h, fojtószelep-állás 55 %, $\lambda = 1{,}02$. Milyen üzemállapotban keletkezett a hiba, és mely okokat vizsgálod?

4. feladat (B) Egy járművön a MIL-lámpa villog. Mit kell tenni, és miért?

5. feladat (C) A P0420 hiba diagnosztikája során a szerelő megméri a katalizátor előtti és mögötti oxigénszonda feszültségét. Az első szonda 0,2 és 0,8 V között vált 1 Hz-cel, a hátsó szonda ugyancsak 0,3 és 0,7 V között vált, de 0,9 Hz-cel. Értékeld a mérést; mi lehet a hiba?

6. feladat (D) Egy jármű a műszaki vizsga előtt áll, a readiness bitek: égéskimaradás „kész”, lambdaszonda „nem kész”, katalizátor „nem kész”, EGR „kész”. Milyen teendő a vizsga előtt?

37.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A `P0301` a P hajtáslánc, 0 szabványos, 3 égésrendszer, 01 az 1. henger kimaradása.
2. Nem kész readiness azt jelenti, hogy a felügyeleti teszt nem futott le teljesen. A vizsgán a rendszer nem tudja igazolni a kibocsátás ellenőrzöttségét, ezért elutasítás lehet.
3. Mode 03 a tárolt, megerősített hibakódokat adja; Mode 07 a függőben lévő, még nem megerősített hibákat jelzi.
4. Alapjárati, hideg/félig meleg motor. A hűtővíz 35 °C, ez még bemelegedési fázis; a rendszer hidegindítási és bemelegedési stratégiát alkalmaz.
5. A katalizátor előtti (első) és utáni (második) lambdaszonda jelét. A romlás jele, ha a hátsó szonda amplitúdója és váltási frekvenciája megközelíti az elsőét.
6. A törlés a freeze frame-et és a readiness bitek állapotát is elveszti, így a hiba keletkezési körülményei (fordulatszám, terhelés, hőmérséklet) elvesznek, és a hibakeresés nehezebbé válik; törlés előtt a kódot és a freeze frame-et dokumentálni kell.

1. feladat megoldása. `P0420`: P hajtáslánc, 0 szabványos emissziós, 4 kipufogó-utókezelés, 20 katalizátor-hatásfok az 1. hengersoron. `P0135`: P hajtáslánc, 0 szabványos, 1 levegő- és üzemanyag-bevitel, 35 a fűtőköri hiba (ld. gyártói specifikáció).

2. feladat megoldása. Állandó felügyelet: égéskimaradás, tüzelőanyag-ellátás, lambdaszabályozás. Időszakos: katalizátorhatásfok, EGR, szekunderlevegő, EVAP. (A lambdaszabályozás állandó, de a szondaalapú felügyelet egy része időszakos lehet.)

3. feladat megoldása. A 2500 1/min, 110 km/h, 55 %-os fojtószelep-állás országúti, meleg, részterhelésű üzem. A λ 1,02 kissé szegény, ami lehet légtömegmérő szennyezettség, kipufogószivárgás a szonda előtt, vagy EGR hiba; további mérést igényel.

4. feladat megoldása. A villogó MIL súlyos égéskimaradást jelez, ami tönkreteheti a katalizátort. Azonnal csökkenteni kell a terhelést (sebesség vissza, fordulatszám vissza), lehetőleg meg kell állni, és a motort leállítani, majd hibakódot kiolvasni.

5. feladat megoldása. A hátsó szonda gyors váltakozása és magas amplitúdója nagyon hasonlít az első szondáéhoz, ami a katalizátor oxigéntároló képességének elvesztésére utal. Ez lehet kiöregedett katalizátor, de mechanikai szivárgás is okozhatja. A pontos megoldáshoz tömítettségi vizsgálat, kipufogógáz-nyomásmérés és szondavizsgálat szükséges.

6. feladat megoldása. A járművön a lambdaszonda- és katalizátor felügyelet nem kész. El kell végezni a gyártói vezetési ciklust, és utána újra ellenőrizni; ha a bitek továbbra sem készülnek, a hibát meg kell keresni. Nem szabad kódot törölni, hogy a readiness „késznek” tűnjön – ez manipuláció.

37.2.13. Rövid összefoglaló

Az EOBD a fedélzeti állapotfelügyelet eszköze, amely a kibocsátás szempontjából kritikus rendszereket folyamatosan vagy időszakosan ellenőrzi. A hibakódok (DTC-k) szabványos felépítésűek: a `P0420` jellegű kódok rendszert, alrendszert és konkrét hibát azonosítanak, de a tényleges ok megállapításához további mérések kellenek. A freeze frame a hibatárolás pillanatának adatait őrzi; ezeket a rendezett diagnosztikához dokumentálni kell, mielőtt bármit törölnénk. A MIL-lámpa éghet folyamatosan, villoghat, vagy ki lehet aludva; a hibatárolás a megerősítési ciklusoktól függ. A readiness bitek azt mutatják, hogy a felügyeleti tesztek lefutottak-e; hibakód-törlés vagy akkumulátorlekötés után a gyártói vezetési ciklussal kell újra futtatni őket. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult OBD-hibakódok, freeze frame és readiness értelmezése közvetlenül szükséges a

Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás alfejezetben, ahol a Mode 01/02/06/09 adatokkal dolgozol, valamint a Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakörtérkép és mintafeladatok vizsgafeladataiban. A gyártói javítási utasítás, a járműspecifikus protokoll és az érvényes EOBD-előírás ismerete minden diagnosztikai munka alapja.

37.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ISO 15031-6 (DTC-definíció), ISO 15765-4 (CAN-alapú OBD-kommunikáció), SAE J1962 (csatlakozó), ENSZ-EGB és EU EOBD-előírások (ellenőrizendő a pontos számok és hatály), gyártói javítási utasítások és OBD-ciklusok (járműspecifikus adatok). Az alfejezetben jelölt értékek (feszültség, mintavételi példák, hibakódok magyarázata) tanulási példák; a konkrét jármű adatait mindig a gyártói dokumentációból kell ellenőrizni.

37.3. Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás

37.3.1. Motiváció

Egy benzinüzemű autó a műhelybe érkezik: a vezető szerint „rángat, és többet fogyaszt, mint régen”. A fedélzeti diagnosztika hibakódot nem mutat, a műszerfali hibajelző lámpa nem világít. Ilyenkor a régi, próbálgatásra épülő szerelés helyett a rendszerteszter élő adatait kell nézni: a rövid és hosszú távú üzemanyag-korrekció, a légtömeg és a lambda-értékek gyakran megmutatják, hogy a motor miért kever hibásan. Ebben az alfejezetben a rendszerteszter gyakorlati használatát tanuljuk meg: hogyan kell az élő adatokat értelmezni, beavatkozó tesztet futtatni, adaptációt tanítani, kódolni, illetve mikor kell a fedélzeti diagnosztika mellett párhuzamos vagy periféria-diagnosztikát alkalmazni.

37.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy 16 pólusú diagnosztikai csatlakozót a vezetőoldali lábtérben, amelybe a rendszerteszter szabványos csatlakozóját dugtuk. A teszter képernyőjén egymás alatt jelennek meg az úgynevezett PID-ek (Parameter Identifier adatazonosítók): például a motorfordulatszám, a hűtőfolyadék-hőmérséklet, a szívott levegő hőmérséklete, a légtömeg, a fojtószelepállás, a lambda-érték és az üzemanyag-korrekciók. A technikus egy gombnyomással rögzíti az adatokat, majd alacsony alapjáraton, részterhelésen és teljes terhelésen újra figyeli őket. A számokból nemcsak azt látja, hogy a motor „szegény” vagy „dús” keverékkel jár, hanem azt is, hogy a hiba a levegőoldalon, az üzemanyagoldalon vagy valamelyik érzékelőnél keresendő.

37.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. A **soros diagnosztika** olyan járműdiagnosztikai eljárás, amelyben a diagnosztikai teszter a fedélzeti vezérlőegységekbe – elsősorban a motorvezérlőbe – szabványos soros kommunikációs protokollon keresztül kapcsolódik, és onnan hibakódokat, élő adatokat, fagyasztott keretadatokat (freeze frame) vagy tesztüzemi információkat kérdez le, illetve beavatkozó parancsokat küld.

Definíció. A **rendszerteszter** (scan tool) olyan diagnosztikai műszer, amely alkalmas a fedélzeti diagnosztikai protokollok kezelésére: hibakódok kiolvasására és törlésére, élő adatok

megjelenítésére, beavatkozó tesztek indítására, adaptációk és alapbeállítások futtatására, valamint egyes járműveken kódolásra és vezérlőegység-programozásra.

Definíció. Az **élő adat** (live data) a vezérlőegység aktuálisan mért vagy számított paramétereinek valós idejű megjelenítése a teszteren. Ilyen paraméter például a motorfordulatszám, a hűtőfolyadék-hőmérséklet, a szívott levegő tömegárama, a fojtószelepállás, a lambda-érték, vagy éppen az üzemanyag-korrekció.

Definíció. A **beavatkozó teszt** (actuator test) olyan diagnosztikai üzemmód, amelyben a vezérlőegység egy beavatkozót – például injektort, gyújtótekercset, EGR-szelepet, fojtószelepállítót vagy relét – célzottan működtet, hogy a szerelő ellenőrizze annak villamos és mechanikai működését.

Definíció. Az **adaptáció** (tanulófunkció) olyan eljárás, amelynek során a vezérlőegység a megadott peremfeltételek mellett újra meghatározza vagy finomítja a belső jelleggörbéit, küszöbértékeit – például a fojtószelep alaphelyzetét, a lambda-szabályozás szélső korrekciós értékeit, az automata váltó kapcsolási nyomásait.

Definíció. A **kódolás** a vezérlőegység járműspecifikus beállításainak módosítása: például akkumulátor típusának regisztrálása, a felszereltségnek megfelelő funkciók engedélyezése, a gumiabroncs-méretből adódó kerekesszenzor-karakterisztika kiválasztása. A járműazonosító adatokat és a megfelelő gyártói előírást mindig ellenőrizni kell.

Definíció. A **programozás** (szoftverfrissítés, flashing) a vezérlőegység belső programmemóriájának újraírása, amelyet a gyártó által kiadott, az adott járműhöz és hardververzióhoz illeszkedő szoftverrel szabad elvégezni.

Definíció. A **párhuzamos diagnosztika** a vezérlőegység és a kábelköteg közötti, rendszerint kitörőboxszal (breakout box) végrehajtott mérés: a szerelő a csatlakozó minden érintkezőjét közvetlenül, a vezérlőegység megkerülésével mérheti, miközben a rendszer továbbra is üzemel.

Definíció. A **periféria-diagnosztika** az érzékelők és beavatkozók közvetlen, a vezérlőegységtől független vizsgálata multiméterrel, oszcilloszkóppal vagy célzott műszerekkel – például egy induktív főtengely-jeladó jelalakjának mérése a jeladó csatlakozóján.

37.3.4. Felépítés és működés

A modern soros diagnosztika a fedélzeti diagnosztikai (EOBD/OBD) rendszerre épül. A 16 pólusú diagnosztikai csatlakozó nemzetközileg szabványos elrendezésű; jellemző kiosztása például a 4-es test, az 5-ös jeltest, a 6-os CAN-H, a 14-es CAN-L, a 7-es K-vonal, a 15-ös L-vonal, a 16-os pedig a járműfedélzeti tápfeszültség (ellenőrizendő: gyártói kapcsolási rajz szerint). A csatlakozó fizikai kialakítását az SAE J1962, a diagnosztikai üzenetformátumokat és szolgáltatásokat pedig az ISO 15031 sorozat, illetve a gyártóspecifikus protokollok írják le (ellenőrizendő: hatályos szabványváltozatok).

A diagnosztikai teszterek két fő csoportba sorolhatók:

- **Univerzális teszterek:** az EOBD/OBD üzemmódokat és a leggyakoribb gyártói kiegészítéseket ismerik. Alkalmasak hibakódok kiolvasására, élő adatok megjelenítésére és alapbeállítások futtatására, de a gyártóspecifikus funkciók – például légzsák-adaptáció vagy elektromos rögzítőfék szervizüzemmód – hiányozhatnak belőlük.
- **Gyári vagy gyártóspecifikus teszterek:** az adott márka valamennyi vezérlőegységéhez és szervizfunkciójához hozzáférnek; ilyeneket használnak a márkaszervizekben, és a gyártói javítási utasítás is ezekre hivatkozik.

A teszter első csatlakoztatásakor fel kell vennie a járművel a kommunikációt. Ennek lépései: a gyújtás bekapcsolása, a jármű azonosítása, a diagnosztikai protokoll automatikus kiválasztása vagy kézi megadása, majd a vezérlőegységek kiolvasása. A motorvezérlő mellett jellemzően az ABS/ESP, a légzsák, a műszeregység, a komfortelektronika és a klíma is elérhető. A teszter általában megmutatja a jármű azonosító adatait: VIN-számot, motorszámot, szoftververziót és a gyártói kalibrációs azonosítókat.

A fedélzeti diagnosztika szabványos üzemmódjai közül a gyakorlatban a legfontosabbak:

- **Mode 01:** aktuális élő adatok kiolvasása,
- **Mode 02:** fagyasztott keretadatok (freeze frame) kiolvasása,
- **Mode 03:** tárolt hibakódok kiolvasása,
- **Mode 04:** hibakódok és fagyasztott adatok törlése,
- **Mode 05:** oxigénszenzor-vizsgálati eredmények,
- **Mode 06:** a nem folyamatos fedélzeti monitorok eredményei,
- **Mode 07:** függőben lévő (pending) hibakódok,
- **Mode 08:** a fedélzeti rendszer vezérlésének kérése (korlátozott, pl. EVAP-teszt; ellenőrizendő: SAE J1979); az általános beavatkozó tesztek gyártóspecifikus diagnosztikai szolgáltatások, nem az EOBD részei,
- **Mode 09:** járműinformációk kiolvasása,
- **Mode 0A:** állandó hibakódok.

A **vezetőtájékoztatás** elsődleges eszköze a műszerfali hibajelző lámpa (MIL). A lámpa kigyulladását a vezérlőegység a tárolt hibakóddal együtt dokumentálja; a részletes okot azonban csak a teszterrel lehet megállapítani. A teszter képes a MIL vezérlését is ellenőrizni, például a lámpa ki- és bekapcsolását célzottan vezérelve.

37.3.5. Élő adatok értelmezése

Az élő adatok a hibakeresés leghatékonyabb forrásai, de csak akkor, ha a szerelő tudja, mi a jó érték, és miért változik az aktuális érték az üzemállapottal.

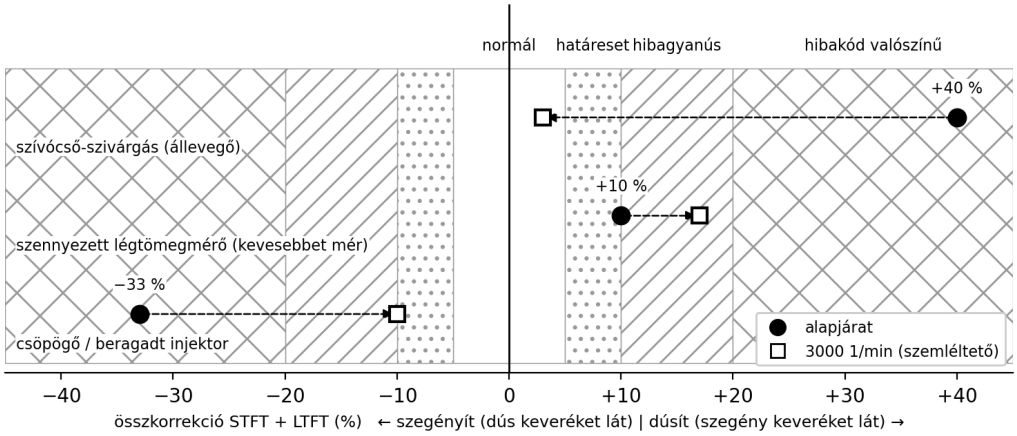
37.3.5.1. Rövid és hosszú távú üzemanyag-korrekció

A motorvezérlő a befecskendezési időt folyamatosan korrigálja a lambdaszonda jele alapján. A **rövid távú üzemanyag-korrekció** (short term fuel trim, STFT) azonnali, a pillanatnyi lambda-eltérést kiegyenlítő módosítás. A **hosszú távú üzemanyag-korrekció** (long term fuel trim, LTFT) a tartós eltérést tanulja meg, és az adaptív értéket tárolja. Mindkettőt százalékban adják meg, ahol a pozitív érték dúsítást, a negatív érték szegényítést jelent az alap befecskendezési időhöz képest.

Összefüggés. Ha az alap befecskendezési idő t_{alap}, a rövid távú korrekció STFT, a hosszú távú korrekció pedig LTFT százalékban, akkor a tényleges befecskendezési idő közelítőleg:

$$t_{\text{bef}} = t_{\text{alap}} \left(1 + \frac{\text{STFT}}{100\%} + \frac{\text{LTFT}}{100\%}\right).$$

Szabály. Széles körű gyakorlati hüvelykujjszabály szerint a hosszú távú korrekció normál értéke körülbelül $\pm 5\%$ körül mozog, $\pm 10\%$ fölött már hibát gyanítunk, $\pm 20\%$ fölött pedig a vezérlőegység általában hibakódot tárol (ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai adat, mert a határértékek típusonként eltérnek). A rövid távú korrekció alapjáraton és részterhelésen is jellemzően néhány százalékos tartományban ingadozik.



37.5. ábra. Üzemanyag-korrekció értelmezése (a sávhatárok tanulási példák, ellenőrizendő)

Az ábra az összkorrekciót (STFT + LTFT) mutatja: a pozitív érték azt jelenti, hogy a vezérlő szegény keveréket lát, és dúsít. A szívócső-szivárgás (alapjáraton +22 % + 18 % = +40 %) terhelésen szinte eltűnik, a légtömegmérő-hiba terhelésen nő, a beragadt injektor (−18 % − 15 % = −33 %) szegényítést okoz; a 3000 1/min-es pontok szemléltetők. A HTML-változatban a csúszkákkal és a hibaszcenáriókkal a t_{bef} is kiszámítható.

37.3.5.2. Légtömeg, lambda és hőmérsékletek

A fűtött szálas vagy fóliás légtömegmérő a ténylegesen beszívott levegő tömegét méri. Alapjáraton egy 2,0 literes szívó benzinmotor jellemző értéke körülbelül 2,5–4,0 g/s, 3000 1/min fordulatszámon pedig nagyságrendileg 10–15 g/s lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A keskeny sávú lambdaszonda feszültsége alapjáraton folyamatosan váltakozik körülbelül 0,1–0,9 V között; a szélessávú szonda jeleit a vezérlő általában már közvetlen lambda-értékké alakítja, ahol $\lambda = 1{,}00$ a sztöchiometrikus keverék. A hűtőfolyadék-hőmérséklet teljesen bemelegedett motornál körülbelül 85–95 °C (ellenőrizendő: gyártói adat), a szívott levegő hőmérséklete közelít a környezeti hőmérséklethez, az olajhőmérséklet pedig általában lassabban követi a hűtőfolyadék hőmérsékletét.

Az alábbi táblázat a leggyakrabban használt élő adatokat és azok tipikus felhasználását foglalja össze:

Élő adat	Tipikus értelmezési tartomány	Mire utalhat az eltérés
STFT / LTFT	±5% körül normál; ±10% fölött gyanús	szivárgás, tömegáram-hiba, üzemanyagnyomás
Légtömeg alapjáraton	2,0 literes szívómotor: 2,5–4,0 g/s	szívócső-szivárgás, eldugult szűrő, szennyezett mérő
Keskeny sávú lambda	0,1–0,9 V váltakozik	ragadt szonda, katalizátorhiba, keverékszegénység
Hűtőfolyadék-hőmérséklet	bemelegedve 85–95 °C	termosztát-hiba, szenzorhiba
Fojtószelepállás	zárt állás: 0–5%, teljes terhelés: 80–100%	fojtószelep-karbon, jeladóhiba

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai adat).

37.3.6. Beavatkozó teszt, alapbeállítás, adaptáció, kódolás és programozás

A beavatkozó tesztet mindig akkor végezzük, amikor azt szeretnénk bebizonyítani, hogy egy adott alkatrész nemcsak villamosan, hanem működésében is megfelelő. A teszter például egymás után kiiktathatja az egyes injektorokat, miközben a fordulatszám-esést figyeljük; működtetheti az üzemanyag-szivattyú relét, az EGR-szelepet, a fojtószelep-állítót vagy a szénszűrő szelepet.

Gyakorlat. A beavatkozó teszt helyes sorrendje:

1. Győződj meg arról, hogy a jármű a gyártói előírás szerinti biztonságos állapotban van; a váltó P vagy üres állásban, a rögzítőfék behúzva.
2. Csatlakoztasd a rendszertesztert, és azonosítsd a járművet.
3. Válaszd ki a megfelelő vezérlőegységet, majd a beavatkozó teszt funkciót.
4. Olvasd el a teszter figyelmeztetéseit; a motortérben forgó, forró vagy elektromos részek közelében légy különösen óvatos.
5. Indítsd el a tesztet, és figyeld a működést: hallható, látható vagy mérhető választ kell kapnod.
6. Ha a beavatkozó nem működik, ellenőrizd a tápfeszültséget, a testelést, a vezérlőjelet és a mechanikus részt.
7. A tesztet zárd le, majd töröld az esetlegesen indukált hibakódokat.

Az **alapbeállítás** (basic setting) a vezérlőegység referenciaértékeinek újratanítása. Például fojtószeleptisztítás után a fojtószelep alaphelyzetét újra kell tanítani, mert a vezérlő a régi, bedugult állapothoz igazított értékeket tárolta. Az **adaptáció** hasonló, de szélesebb körű: a lambda-szabályozás, a kopogásérzékelő-küszöbök, az alapjárati levegőmennyiség, sőt egyes automata váltók kapcsolási nyomatékai is adaptív értékeket használnak. Az adaptációt mindig a gyártói feltételek mellett kell elvégezni: jellemzően bemelegedett motor, zárt fojtószelep, üres állás, meghatározott fordulatszám és fogyasztó-lekapcsolt állapot szükséges.

A **kódolás** során a teszterrel megváltoztatunk egy beállítást, például az új akkumulátor típusát és kapacitását, a felszerelt gumiabroncs-méretet, a nappali menetfény funkciót vagy a komfort-rendszer viselkedését. A kódolás előtt mindig dokumentálni kell a régi beállítást, hogy szükség esetén visszaállítható legyen. A **programozás** – a vezérlőegység flash-memóriájának újraírása – rendszerint úgynevezett pass-thru eszközzel vagy gyári teszterrel történik. A programozás közben a tápfeszültségnek stabilnak kell lennie; a hirtelen feszültség-kiesés a vezérlőegységet véglegesen károsíthatja.

Figyelem. Programozás és kódolás előtt mindig csatlakoztassunk megfelelő, a gyártó által előírt tápfeszültség-fenntartó töltőt az akkumulátorhoz. A programozás idejére tilos a gyújtást kikapcsolni, a diagnosztikai csatlakozót bontani, és nagy fogyasztókat (ventilátor, fűtés, világítás) be- vagy kikapcsolni, mert a kommunikációs hiba a vezérlőegység károsodásához vezethet.

37.3.7. A fedélzeti diagnosztika áramkörvizsgálata, párhuzamos és periféria-diagnosztika

A soros diagnosztika korlátja, hogy mindent a vezérlőegység „szemén” keresztül látunk. Ha egy érzékelő jele hibás, a teszteren megjelenő érték is hibás lehet, de nem tudjuk megmondani, hogy a hiba a jeladóban, a vezetékben vagy a vezérlőben van. Ilyenkor a fedélzeti diagnosztika áramkörvizsgálata, a párhuzamos vagy a periféria-diagnosztika segít.

A **párhuzamos diagnosztika** leggyakoribb eszköze a kitörőbox, amelyet a vezérlőegység és a kábelköteg közé csatlakoztatunk. A doboz minden érintkezőt kivezet egy mérőpontra, így a csatlakozó megbontása nélkül mérhetünk feszültséget, ellenállást vagy jelalakot, sőt egyes méréseknél a jelet a vezérlő felől is elválaszthatjuk. A kitörőbox segítségével például egy

hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő esetén azt is eldönthetjük, hogy a vezérlő által mutatott érték azért rossz, mert az érzékelő ellenállása hibás, vagy mert a testvezeték szakadt.

A **periféria-diagnosztika** során a vizsgált alkatrészt közvetlenül, a jármű gyári csatlakozójánál mérjük. Például egy induktív főtengely-jeladó szinuszos jelét oszcilloszkóppal a jeladó csatlakozóján ellenőrizzük; egy injektor esetén a vezérlőimpulzus hosszát és alakját multiméterrel vagy oszcilloszkóppal követjük; egy hűtőventilátor motort közvetlen táplálással működtetünk a vezérlőegység megkerülésével.

Továbbvitt eredmény. A rendszerteszter élő adatainak értelmezése – különösen az üzemanyag-korrekció, a légtömeg, a lambda- és hőmérséklet-értékek – közvetlenül szükséges a Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC, a Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája, valamint a Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal alfejezetekben, ahol ugyanezeket a paramétereket már célzottan, az adott rendszerre alkalmazva elemezzük.

37.3.8. Kidolgozott példák

37.3.8.1. Példa 1: korrigált befecskendezési idő

Számítás. Adott: egy motor alap befecskendezési ideje egy üres üzemi pontban $t_{\text{alap}} = 2{,}50$ ms. Az élő adatban a rövid távú korrekció STFT $= +8\%$, a hosszú távú korrekció LTFT $= +12\%$. Keresett: a tényleges befecskendezési idő.

Képlet:

$$t_{\text{bef}} = t_{\text{alap}} \left(1 + \frac{\text{STFT}}{100\%} + \frac{\text{LTFT}}{100\%}\right).$$

Behelyettesítés:

$$t_{\text{bef}} = 2{,}50 \text{ ms} \,(1 + 0{,}08 + 0{,}12) = 2{,}50 \text{ ms} \cdot 1{,}20 = 3{,}00 \text{ ms}.$$

Ellenőrzés: a $+20\%$-os összes korrekció miatt a befecskendezési időnek valóban 20%-kal nagyobbnak kell lennie: $2{,}5 \cdot 1{,}2 = 3{,}0$ ms, tehát az eredmény helyes. ∎

37.3.8.2. Példa 2: hengerenkénti légtömeg

Számítás. Adott: a légtömegmérő értéke alapjáraton $\dot{m}_{\text{levegő}} = 3{,}0$ g/s, a fordulatszám $n = 800$ 1/min, a hengerszám $i = 4$. Keresett: egy henger szívóütemére jutó átlagos légtömeg.

Képlet:

$$m_{\text{henger}} = \frac{2 \cdot 60\, \dot{m}_{\text{levegő}}}{i\, n},$$

mert négyütemű motornál két fordulat alatt mind a négy henger szív, és a nevezőben a hengerszám és a percben megadott fordulatszám szerepel.

Behelyettesítés:

$$m_{\text{henger}} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 3{,}0}{4 \cdot 800} = \frac{360}{3200} = 0{,}1125 \text{ g}.$$

Ellenőrzés: a motor 800 1/min fordulatszám mellett másodpercenként 13,33 fordulatot tesz meg; ez hengerenként 6,67 szívóütem/s, a négy hengerre összesen 26,7 szívóütem/s. A 3,0 g/s légtömeg elosztva 26,7 szívóütemmel 0,112 g hengerenként, tehát az eredmény nagyságrendileg helyes. ∎

37.3.9. Minőségellenőrzés

A rendszerteszteres mérést mindig hasonlítsuk a gyártói diagnosztikai adatokhoz, és lehetőleg egy ismert jó jármű azonos üzemállapotban mért értékeihez. Az alábbi ellenőrzőlista segít:

1. A teszter kommunikál-e minden érintett vezérlőegységgel?
2. Vannak-e tárolt, függőben lévő vagy állandó hibakódok?
3. A fagyasztott keretadat milyen üzemállapotban keletkezett?
4. A hűtőfolyadék-hőmérséklet elérte-e az üzemi tartományt?
5. A STFT és LTFT együttes értéke a megengedett sávban van-e?
6. A légtömeg, a fojtószelepállás és a lambda-érték követi-e az üzemállapot-változást?
7. A beavatkozó teszt eredménye megfelel-e az elvárt reakciónak?
8. Az adaptáció vagy alapbeállítás után a tanult értékek visszatértek-e a normál tartományba?

37.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Hibakeresési eset. Egy 1,8 literes szívó benzinmotoros autó ügyfélpanasza: alapjáraton enyhe remegés, a fogyasztás megnőtt, hibakód nincs. A rendszerteszter élő adatai a következőket mutatják: STFT +22%, LTFT +18%, légtömeg alapjáraton 2,1 g/s, keskeny sávú lambda feszültség 0,15 V, hűtőfolyadék-hőmérséklet 88 °C, fojtószelepállás 3%. A teszter nem tárol hibakódot.

Hipotézis. A pozitív üzemanyag-korrekció azt jelenti, hogy a motor szegény keveréket lát, és a vezérlő dúsítással próbálja kompenzálni. Az alacsony légtömeg és a szinte folyamatosan szegény lambda arra utal, hogy a levegő egy része a légtömegmérő megkerülésével jut a szívócsőbe – tehát szívócső-szivárgás (állevegő) valószínű.

Mérés és ok. A szivárgást elsősorban füstgenerátoros szivárgásvizsgálóval keressük, leállított motoron: a szívórendszert enyhe túlnyomással füsttel töltjük, és a füst a résen távozik. Ha a gyártó spray-s vizsgálatot enged, csak erre a célra gyártott, nem gyúlékony vagy a gyártó által jóváhagyott szert szabad használni, kis adagban, forró kipufogóelemektől és szikraforrástól távol, kéznél lévő tűzoltó készülékkel (ellenőrizendő: gyártói előírás); az éghető permet a forró kipufogócsonkon, gyújtótekercsnél vagy a generátornál meggyulladhat. A célzott vizsgálat során a fordulatszám és a lambda-érték megváltozik a szívócsőtömítés közelében. A megbontott tömítésen repedés látható. A szivárgáson beáramló állevegő miatt az ECU kevesebb befecskendezett üzemanyagot számított, de a lambdaszonda a szegény keveréket érzékelte, ezért folyamatosan pozitív korrekcióval dolgozott.

Javítás és ellenőrzés. A sérült tömítést gyártói előírás szerint kicseréljük, a szívócsövet ellenőrzött nyomatékkal rögzítjük. A javítás után a teszter élő adatai: STFT +3%, LTFT +4%, légtömeg alapjáraton 3,2 g/s, a keskeny sávú lambda feszültség váltakozik 0,3–0,7 V között. A hibakód-állapotok törlése után a readiness monitorok sikeresen lezárnak. ∎

37.3.11. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél: rendszerteszter csatlakoztatása, élő adatok értelmezése és alapbeállítás futtatása egy benzines motoron.

Jármű- és adatazonosítás: rögzítsd a VIN-számot, a motorszámot, a jármű típusát és évjáratát, a futott kilométert, valamint a vezérlőegység szoftverazonosítóját.

Szükséges szerszámok és mérőeszközök: rendszerteszter, járműspecifikus diagnosztikai csatlakozó, akkumulátor-töltő vagy tápegység (a gyártói előírás szerint), biztonsági védőfelszerelés.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: a jármű rögzítése rögzítőfékkel, a váltó P vagy üres állásban; a motortérben forgó és forró részek elkerülése; a kipufogógáz elvezetése zárt térben; a keletkező adatokat digitálisan, nem papíron dokumentáljuk.

Számozott munkalépések:

1. Kapcsold le a gyújtást, majd csatlakoztasd a tesztert a diagnosztikai csatlakozóhoz.
2. Kapcsold be a gyújtást, de a motort ne indítsd el.
3. A teszteren válaszd ki a járművet, és olvasd ki a hibakódokat minden vezérlőegységből.
4. Dokumentáld a hibakódokat és a fagyasztott keretadatokat.
5. Indítsd be a motort, és várd meg az üzemi hőmérsékletet.
6. Válaszd ki az élő adatokat: STFT, LTFT, légtömeg, lambda, hűtőfolyadék-hőmérséklet, fojtószelepállás.
7. Rögzítsd az értékeket alapjáraton, majd finoman emeld a fordulatszámot 2500–3000 1/min értékre, és újra rögzíts.
8. Hasonlítsd össze az értékeket a gyártói diagnosztikai adatokkal; eltérés esetén állíts fel hipotézist.
9. Végezd el a szükséges beavatkozó tesztet; a működést mindig ellenőrizd közvetlenül is.
10. Ha szükséges, futtasd az alapbeállítást vagy az adaptációt a gyártói feltételek szerint.
11. A javítás után töröld a hibakódokat, és végezz próbautat.
12. Ellenőrizd a readiness monitorok állapotát, és a munkalapon dokumentáld az eredményeket.

37.3.12. Tipikus hibák

1. **Hibakód törlése az ok feltárása nélkül.** A szerelő gyorsan törli a hibakódot, hogy a MIL ne világítson, de a fagyasztott keretadatokat nem olvassa ki, így elveszíti a hiba keletkezési körülményeit. Helyes gyakorlat: előbb a fagyasztott keret, aztán az élő adat, és csak a javítás után törlés.

2. **Az élő adatok nézése a normál tartomány ismerete nélkül.** A teszter számokat mutat, de a szerelő nem tudja, hogy a 3,0 g/s légtömeg alapjáraton jó-e egy 2 literes motornak vagy sem. Minden mért értéket a gyártói diagnosztikai adathoz kell hasonlítani, nem önmagában nézni.

3. **A beavatkozó teszt téves értelmezése.** A teszter például azt írja, hogy az injektor tesztje „OK”, de a szerelő nem hallotta a kattanást, és a fordulatszám sem esett. A teszter csak a vezérlő parancsát jelzi, a valós működést a járművön is ellenőrizni kell.

4. **Adaptáció futtatása hideg motoron.** A gyártói feltételek közé tartozhat az üzemi hőmérséklet, a fogyasztók lekapcsolása és a meghatározott fordulatszám. Hideg motoron az adaptáció hibás alapértéket taníthat meg.

5. **Programozás közben az akkumulátortöltő elhagyása.** A feszültségesés megszakíthatja a flash-írást, és a vezérlőegység visszafordíthatatlanul károsodhat. Mindig a gyártó által előírt tápegységet használjuk.

37.3.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A pozitív üzemanyag-korrekció azt jelenti, hogy a motor dús keverékkel jár, ezért a vezérlő szegényít. Indokold röviden.
2. **Mi a különbség a rövid és a hosszú távú üzemanyag-korrekció között?**
3. **Miért nem elég a fedélzeti hibakód alapján azonnal cserélni egy érzékelőt?**
4. **Mit jelent a párhuzamos diagnosztika?**
5. **Miért tilos egy légzsákrendszer pirotechnikai elemének gyújtóellenállását hagyományos ellenállásmérővel mérni?**
6. **Egy 1,6 literes szívó benzinmotor alapjáraton** 1,8 **g/s légtömeget mutat, a STFT** +18%**, az LTFT** +25%**. Mi a legvalószínűbb hiba?** (A válaszokat az alfejezet végén találod.)

37.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden a soros diagnosztikát, és sorolj fel három tipikus üzemmódot a fedélzeti diagnosztikából.

2. feladat (A). Számítsd ki a tényleges befecskendezési időt, ha az alapérték 3,00 ms, a rövid távú korrekció −5%, a hosszú távú korrekció +8%.

3. feladat (B). Egy 2,0 literes, négyhengeres szívó benzinmotor alapjáraton 4,5 g/s légtömeget mutat 800 1/min fordulatszámon. A gyártói adat szerint alapjáraton 2,5–4,0 g/s az elvárt érték. Számítsd ki a hengerenkénti légtömeget, és értelmezd az eltérést.

4. feladat (B). A teszter élő adatai alapjáraton: STFT −18%, LTFT −15%, a fojtószelepállás 2%, a hűtőfolyadék-hőmérséklet 90 °C. A vezető panasza: erős üzemanyagszag, fekete füst a kipufogón. Milyen hiba irányába keresel, és miért?

5. feladat (C). Egy jármű akkumulátorcseréje után a start-stop rendszer nem működik. Milyen diagnosztikai lépéseket végzel a rendszerteszterrel? Indokold, miért lehet szükség kódolásra vagy regisztrálásra.

6. feladat (D). Adott hibakeresési helyzet: a motorellenőrző lámpa világít, a teszter P0171 (szegény keverék, 1. bank) hibakódot tárol. Az élő adatok: STFT +25%, LTFT +22%, légtömeg alapjáraton 1,9 g/s, lambda szélessávú 1,25. A beavatkozó teszt során az EGR-szelep működik, a fojtószelep tisztának látszik. Fogalmazz meg hipotézist, és írd le a megerősítéshez szükséges mérést.

37.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A pozitív üzemanyag-korrekció dúsítást jelent, mert a vezérlő a szegény keveréket kompenzálja.
2. A rövid távú korrekció azonnali, pillanatnyi beavatkozás, a hosszú távú korrekció a tartós eltérést tanulja és tárolja.

3. A hibakód csak a tünetet és a rendszer által észlelt eltérést jelzi, nem az alapvető okot; például szegény keverék hibakód mögött szivárgás, üzemanyagnyomás- vagy szenzorhiba is állhat.
4. A párhuzamos diagnosztika a vezérlőegység és a kábelköteg közötti, jellemzően kitörőboxszal végzett közvetlen mérés, amellyel a jelek a vezérlő megkerülésével is ellenőrizhetők.
5. Mert a pirotechnikai gyújtótagot az ellenállásmérő mérőárama véletlenül működésbe hozhatja; a mérést csak a gyártó által előírt, pirotechnikai eszközökhöz engedélyezett műszerrel szabad végezni.
6. Szívócső-szivárgás (állevegő) a legvalószínűbb: a légtömegmérő alacsony, a korrekció pozitív, a szegény keverék miatt a vezérlő dúsít.

1. feladat megoldása. A soros diagnosztika a vezérlőegységgel szabványos soros protokollon keresztül folytatott párbeszéd, amely hibakódok, élő adatok, fagyasztott keretadatok és tesztüzemi üzenetek lekérdezésére szolgál. Tipikus üzemmódok: Mode 01 (élő adat), Mode 03 (hibakódok), Mode 04 (hibakód-törlés), Mode 02 (freeze frame).

2. feladat megoldása. Adott: $t_{\text{alap}} = 3{,}00$ ms, STFT $= -5\%$, LTFT $= +8\%$. Keresett: t_{bef}.

$$t_{\text{bef}} = 3{,}00\ \text{ms}\,(1 - 0{,}05 + 0{,}08) = 3{,}00\ \text{ms} \cdot 1{,}03 = 3{,}09\ \text{ms}.$$

Ellenőrzés: az összes korrekció $+3\%$, tehát a befecskendezési idő 3%-kal nő: $3{,}00 \cdot 1{,}03 = 3{,}09$ ms. ∎

3. feladat megoldása. Adott: $\dot{m}_{\text{levegő}} = 4{,}5$ g/s, $n = 800$ 1/min, $i = 4$. Keresett: m_{henger} és értelmezés.

$$m_{\text{henger}} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 4{,}5}{4 \cdot 800} = \frac{540}{3200} = 0{,}169\ \text{g}.$$

Az eltérés: a mért légtömeg 4,5 g/s meghaladja a gyártói 2,5–4,0 g/s tartományt, ami alapjáraton például szennyezett fojtószelepre, hibás légtömegmérőre vagy az alapjárati levegőszabályzó elakadására utalhat (ellenőrizendő: gyártói diagnosztikai adat). ∎

4. feladat megoldása. A negatív korrekciók azt jelentik, hogy a vezérlő szegényít, mert a keverék túl dús. A fekete füst és az üzemanyagszag is dús keverékre utal. A lehetséges hibák: beragadt nyitott injektor, hibás hűtőfolyadék- vagy légtömeg-jeladó (a vezérlő túl sok üzemanyagot számol), hibás üzemanyagnyomás-szabályozó. A fojtószelepállás nem jelzi, hogy az alapjárat normális; a következő lépés a befecskendezők tesztelése, a nyomás mérése és a lambda-jel ellenőrzése.

5. feladat megoldása. Akkumulátorcsere után az akkumulátor-felügyeleti vezérlőben az új akkumulátor típusát, kapacitását, technológiáját (pl. AGM vagy EFB) regisztrálni kell, mert a start-stop rendszer a töltöttségi szint és az öregedési állapot alapján tiltja a stop funkciót. A rendszerteszterrel be kell lépni az akkumulátor-felügyeleti vezérlőegységbe, és a gyártói előírás szerint el kell végezni a regisztrációt vagy a kódolást, majd az új akkumulátor adaptációját.

6. feladat megoldása. A P0171 hibakód, a pozitív STFT/LTFT és a magas szélessávú lambda (1,25) egyértelműen szegény keveréket jelez. Az alacsony légtömeg (1,9 g/s) és az érzékeny üres járat miatt a legvalószínűbb a szívócső-szivárgás. A megerősítéshez elsősorban füstgenerátoros szivárgásvizsgálóval, leállított motoron keressük a szivárgást. Ha a gyártó spray-s vizsgálatot enged, csak jóváhagyott, nem gyúlékony szert használjunk tűzvédelmi óvintézkedésekkel (forró kipufogóelemektől és szikraforrástól távol, tűzoltó készülékkel), miközben a rövid távú korrekciót és a lambdát figyeljük; ha a STFT hirtelen csökken, a szivárgás helye megtalálható (ellenőrizendő: gyártói előírás).

37.3.16. Rövid összefoglaló

A rendszerteszter a korszerű motordiagnosztika alapvető eszköze. A soros diagnosztika a fedélzeti vezérlőegységekkel szabványos protokollokon keresztül kommunikál: hibakódokat, fagyasztott kereteket és élő adatokat kérdez le, beavatkozó teszteket futtat, alapbeállítást, adaptációt, kódolást és programozást végez. Az élő adatok közül a rövid és hosszú távú üzemanyag-korrekció, a légtömeg, a lambda-érték és a hőmérsékletek a legfontosabbak. A pozitív korrekció dúsítást, a negatív szegényítést jelent; a helyes értékeket mindig a gyártói diagnosztikai adathoz hasonlítjuk. A fedélzeti diagnosztika áramkörvizsgálata, a kitörőboxos párhuzamos diagnosztika és az oszcilloszkópos periféria-diagnosztika akkor szükséges, ha a hiba a vezérlőegység jelfeldolgozása és a valós fizikai jel közötti ellentmondás miatt soros úton nem dönthető el. A rendszerteszter adataiból felállított hipotézis a későbbi dízeldiagnosztikai, levegőellátási és jeladó-vizsgálati alfejezetekben közvetlenül továbbvihető.

37.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: az EU típusjóváhagyási keretrendszer és az EOBD-re vonatkozó végrehajtási jogi aktusok (ellenőrizendő: (EU) 2018/858 és a kapcsolódó rendeletek); az ISO 15031 szabványcsalád és az SAE J1962 diagnosztikai csatlakozó-szabvány (ellenőrizendő: hatályos változat); gyártói javítási utasítások és diagnosztikai kézikönyvek; a műszer- és mérésbiztonsági előírások. Ellenőrizendő továbbá: a légtömeg és hőmérséklet-tartományok, az üzemanyag-korrekciós határértékek, valamint a járműspecifikus kódolási és adaptációs eljárások.

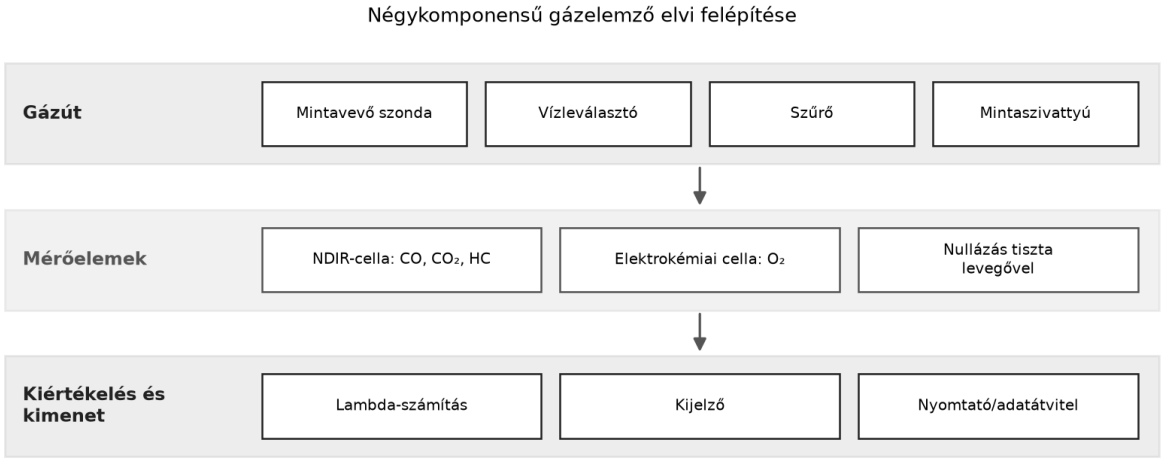
37.4. Gázelemzés és füstölésmérés

37.4.1. Motiváció és műhelyi helyzet

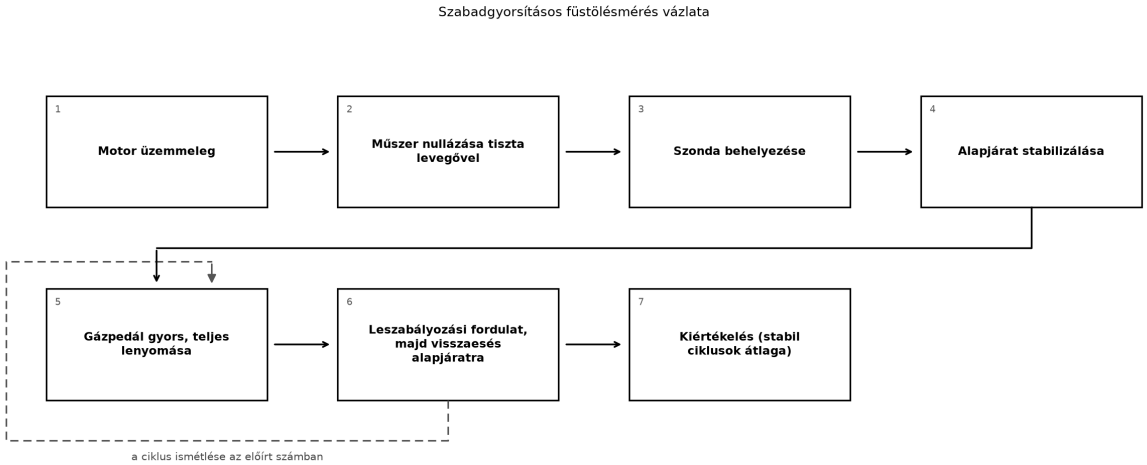
Egy benzines autó környezetvédelmi vizsgára készül, de a megrendelő szerint „túlmegy a zöldkártyán”, mert magas a CO és a HC. Az autószerelő műhelyben ilyenkor a gázelemző kerül elő: a szondát a kipufogóba helyezzük, és a kijelzőn azonnal látjuk, hogy dús vagy szegény-e a keverék, illetve hogy a katalizátor dolgozik-e. Egy dízel járműnél nem a CO-HC-probléma, hanem a látható füst és a lerakódott korom a jellemző panasz. Ilyenkor a szabadgyorsításos füstölésméréssel azt vizsgáljuk, hogy a motor milyen erősen füstöl a gyors gázadás során. Ebben az alfejezetben a két legfontosabb **kipufogógáz-vizsgálati módszert** járjuk körbe: a négykomponensű gázelemzést és a dízel füstölésmérést.

37.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hordozható gázelemzőt. A kipufogócsőbe rozsdamentes mintavevő szonda nyúlik; a forró kipufogógáz egy vízleválasztón és szűrőn át jut a mérőkamrákba. A készülék belsejében infravörös fényforrás és detektorok találhatók, valamint egy oxigénérzékelő cella. A kijelzőn öt értéket látunk: CO (térfogat %), CO_2 (térfogat %), HC (ppm), O_2 (térfogat %), és a belőlük számolt λ. A másik kép a dízel füstölésmérő: itt a kipufogógáz egy mérőkamrán halad keresztül, amelyen fénysor világít át. Minél sötétebb a füst, annál kevesebb fény jut a vevőbe; ebből számoljuk a füst sűrűségét.



37.6. ábra. Négykomponensű gázelemző elvi felépítése - Sematikus ábra; a tényleges mérőműszer felépítése gyártónként eltérhet.



37.7. ábra. Szabadgyorsításos füstölésmérés vázlata - Sematikus mérési sorrend; a ciklusszámot és a fordulatszám-korlátot a hatályos előírás és a gyártói adat rögzíti.

37.4.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **gázelemzés** a benzin/autógáz üzemű motorok kipufogógázában a CO, CO_2, HC és O_2 koncentrációjának, valamint a belőlük számított légviszonynak a mérése, elsősorban a keverékképzés és a katalizátor hatékonyságának ellenőrzésére.

Definíció. A **füstölésmérés** (opacitásmérés) a dízelmotoros jármű kipufogógáza által okozott **látható fényelnyelés** mérése; a mért mennyiség a fényelnyelési (abszorpciós) együttható, jele k, mértékegysége 1/m.

Összefüggés. A füstölésmérő kamráján áthaladó fény gyengülése:

$$k = -\frac{1}{L}\,\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{1}{L}\,\ln\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$$

ahol I_0 a tiszta levegővel mért fényerősség, I a füstös gázzal mért fényerősség, $\alpha = 1 - I/I_0$ az **opacitás** (0–1 között), L pedig a mérőkamra hossza méterben.

Összefüggés. A CO-korrekció a minta hígulását (fals levegő, kipufogó-szivárgás, rossz szondahelyzet) egyenlíti ki: hígításkor a CO és a CO_2 azonos arányban csökken, ezért ha a CO+CO_2 összeg a tüzelőanyagra jellemző maximum alatt van, a mért CO-t a $CO_{2,\max}/(CO{+}CO_2)$ aránnyal felszorozzuk. A katalizátor átalakító hatását a korrekció nem szünteti meg (a katalizátorban a CO CO_2-vé oxidálódik, az összeg nem változik):

$$CO_{\text{korr}} = CO_{\text{mért}} \cdot \frac{CO_{2,\max}}{CO_{\text{mért}} + CO_2}$$

Példaként $CO_{2,\max} \approx 14{,}5\,\%$ benzinnel. A pontos korrekciós tényezőt a mérőműszer gyártói beállítása és az alkalmazott előírás adja. *(ellenőrizendő: a hatályos vizsgálati módszertan)*

Megjegyzés. A szervizben a λ-t általában nem kézzel számoljuk, hanem a gázelemző kijelzett, gyártói összefüggéssel számított értékét használjuk. A mérés kiértékelésekor azonban ellenőriznünk kell, hogy a λ és a többi mért érték **konzisztens**-e. Például ha a $\lambda \approx 0{,}95$, akkor CO-nak kimutathatónak, O_2-nek alacsonynak kell lennie; ha mégis magas az O_2, akkor kipufogórendszeri szivárgásra vagy mérési hibára kell gyanakodni.

37.4.4. Felépítés és működés

37.4.4.1. A gázelemző működése

A CO, CO_2 és HC mérésére leggyakrabban **NDIR** (nem diszperzív infravörös) cellákat használnak. Az infravörös sugárzás bizonyos hullámhosszain a CO, CO_2 és HC elnyelik a fényt. A mérőkamrán áthaladó fény gyengülése arányos az adott komponens koncentrációjával. A HC-mérésnél az infravörös cella a szén–hidrogén-kötések elnyelését látja; a ppm-ben (térfogatmilliomodrészben) kijelzett értéket az egyenértékű C_1 szénhidrogénként kezeli. Az O_2-t többnyire **elektrokémiai cella** méri, mert az oxigénmolekulák a cellában redoxreakcióban vesznek részt, és az ebből keletkező áram arányos az oxigénkoncentrációval. A cella idővel öregszik, ezért rendszeres kalibrálást igényel.

Kalibrálás. Mérés előtt a készüléket tiszta levegővel nullázzuk, szivárgásvizsgálatot végzünk, majd adott összetételű kalibráló gázzal ellenőrizzük. A kalibráló palack nyomáscsökkentőjén a kifúvó nyílás szabadon, hőforrástól távol legyen. A gázelemzőt nem szabad zárt térben nyitott láng közelében kalibrálni; a kalibráló gáz és a kipufogógáz belélegzése tilos.

37.4.4.2. A mért komponensek diagnosztikai jelentése

A kipufogógáz elemzése akkor hasznos, ha a motort üzemi hőmérsékletre melegítettük, és a szonda mélyen, a kipufogócsőben rögzítve van.

Mért érték	Jellemző egészséges érték katalizátoros, λ≈1-es motornál (Otto)	Mit jelez, ha magas/alacsony?
CO	0,0–0,5 %	Dús keverék, hiányos oxidáció
CO_2	13–15 %	Alacsony: tökéletlen égés, hígítás vagy szivárgás

Mért érték	Jellemző egészséges érték katalizátoros, λ≈1-es motornál (Otto)	Mit jelez, ha magas/alacsony?
HC	0–100 ppm	Égéskimaradás, dús keverék, gyújtáshiba, szivárgás
O_2	0,1–1 %	Magas: szegény keverék vagy kipufogószivárgás
λ	0,97–1,03	1 alatt dús, 1 felett szegény

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a gyártói adat és a hatályos előírás).

A **CO-korrigált mérés** célja a minta hígulásának kiegyenlítése. Ha a CO+CO_2 összeg a maximálishoz képest alacsony, mert a gáz hígult (fals levegő, szivárgás, rossz szondahelyzet), a CO-t felfelé korrigáljuk.

A **ΔHC-mérés** (itt: a HC-változás alapjárat és emelt fordulatszám között; nem azonos a hengerkiiktatásos ΔHC-eljárással, lásd a 37.1 alfejezetet) az alapjáraton és az emelt fordulatszámon mért HC-koncentráció különbsége:

$$\Delta HC = HC_{\text{emelt}} - HC_{\text{alapjárat}}$$

Egy jól működő katalizátornál az emelt fordulatszámon a HC nem nő meg ugrásszerűen; ha a ΔHC alapjáratról emelt fordulatra nagy pozitív érték, a katalizátor öregedése vagy a gyújtás/keverékképzés hibája valószínű.

37.4.5. Kidolgozott példák

1. példa – Négykomponensű gázelemzés kiértékelése.
Adott egy katalizátoros, szabályozott Otto-motor gázelemzési jegyzőkönyve:

Alapjáraton: CO = 0,4 %, CO_2 = 13,6 %, HC = 140 ppm, O_2 = 0,7 %, λ = 0,98.
Emelt fordulaton: CO = 0,2 %, CO_2 = 14,2 %, HC = 90 ppm, O_2 = 0,5 %, λ = 1,01.

Keresett: a CO-korrigált érték emelt fordulaton és a ΔHC.
Képlet:

$$CO_{\text{korr}} = CO_{\text{mért}} \cdot \frac{CO_{2,\max}}{CO_{\text{mért}} + CO_2}$$

Behelyettesítve $CO_{2,\max} = 14{,}5\,\%$ példaértékkel:

$$CO_{\text{korr}} = 0{,}2 \cdot \frac{14{,}5}{0{,}2 + 14{,}2} = 0{,}2 \cdot \frac{14{,}5}{14{,}4} \approx 0{,}20\,\%$$

$$\Delta HC = 90 - 140 = -50\,\text{ppm}$$

Az értékek katalizátoros motorra rendben vannak: CO és HC alacsony, a CO_2 magas, az O_2 alacsony, a ΔHC negatív, tehát a katalizátor emelt fordulaton is oxidálja a HC-t. ∎

2. példa – Füstölésmérés kiértékelése.
Adott egy dízelmotoros jármű füstölésmérő kamrája $L = 0{,}43\,\text{m}$ hosszúságú. A mérés során a fényáteresztés $\tau = I/I_0 = 0{,}64$ (64 %), az opacitás $\alpha = 0{,}36$.

Keresett: a fényelnyelési együttható.
Képlet:

$$k = -\frac{1}{L}\,\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Behelyettesítve:

$$k = -\frac{1}{0{,}43}\,\ln(0{,}64) = \frac{0{,}446}{0{,}43} \approx 1{,}04\,1/\text{m}$$

Ha a hatályos előírás szerinti határérték például 0,7 1/m lenne, az autó **elégtelen** minősítést kapna; ha a határérték 1,5 1/m, akkor megfelelne. Ezért a pontos határértéket az adott jármű típusengedélye és a vizsgálati előírás szerint kell ellenőrizni. ∎

3. példa – Hibás keverék gázelemzése.
Egy benzines autónál a motor rángat, a fogyasztás magas. A gázelemző: CO = 1,6 %, CO_2 = 11,8 %, HC = 320 ppm, O_2 = 0,8 %, λ = 0,91.
Értékelés: a CO és HC magas, a CO_2 alacsony, a λ határozottan dús keveréket mutat. A dús üzem oka lehet hideg hűtőfolyadék-hőmérséklet-jel, hibás levegőtömeg-érzékelő, nyomásszabályzó, vagy a befecskendezők tömítetlensége. A gázelemzés tehát nem helyettesíti a további műszeres hibakeresést, de pontosan megmutatja, hogy a keverékképzés oldalán kell keresni.

37.4.6. Előírások, hatósági környezetvédelmi felülvizsgálat

Előírás. A környezetvédelmi felülvizsgálat során a járműre vonatkozó típusengedély és a hatályos magyar közlekedési hatósági előírás szerinti mérési módszert, határértékeket és dokumentálási kötelezettséget kell alkalmazni. Az itt megadott értékek tanulási példák. *(ellenőrizendő: hatályos rendelet és vizsgálati módszertan)*

A benzinmotoros járművek vizsgálata az alábbi kategóriák szerint különbözik:

- **Hagyományos, katalizátor nélküli Otto-motor.** Alapjáraton és emelt fordulaton mérik a CO-t és a HC-t. A CO jellemzően a karburátor/keverékképzés beállításától függ; példahatár: CO ≤ 4,5 %, HC ≤ 1200 ppm. *(ellenőrizendő)*
- **Katalizátoros, nem szabályozott.** A katalizátor oxidálja a CO-t és a HC-t; a CO-t CO_2-re korrigálják, a HC-t is mérik. Példahatár: CO ≤ 0,5 %, HC ≤ 100 ppm. *(ellenőrizendő)*
- **Szabályozott (λ≈1, háromutas katalizátor).** A λ-t is mérik; a határérték például λ = 0,97–1,03, alapjáraton CO ≤ 0,3 %, emelt alapjáraton CO ≤ 0,2 %, HC ≤ 100 ppm. *(ellenőrizendő: hatályos módszertan, 2014/45/EU)*
- **OBD-s Otto-jármű.** A gázelemzés mellett az EOBD-rendszer kiolvasása is kötelező: a MIL-nek (hibajelző lámpa) kikapcsolva kell lennie, tárolt emissziós hibakódnak nem szabad lennie, és a readiness-kódoknak kész állapotot kell mutatniuk. Ha az EOBD szerint a keverékképzés, a katalizátor vagy a lambda-szonda hibás, a vizsgálat elégtelen. *(ellenőrizendő: a hatályos OBD-vizsgálati módszertan)*

A **dízel füstölésmérés** a szabadgyorsításos módszerrel történik: a motort üzemi hőmérsékletre kell melegíteni, alapjáraton stabilizálni, majd a gázpedált gyorsan, teljesen lenyomni, és a fordulatszámot visszaesni hagyni. A vizsgálóberendezés fordulatszámjelet is rögzít, és csak a megfelelő ciklusokat értékeli. A mért k-értékek közül az utolsó, stabilizálódott mérések átlaga a jellemző. A határérték a jármű korától, típusától és az Euro-kategóriától függ; a régebbi szívó dízelnél például $k \leq 2{,}5\,1/\mathrm{m}$, régebbi turbódízelnél $3{,}0\,1/\mathrm{m}$, újabb járműveknél $1{,}5\,1/\mathrm{m}$, Euro 6-nál $0{,}7\,1/\mathrm{m}$ lehet a határ. *(ellenőrizendő: 2014/45/EU II. melléklet, hazai módszertan)*

Az **A és B mód** megjelölés a vizsgálati eljárásban használt üzemmódokra utalhat: például az **A mód** a gázelemzés/benzinmotorvizsgálat, a **B mód** a dízel füstölésmérés, vagy a dízel OBD-vizsgálatokat is tartalmazó kibővített mód. A pontos módmegjelölést és a mérési sorrendet a hatályos vizsgálati szoftver és az előírás adja. *(ellenőrizendő: a hivatalos megnevezés)*

Elektronikus tanúsítvány. A vizsgálati eredmény ma már elektronikusan kerül az állami nyilvántartásba; a tanúsítvány adatait a vizsgálóállomás a közlekedési hatósági rendszerbe továbbítja. A papír a gépjárművezetőnek adott igazolás, az érvényesség viszont a nyilvántartásban szereplő státusszal azonos. *(ellenőrizendő: aktuális hatósági informatikai rendszer)*

37.4.7. Gázemisszió-diagnosztika

A gázelemző a motor **nem invazív** diagnosztikai eszköze: anélkül mutatja a keverékképzés és az égés minőségét, hogy a motort megbontanánk. A hibakeresési lánc:

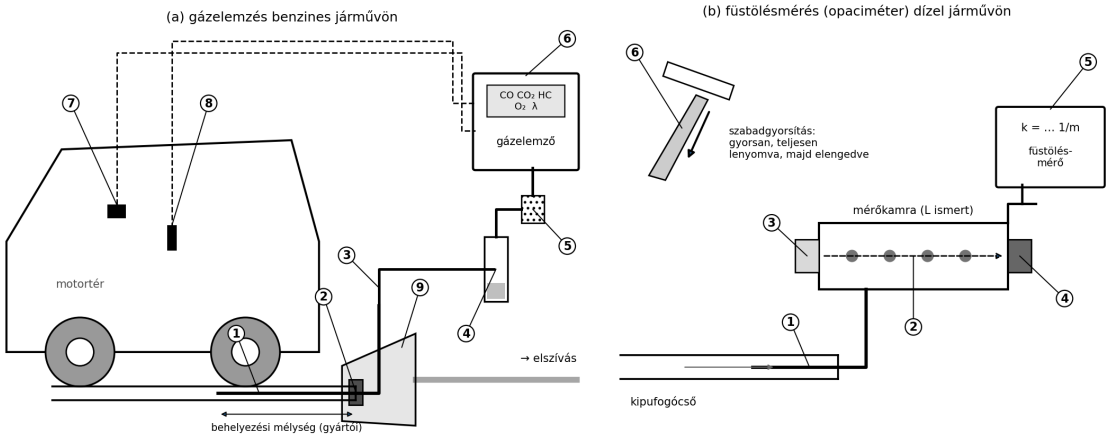
1. **Tünet rögzítése.** Például magas fogyasztás, rángatás, erős kipufogószag, műszaki vizsgán elégtelen CO/HC.
2. **OBD-kiolvasás.** Ha van EOBD, először a hibakódokat és a readiness-t nézzük.
3. **Gázelemzés üzemi hőmérsékleten.** Alapjáraton és emelt fordulaton is mérünk.
4. **Értékek értelmezése.**

Gázelemzési kép	Valószínű hiba
CO magas, O_2 alacsony, $\lambda < 0{,}97$	Dús keverék: hibás légmérő, hűtőfolyadék-hőmérséklet-jel, nyomásszabályzó, injektor
HC magas, kihagyás érzése	Gyújtáskimaradás, gyertyák, gyújtókábelek, tekercs, szívóoldali fals levegő
O_2 magas, CO alacsony, $\lambda > 1{,}05$	Szegény keverék vagy kipufogószivárgás
CO_2 alacsony, O_2 magas	Kipufogószivárgás, hígítás, mérési hiba
CO és HC alacsony, de MIL és hibakód	Hibás katalizátor-hatékonyság, szondahiba, amely a gázelemzésen még nem látszik

Valós eset – hibakeresés. Egy 12 éves, szabályozott katalizátoros benzines autó nem ment át a vizsgán: alapjáraton CO = 0,9 %, HC = 260 ppm, $\lambda = 0{,}94$; emelt fordulaton CO = 0,6 %, HC = 220 ppm, $\lambda = 0{,}92$. Az EOBD kiolvasásakor a szabályozás dús adaptációs hibát jelzett. A vizsgálat során a légtömegmérő és a szívócsőnyomás élő adata a modellértékkel egyezett, így a levegőoldal kizárható volt; az injektorok laborvizsgálata az egyik hengernél túl nagy szállítást mutatott. A hibás injektor cseréje és az elektródák, gyertyák ellenőrzése után a gázelemzés CO = 0,1 %, HC = 70 ppm, $\lambda = 1{,}01$ lett, az OBD readiness is kész állapotot jelzett. A tanulság: a gázelemzés a tünetet mutatta, az okot azonban a befecskendező és az élő adatok vizsgálata adta.

37.4.8. A füstölésmérés műszaki háttere és gyakorlata

A dízelmotorok bonyolult utókezelő rendszereket használnak (DOC, DPF, SCR), ezért a látható füst önmagában nem jelenti ezek hibáját, de a **koromterhelést** jól mutatja. A füstölésmérőben a kipufogógáz egy fényúton halad keresztül; a fényforrás lehet zöld vagy vörös LED. A vevő fényintenzitása alapján a műszer kiszámolja az opacitást és a k-értéket. A méréshez a szonda a kipufogócsőbe illeszkedik, a mérőkamra hosszát a műszer kalibrációja ismeri.



37.8. ábra. A gázelemző és a füstölésmérő mérési elrendezése a járművön (sematikus vonalrajz)

Az (a) részábrán a mintavevő szonda (1) a gyártói mélységig a kipufogócsőben van, csipesszel rögzítve (2); a mintavevő tömlő (3) a kondenzvíz-leválasztón (4) és a szűrőn (5) át a gázelemzőhöz (6) vezet, a fordulatszám-jeladó (7) és az olajhőmérő-szonda (8) a motor állapotát adja, a csőveget elszívó tölcsér (9) veszi körül. A (b) részábrán a rész-áramú szonda a gázt a mérőkamrába vezeti, amelyen a fényforrás fénye a vevőig átvilágít; a mérés a szabadgyorsítás pillanatában történik. A HTML-változatban az elemekre mutatva a nevük és a tipikus mérési hibájuk jelenik meg.

Szabadgyorsításos mérés lépései:

1. A jármű üzemi hőmérsékleten legyen (olaj, hűtőfolyadék).
2. A motor és a kipufogórendszer sérüléseit, szivárgásait ellenőrizzük.
3. A műszert nullázzuk tiszta levegővel.
4. A szondát a kipufogóba helyezzük, a gáziránynak megfelelően.
5. A motort alapjáraton stabilizáljuk.
6. A gázpedált egyszer, gyorsan és teljesen lenyomjuk, majd felengedjük; a fordulatszámnak el kell érnie a gyártói értéket, utána visszaesik.
7. A ciklust a vizsgálati előírás szerinti számban ismételjük, figyelve a műszer fordulatszám-ellenőrzésére.
8. A készülék az értékelt ciklusok k-értékéből átlagot számol.
9. Az eredményt összevetjük a határértékkel, és dokumentáljuk.

Ha a jármű OBD-vel rendelkezik, a füstölésmérés mellett a **dízel OBD**-t is kiolvassuk: DPF regenerációs állapot, EGR-hibák, SCR/AdBlue hibák, MIL és emissziós hibakódok. Egy aktív DPF-hiba vagy leragadt EGR a füstölésmérésen elégtelen eredményhez vezethet; a fizikai füst alacsony lehet, de az OBD-hiba mégis vizsgabukást jelent.

37.4.9. Gyakorlati útmutató

Cél. Négykomponensű gázelemzés és kiértékelés benzines járműnél, illetve szabadgyorsításos füstölésmérés dízelnél.

Jármű- és adatazonosítás. Alvázszám, típus, évjárat, tüzelőanyag, Euro-kategória, OBD-elv, katalizátor/DPF megléte. A méréshez használjuk a gyártói határértéket vagy a hatályos vizsgálati adatbázist.

Szükséges eszközök. Gázelemző vagy füstölésmérő, kalibráló gáz (gázelemzőhöz), fordulatszámmérő vagy OBD-olvasó, hűtőfolyadék-hőmérséklet-mérő, szivárgásvizsgáló, jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A javítási útmutató szemléltetés: a gyártói javítási utasítás és adat a mérvadó; nagyfeszültségű (HV) járműrendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat. A kipufogógáz járó motor mellett csak elszívással vizsgálható; a kipufogórendszer forró, a mérési pontok megérintése tilos. A gázelemző kalibráló palackját hőtől, szikrától, nyílt lángtól távol kell tartani.

Munkalépések.

1. Ellenőrizze az elszívást és a műhely szellőzését.
2. Kössön a jármű OBD-csatlakozójára diagnosztikai eszközt, olvassa a motor hőmérsékletét és hibakódjait.
3. Melegítse a motort üzemi hőmérsékletre (általában 80–90 °C hűtőfolyadék; ellenőrizendő).
4. Nullázza a gázelemzőt/füstölésmérőt; végezzen szivárgásvizsgálatot.
5. Helyezze be a mintavevő szondát a kipufogócsőbe, legalább a gyártói mélységig, rögzítve.
6. Benzines gázelemzésnél: mérjen alapjáraton, emeljen fordulatszámot (például 2500 1/min) és tartsa, majd mérjen újra; rögzítse a CO, CO_2, HC, O_2 és λ értékeket.
7. Dízel füstölésmérésnél: hajtsa végre a szabadgyorsításos ciklusokat a fent leírt sorrendben.
8. Ellenőrizze, hogy a mért értékek konzisztensek-e egymással (például alacsony O_2 nem járhat nagyon magas λ-val).
9. Értékelje a határértékekkel; a mérési jegyzőkönyvet dokumentálja, a tanúsítványt elektronikusan rögzítse.

Tipikus szerelői hibák e munkánál.

1. **Hideg motor mérése.** A be nem melegedett motoron a CO és HC hamis, magas.
2. **Nem megfelelő szondamélység.** Túl kicsi bevezetésnél a minta hamis, a CO_2 alacsony lehet.
3. **Elmaradt nullázás.** A cellák eltolódása miatt minden komponens hibás lehet.
4. **A fordulatszám be nem tartása.** Dízel szabadgyorsításnál a túl lassú gázadás alacsonyabb füstöt adhat, a vizsgálati szoftver azonban ezt el is vetheti.
5. **Kipufogószivárgás figyelmen kívül hagyása.** A szivárgás hígítja a gázt, ezért a CO-t korrigálni kell; ha a szivárgás a mérőszonda előtt van, a mérés torzul.

37.4.10. Tipikus hibák a fogalom- és számítási ellenőrzésben

1. **A CO_2-feltételezés helytelen használata.** Ha a CO-korrigált képletbe a ténylegesen mért CO_2-t és CO-t értjük, akkor az egységeket nem keverhetjük; a % értékeket tizedesben vagy %-ban egyformán kell behelyettesíteni. A gyakori hiba, hogy a ppm-ben mért HC-t %-ként kezelik.

2. **A füstölésmérő képletének rossz logaritmusa.** A világos jelöléssel: $k = -\ln(\tau)/L$. Ha a tanuló az opacitásból α helyett közvetlenül $\ln(1-\alpha)$ nélkül számol, hibás negatív értéket kaphat.
3. **A λ-érték túlértelmezése.** A λ kijelzett értéke nem mutatja egyedül a katalizátor hatékonyságát; a HC és a ΔHC is kell. A hibás gyakorlat, ha a szerelő csak a λ-t nézi, és a magas HC-t figyelmen kívül hagyja.
4. **A mérési eredményt nem hasonlítják a megfelelő jogszabályi kategóriához.** Ugyanaz a CO-érték eltérő megítélésű lehet katalizátor nélküli, szabályozott vagy OBD-s vizsgálatnál; a határértékek eltérőek.

37.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a gázelemzésnél a HC értéket %-ban mérik.
2. Igaz vagy hamis: a füstölésmérő a kipufogógáz **fényelnyelését** méri, és a k mértékegysége 1/m.
3. Számolja ki: $L = 0{,}40\,\text{m}$, fényáteresztés 0,70. Mennyi a k?
4. Egy gázelemzés: CO = 1,2 %, CO_2 = 12,1 %, O_2 = 0,6 %, HC = 280 ppm, λ = 0,93. Milyen hibá(ka)t valószínűsít?
5. Mi a különbség a CO-korrigált és a nyers CO között a katalizátoros mérésnél?
6. Melyik mérési érték jelzi legjobban a kipufogórendszeri szivárgást a szonda előtt?

37.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorolja fel a négykomponensű gázelemzés mért komponenseit és mértékegységeiket.

2. feladat (A). Írja le a füstölésmérő fényelnyelési együtthatójának képletét, és nevezze meg a benne szereplő mennyiségeket.

3. feladat (B). Egy dízelmotoros jármű füstölésmérésénél a fényáteresztés 0,51. A kamrahossz $L = 0{,}38\,\text{m}$. Számolja ki az opacitást és a k-értéket, és értékelje, ha a típusra megengedett k például 1,2 1/m. *(ellenőrizendő határérték)*

4. feladat (B). Egy katalizátoros Otto-motor gázelemzése: CO = 0,3 %, CO_2 = 13,9 %, HC = 120 ppm, O_2 = 0,5 %, λ = 1,00. Emelt fordulaton CO = 0,2 %, CO_2 = 14,4 %, HC = 95 ppm, O_2 = 0,4 %, λ = 1,01. Számolja ki a CO-korrigált értéket emelt fordulaton és a ΔHC-t. Jó-e a katalizátor?

5. feladat (C). Egy benzines autónál a gázelemzés: CO = 0,1 %, CO_2 = 9,8 %, HC = 80 ppm, O_2 = 6,5 %, λ = 1,05. Magyarázza meg, miért ellentmondásos a λ és a CO_2/O_2; mire következtet?

6. feladat (D). Egy műszaki vizsgán a dízel füstölésmérés az első ciklusokban $k = 2{,}8\,1/\text{m}$ értéket ad, majd a 3. és 4. ciklusra 1,0 és 0,95 1/m. A motor hidegen ment vizsgálatra, és a DPF regenerálásra kért. Mi a helyes eljárás, és miért?

37.4.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Hamis. A HC-t ppm-ben (térfogatmilliomodrész) mérik, jellemzően C_1 egyenértékként.
2. Igaz.

3. $\tau = 0{,}70$; $\alpha = 0{,}30$; $k = -\ln(0{,}70)/0{,}40 = 0{,}357/0{,}40 \approx 0{,}89\,1/\mathrm{m}$.
4. Dús keverék, mert CO magas, $\lambda < 1$, CO_2 alacsony, HC magas; a hibás keverékképzés valószínű, és a katalizátor sem tudja teljesen oxidálni.
5. A nyers CO a szondánál mért, esetleg hígult érték; a korrigált CO a hígítás nélküli mintára vonatkozik.
6. A CO_2 alacsony és az O_2 magas egyszerre, ami a szonda előtti kipufogószivárgásra utal.

1. feladat megoldás.
CO (térfogat %, %), CO_2 (térfogat %, %), HC (térfogatmilliomodrész, ppm), O_2 (térfogat %, %).

2. feladat megoldás.
$k = -\frac{1}{L}\ln(I/I_0)$, ahol I_0 a tiszta levegővel mért fényerősség, I a füstös gázzal mért fényerősség, L a mérőkamra hossza.

3. feladat megoldás.
$\tau = 0{,}51$; $\alpha = 0{,}49$.

$$k = -\frac{1}{0{,}38}\ln(0{,}51) = \frac{0{,}673}{0{,}38} \approx 1{,}77\,1/\mathrm{m}$$

Ez magasabb, mint a példaként megadott 1,2 1/m, tehát a mérés elégtelen lenne.

4. feladat megoldás.

$$CO_{\mathrm{korr}} = 0{,}2 \cdot \frac{14{,}5}{0{,}2 + 14{,}4} \approx 0{,}20\,\%$$

$$\Delta HC = 95 - 120 = -25\,\mathrm{ppm}$$

A katalizátor jó, mert emelt fordulaton sem nő a HC, a CO_2 magas, CO alacsony, $\lambda \approx 1$.

5. feladat megoldás.
A $\lambda = 1{,}05$ szegény, de a CO_2 9,8 % túl alacsony, O_2 6,5 % pedig nagyon magas. Ez ellentmondásos, mert egy ilyen mértékű oxigénfelesleg és alacsony CO_2 a kipufogószivárgás vagy a minta hígítása miatt jellemző, nem pedig a motor tényleges keveréke miatt. Ellenőrizni kell a szondát, a kipufogót, a kamra szivárgását.

6. feladat megoldás.
Hideg motoron és nem regenerált DPF-fel a mérés eleje hamis, magas értéket adhat. A járművet üzemi hőmérsékletre kell melegíteni, a gyártói előírás szerint kényszerregenerációt kell végezni, ha szükséges, majd a vizsgálatot megismételni. A mérést csak a stabil ciklusokra kell kiértékelni. A DPF eltávolítása, kiürítése vagy kikapcsolása tilos; a jármű így vizsgáztatása jogellenes.

37.4.14. Rövid összefoglaló

A gázelemzés a négykomponensű kipufogógáz-mérés: CO, CO_2, HC és O_2, valamint a belőlük számolt λ. Az NDIR-cella a CO, CO_2 és HC infravörös elnyelését, az elektrokémiai cella az O_2-t méri. A kalibrálás (nullázás, mérőgáz, szivárgásvizsgálat) a hiteles mérés feltétele. A CO-korrigált érték a hígulás kiegyenlítésével, a CO_2-maximumra vonatkoztatva mutatja a hígítatlan minta CO-ját; a ΔHC az emelt fordulaton és alapjáraton mért HC különbsége. A hatósági környezetvédelmi vizsgálat kategóriája eltérő: katalizátor nélküli, katalizátoros, szabályozott és OBD-s; az OBD-s járműnél a MIL/readiness is kötelező. A dízel füstölésmérés szabadgyorsításos módszerrel méri a

fényelnyelési együtthatót: $k = -\ln(I/I_0)/L$, mértékegysége 1/m. A k a koromterhelést mutatja, a dízel OBD pedig az EGR-, DPF- és SCR-hibákat. **Továbbvitt eredmény.** A gázelemzés kiértékelése – CO, CO_2, O_2, HC, λ, CO-korrigált, ΔHC és k – a későbbi vizsgafelkészülési feladatokban és a szervizdiagnosztikában is alapmódszer; alkalmazzuk a Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára és a Dízeldiagnosztika alfejezetekben. A hibás Járműveknél a mérést csak elszívással, üzemi hőmérsékleten végezhetjük; a mérési értékeket mindig a gyártói/hatósági adathoz kell viszonyítani.

37.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hatályos hazai környezetvédelmi, közúti jármű műszaki vizsgálati és közlekedési hatósági rendeletek (5/1990. KÖHÉM, 6/1990. KÖHÉM és a vizsgálati módszertani utasítások), ENSZ-EGB előírások, ISO/OIML emissziós mérőműszerekre és mérési eljárásokra vonatkozó specifikációi, gyártói javítási-vizsgálati adatok, gázelemző és füstölésmérő gyártói kézikönyvek.

Jelölt, ellenőrizendő állítások: CO_2-max benzinre 14,5 % példaérték; a CO-korrigált képlet és a CO_2-max módszertan pontos tényezője; a katalizátoros és hagyományos Otto-járművek határértékei (CO, HC, λ); a dízel füstölésmérés határértékei (k); a szabadgyorsításos mérés ciklusszáma és az A/B mód pontos jelentése; a dízel OBD-vizsgálat kötelező elemei; az elektronikus tanúsítvány adatkezelési rendszere. A fenti, jogszabályi és gyártói adatokra támaszkodó részeket a kiadás előtt a hatályos előírások szerint ellenőrizni kell.

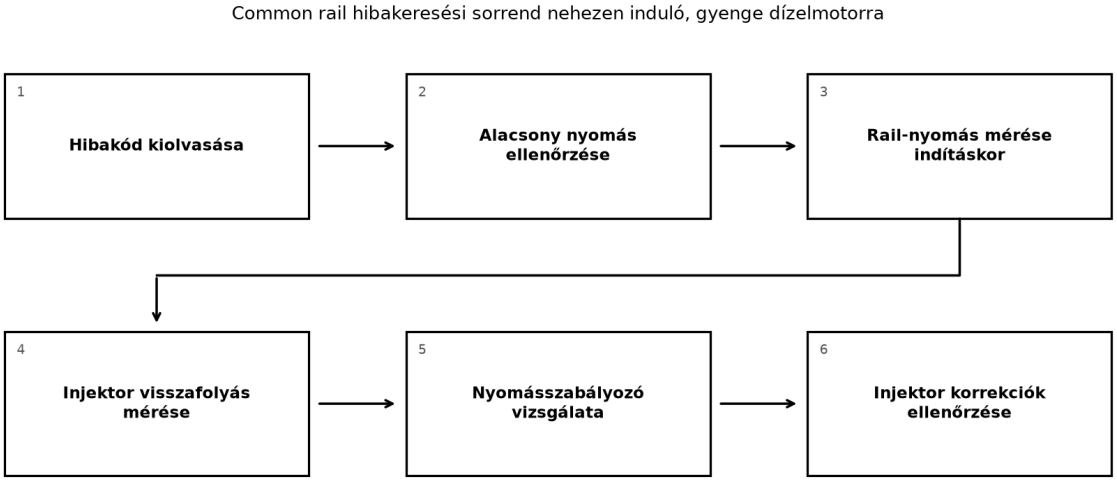
37.5. Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC

37.5.1. Motiváció

Egy dízelautó hidegen nehezen indul, melegen gyenge, néha fekete füstöt ereszt. A rendszerteszter szerint a „rail-nyomás túl alacsony”, vagy az injektorok korrekciós értékei szélső tartományba kerültek. Ilyenkor a hiba lehet egyszerű szűrő, levegő a szívóági csőben, kopott injektor vagy a nagynyomású szivattyú. Ebben az alfejezetben megtanuljuk, hogyan dolgozzuk fel a dízeltüzelőanyag-rendszer hibáit, hogyan mérjük a szállításkezdetet, a rail-nyomást, az injektorok visszafolyó mennyiségét, és hogyan vizsgáljuk a szivattyú-porlasztó egységet (PDE) és az EDC-rendszert.

37.5.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy common rail dízelt. A tankban egy elektromos tápszivattyú dolgozik, a motorra szerelt nagynyomású szivattyú egy közös csőbe (rail) nyomja az üzemanyagot, amelyen nyomásérzékelő és szabályozószelep ül. A railből négy, elektronikusan vezérelt injektor kapja az üzemanyagot. A diagnosztikai műszeren egyszerre látjuk a kért és a tényleges rail-nyomást, az injektorok korrekciós értékeit, a szivattyú vezérlő jelének kitöltési tényezőjét. A fizikai méréshez le kell választani az injektorok visszafolyó csövét, és mérni a visszafolyó üzemanyag mennyiségét. Az alábbi folyamatábra a hibakeresés sorrendjét szemlélteti.



37.9. ábra. Common rail hibakeresési sorrend nehezen induló, gyenge dízelmotorra - Szemléltető sorrend; a konkrét lépések a gyártói diagnosztika szerint változhatnak.

A folyamatábra lépéseit a későbbi hibakeresési esetben is használjuk.

37.5.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A dízeldiagnosztika során a tüneteket három fő területre bontjuk: **alacsony nyomású oldal** (tankbeli tápszivattyú, szűrő, szívócsövek), **nagynyomású oldal** (nagynyomású szivattyú, rail, injektorok), valamint **szabályozás** (EDC vezérlő, jeladók, beavatkozók, kódolás).

Definíció. A **szállításkezdet** (start of delivery) az az időpont, amikor a befecskendező szivattyú vagy a szivattyú-porlasztó egység elindítja az üzemanyag-adagolást a nagynyomású cső felé. A **befecskendezési szög** (injection timing) a befecskendezés kezdetének szöghelyzete a főtengely felső holtpontja (TDC) előtt vagy után fokban. A **statikus szög** a berendezés beszerelési, mechanikus időzítése; a **dinamikus szög** a tényleges, működés közbeni érték, amelyet nyomásjelből vagy elektromos vezérlésből mérünk.

Összefüggés. A befecskendezési szög hibája befolyásolja a gyulladást, a zajt, a füstölést és a teljesítményt. Túl késői befecskendezés: fehér vagy fekete füst, gyenge teljesítmény, magas kipufogógáz-hőmérséklet. Túl korai befecskendezés: erős égési zaj (dízelkopogás), magas égési csúcsnyomás, esetleg megnövekedett NOx-kibocsátás. A pontos szög a gyártói adat, és a motor fordulatszámával, terhelésével változik.

Definíció. A **nyomáshullám-elemzés** a befecskendező csőben terjedő nyomáshullámok mérése piezoelektromos nyomásérzékelővel. A befecskendezéskor a nyomáshullám a fúvóka felé halad, visszaverődik, és a hullámok interferálhatnak. A mért görbéből meghatározható a szállításkezdet, a fúvóka nyitási nyomása és a hullámforma. Ezt a módszert főként hagyományos soros vagy elosztó befecskendező rendszereknél alkalmazzák.

Definíció. A **common rail visszafolyó mennyiség** (return flow) az injektorok belső szivárgásából és a nyomásszabályozó visszavezetéséből származó üzemanyag-mennyiség időegységenként. A kopott injektor túl nagy belső szivárgása csökkenti a rail-nyomást, és indítási nehézséget okozhat.

Definíció. A **PDE** (Pumpe-Düse-Einheit, szivattyú-porlasztó egység) hengerenkénti befecskendezési rendszer, amelyben a szivattyúelem és a porlasztó egy egységben van, és a vezérműtengely bütyke működteti.

Definíció. Az **EDC** (Electronic Diesel Control) elektronikus dízelmotor-szabályozó rendszer, amely a jeladók (fordulatszám, pedálállás, hűtővíz-hőmérséklet, légtömeg, rail-nyomás stb.) jelei alapján szabályozza a befecskendezési mennyiséget, a befecskendezési szöget és a rail-nyomást.

37.5.4. Dízeldiagnosztika sajátosságai és nem fedélzeti vizsgálatok

A dízelmotor befecskendező rendszere nagy pontosságú hidraulikus rendszer. A régebbi dízelekben nem minden hiba látható az EOBD-ben, mert az EOBD csak a kibocsátást befolyásoló hibákat jelzi. Ezért a diagnosztika gyakran **nem fedélzeti mérésekkel** kezdődik: előnyomás-mérés, visszafolyási mérés, porlasztóvizsgálat, nyomáshullám-elemzés.

Fordulatszám és TDC jel mérése. A szállításkezdet méréséhez referenciajelet kell venni. Modern rendszereknél ezt a főtengely- és vezérműtengely-jeladó jele adja, régebbi rendszereknél optikai vagy mágneses jeladót szerelünk a főtengelyre vagy a szivattyútengelyre. A nyomáshullám-jelhez viszonyítva kapjuk meg a befecskendezési szög fokát. A mérést az 1. henger felső holtpontjához (TDC) kalibráljuk.

A **nyomáshullám-elemzés** során a befecskendező csőre szerelt piezoelektromos érzékelő jele az oszcilloszkópon: az adagolási nyomás emelkedése, a fúvóka nyitási csúcsa, majd a hullámok. A mérési görbét a gyártói specifikációval vetjük össze. A görbe emelkedésének kezdete a szállításkezdet, a csúcs a fúvóka nyitási nyomásához kötődik.

Porlasztóvizsgálat próbapadon. A porlasztócsúcsot (fúvókát) leszereljük, és próbapadra tesszük. A próbapad kézi vagy motoros szivattyúval nyomást épít, a nyomásmérőn leolvassuk a nyitónyomást, ellenőrizzük a porlasztási képet, a csepegést és a tömítettséget. A nyitónyomás jellemzően 150–300 bar között van (ellenőrizendő: gyártói adat). A porlasztási képnek egyenletes, kúpos ködnek kell lennie, csepegés nélkül.

Figyelem. A porlasztósugár bőrbe hatolva súlyos, akár amputációhoz vezető sérülést okoz: a kezet soha ne tartsuk a sugár útjába, a fúvókát zárt, átlátszó védőburkolatú, elszívott gyűjtőedénybe porlasszuk, védőszemüveget és vegyszerálló kesztyűt viseljünk; a ködöt ne lélegezzük be (tűzveszély, szikra és nyílt láng kizárva). Sugársérülés gyanújánál azonnal orvoshoz kell fordulni.

PDE vizsgálat. A PDE egységekben a szivattyú és a porlasztó egy egységben van, ezért a próbapadon csak magasabb nyomású vizsgálóberendezéssel (PDE-próbapad) lehet vizsgálni, vagy a motoron mért visszafolyási és üzemanyag-nyomás értékek alapján. A hengerenkénti PDE-k cseréjénél be kell kódolni a korrekciós értékeket.

37.5.5. Common rail diagnosztika

A common rail rendszer diagnosztikai sorrendje a következő (a folyamatábra is ezt szemlélteti):

1. Hibakódok kiolvasása rendszerteszterrel.
2. Alacsony nyomású oldal ellenőrzése: tankbeli tápszivattyú nyomása, szűrő állapota, légtelenítés.
3. Rail-nyomás tényleges értékének összehasonlítása a kért értékkel, alapjáraton, terhelésen és indításkor.
4. Injektorok visszafolyó mennyiségének mérése.

5. A nagynyomású szivattyú és a szabályozószelepek (mennyiségszabályozó, nyomásszabályozó) vizsgálata.
6. Injektor-korrekciók (IMA kódolás) ellenőrzése.

Alacsony nyomású oldal. A tankban lévő elektromos szivattyú jellemzően 3–5 bar nyomást ad (ellenőrizendő: gyártói adat). A szűrő előtt és után mért nyomáskülönbség nő, ha a szűrő eldugult. A szívási oldali levegőbeszivárgás instabil járást okoz. A mérést nyomásmérővel vagy diagnosztikai műszerrel (üzemanyag-előnyomás paraméter) végezzük.

Rail-nyomás mérése. A diagnosztikai műszer mutatja a kért és a tényleges rail-nyomást. Indításkor a rail-nyomásnak gyorsan fel kell épülnie a minimális indítási nyomásra (például 250–300 bar, ellenőrizendő). Ha a szivattyú vagy a nyomásszabályozó hibás, a nyomás nem éri el a kért értéket. A nyomásszabályozó szelepet (DRV) az ECU elektromos jellel (PWM) vezérli; a hiba gyakran a szelep tömítetlensége vagy a vezérlés hibája.

Injektor visszafolyó mennyiség mérése. Szétválasztjuk a visszafolyó csövet az injektoroknál, és mérőedényekbe gyűjtjük az üzemanyagot. A motort indítóval forgatjuk, vagy járó motor mellett mérünk. A megengedett érték rendszer- és üzemállapotfüggő (tanulási példa: 25 ml/perc hengerenként); a hengerek közötti arányt is értékeljük (ellenőrizendő: gyártói eljárás). A megnövekedett visszafolyás belső tömítetlenségre utal. A mérési eljárást a Gyakorlati útmutató tartalmazza.

Injektor-korrekciók. A modern EDC az injektorok gyártási szórását egyedi kódolási értékekkel (IMA vagy QR kód) kompenzálja. Ha injektort cserélünk, be kell kódolni a korrekciós értéket, különben durva járás, kopogás vagy megnövekedett fogyasztás lehet.

Nagynyomású szivattyú és szabályozószelepek. A szivattyú kopása alacsony rail-nyomást okoz teljes terhelésnél. A szívóoldali mennyiségszabályozó (VCV) a bemenő mennyiséget szabályozza; ha beragad, a nyomás nem szabályozható. A nyomásoldali szabályozó (PCV/DRV) a rail nyomást engedi le. Mindkettőt elektromos jellel (PWM) vezérli az ECU; diagnosztikai műszerrel a vezérlési kitöltési tényezőt és a tényleges nyomást követhetjük.

37.5.6. Kidolgozott példák

1. példa – Injektor visszafolyó mennyiség kiértékelése. Egy common rail motor indításkor a kért rail-nyomás 300 bar, de a tényleges csak 180 bar. A visszafolyó mérésnél a következő értékeket kapjuk: 1. henger 20 ml/perc, 2. 15 ml/perc, 3. 18 ml/perc, 4. 120 ml/perc. Mekkora a teljes visszafolyás, és melyik injektor gyanús?

Számítás. Teljes visszafolyás: $20 + 15 + 18 + 120 = 173\,\text{ml/perc}$. A 4. henger visszafolyása (120 ml/perc) sokkal nagyobb, mint a többi (15–20 ml/perc). A gyártói határérték például 25 ml/perc hengerenként (ellenőrizendő); a 4. injektor belső tömítetlen, ez okozhatja a rail-nyomás esését. Cserélni kell az injektort. ∎

2. példa – Befecskendezési szög számítása nyomáshullám-elemzésből. Egy hagyományos elosztó befecskendező rendszerű dízelen a referenciajelet 10 000 Hz mintavételi frekvenciával rögzítjük. A referenciajel az 1. henger TDC-je előtt 30°-nál jelentkezik (jelölő a lendkeréken). A jel és a nyomásemelkedés kezdete között 12 minta telik el. A motor fordulatszáma 2000 1/min. Mekkora a mért befecskendezési szög? (A példa egyszerűsített: 1 minta = 1,2°, a ±1°-os tűréshez ennél jóval nagyobb, legalább 50 kHz-es mintavétel kell.)

Számítás. Mintavételi idő: $t = 12/10\,000 = 0{,}0012\,\text{s}$. Fordulatszám: $n = 2000\,1/\text{min} = 33{,}33\,\text{ford/s}$, így egy fordulat ideje $T = 1/33{,}33 = 0{,}03\,\text{s}$. A szög: $\varphi = (t/T) \cdot 360^\circ = (0{,}0012/0{,}03) \cdot 360^\circ = 14{,}4^\circ$. A nyomásemelkedés a referenciajel után 14,4°-kal érkezik, ezért a befecskendezés $30^\circ - 14{,}4^\circ = 15{,}6^\circ$-kal TDC előtt kezdődik. A gyártói specifikáció például

$10^\circ \pm 1^\circ$ TDC előtt (ellenőrizendő); a mért érték túl korai, ezért a szivattyú időzítését korrigálni kell, vagy a dinamikus időzítő hibás. ∎

Hibás példa. Valaki a nyomáshullám-elemzésnél a TDC jelet nem kalibrálta, és a nyomáshullám csúcsát vette szállításkezdetnek, nem az emelkedés kezdetét. Ez félrevezető, mert a csúcs a fúvóka nyitásához kötődik, ami a szállításkezdet után van. A helyes mérés az emelkedés kezdetét veszi alapul.

37.5.7. Előírások

Előírás. A dízeltüzelőanyag-rendszeren végzett munka előtt a nagynyomású részt nyomásmentesíteni kell a gyártói utasítás szerint. A nagynyomású üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos sérülést okoz.

Előírás. A befecskendezési rendszer javításánál csak a gyártó által előírt alkatrészeket és kódolási eljárást szabad alkalmazni; az injektorok korrekciós kódjait a vezérlőegységbe be kell írni (ellenőrizendő: gyártói adat).

Előírás. Az EOBD/OBD rendszer a dízeleknél a kibocsátással összefüggő hibákat jelzi; a diagnosztikai hibakódok értelmezése az ISO 15031 szabvány alapján történik (a szabvány pontos száma ellenőrizendő).

37.5.8. Minőségellenőrzés

A dízeldiagnosztikai méréseknél mindig a gyártói értékekhez viszonyítunk: - Rail-nyomás alapjáraton, indításkor, teljes terhelésen (példaértékek) - Injektor visszafolyó mennyiség (ml/perc) - Alacsony nyomás (bar) - Szállításkezdet szögértéke (°) - Porlasztó nyitónyomása (bar) - Vezérlési jelek (PWM kitöltési tényező %)

A méréseket dokumentálni kell, és a hibakódok törlését csak a javítás után szabad elvégezni, utána próbaúttal ellenőrizni.

37.5.9. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Nehezen induló, gyenge dízelmotor

Egy öreg common rail dízelautó hidegen nehezen indul, melegen gyenge, néha fekete füst. A tulajdonos szerint a szűrő cseréje volt esedékes, de nem segített. A műhelyben a következőket végezzük:

1. **Hibakód kiolvasása:** nincs kibocsátási hibakód, de a fedélzeti adatoknál az üzemanyag-előnyomás alacsony (2,5 bar a kért 3,5 bar helyett).
2. **Alacsony nyomású oldal ellenőrzése:** az üzemanyagszűrő házában sok szennyeződés, a szűrő eldugult. Cseréjük és légtelenítés, az előnyomás 3,6 bar-ra emelkedik, az indítás javul, de a teljesítmény még nem jó.
3. **Rail-nyomás mérés teljes terhelésnél:** kért 1600 bar, tényleges 1450 bar (ellenőrizendő értékek) – eltérés.
4. **Injektor visszafolyó mérés:** 1. henger 22 ml/perc, 2. 18 ml/perc, 3. 21 ml/perc, 4. 110 ml/perc. A gyártói határérték 25 ml/perc; a 4. injektor belső tömítetlen.
5. **Javítás:** a 4. injektor cseréje, korrekciós kód beírása, üzemanyagszűrő csere.
6. **Ellenőrzés:** próbaút után az indítás könnyű, a teljesítmény visszatért, a rail-nyomás eléri a kért értéket, a visszafolyó mennyiség minden hengernél 20 ml/perc alatt van.

7. **Megelőzés:** üzemanyagszűrő csere az előírt ciklusban, jó minőségű üzemanyag, a rail-nyomás eltérésének korai jelzése.

37.5.10. Gyakorlati útmutató: Common rail visszafolyó mennyiség mérése

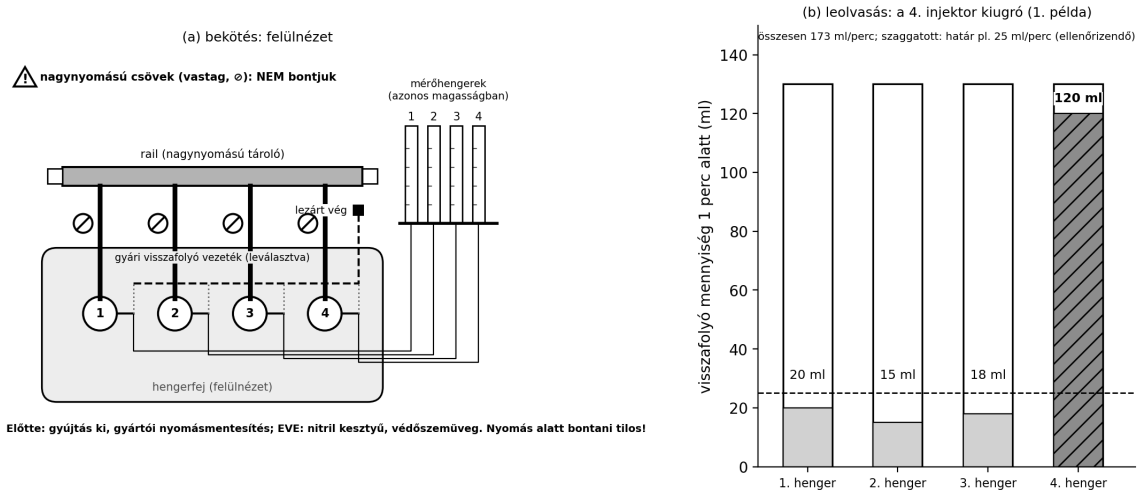
Cél: Az injektorok belső tömítetlenségének kimutatása.

Jármű- és adatazonosítás: Kiolvassuk a gyártói adatokat (motorkód, rendszer típusa, injektor-korrekciós kódok).

Szükséges szerszámok, műszerek: mérőedények (50–100 ml-es, ml osztással), csatlakozó-leszorító szerszám, diagnosztikai műszer, gyűjtőedény, tömítések, nitril kesztyű, védőszemüveg.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: A motor járása közben a forgó részek és forró felületek miatt óvatosan dolgozunk. Az üzemanyag-gőz tűzveszélyes, nyílt láng és szikra tilos. A kifolyt üzemanyagot veszélyes hulladékként gyűjtjük. A nagynyomású rendszeren végzett munka előtt a gyártói nyomásmentesítést el kell végezni; a visszafolyó mérésnél a rendszer nyomása alacsony, de a motortér biztonságát meg kell őrizni.



37.10. ábra. Common rail injektorok visszafolyó mennyiségének mérése mérőhengerekkel (sematikus vonalrajz)

Az (a) részábrán a vastag nagynyomású csöveket (⊘) nem bontjuk; csak a gyári visszafolyó vezetéket választjuk le és zárjuk le, az injektorok visszafolyó csonkjaira átlátszó tömlőkön át azonos magasságban álló mérőhengerek kerülnek. A (b) részábra az 1. kidolgozott példa leolvasását mutatja: a 4. injektor 120 ml/perc értéke messze a hengerenkénti példahatár (25 ml/perc, ellenőrizendő) fölött van. A HTML-változatban a mérőhengerek töltődése lejátszható, és a hibás injektor kiválasztható.

Mérés lépései:

1. Győződjön meg róla, hogy a motor hideg, a gyújtás ki van kapcsolva, a kulcsot távol tartjuk.
2. Végezze el a gyártói nyomásmentesítést a nagynyomású rendszeren.

3. Azonosítsa az injektorok visszafolyó csövét (rendszerint a fúvókák tetején lévő vékony műanyag cső).
4. Válassza le a visszafolyó csövet az injektoroknál, és zárja le a cső nyitott végét, hogy ne szivárogjon.
5. Csatlakoztasson mérőedényeket az injektorok visszafolyó csatlakozójához.
6. Indítsa el a motort, és járassa alapjáraton a gyártó által megadott ideig (például 1 percig).
7. Állítsa le a motort, és olvassa le az egyes edényekben lévő üzemanyag mennyiségét.
8. Hasonlítsa össze a hengerenkénti értékeket a gyártói határértékkel (például 25 ml/perc, ellenőrizendő).
9. Ha egy henger értéke kiugró, az injektor belső tömítetlen, cserére szorul.
10. Szerelje vissza a csöveket új tömítésekkel, légtelenítse a rendszert.
11. Törölje a hibakódokat, majd próbaúttal ellenőrizze.

Dokumentálás: Munkalapon rögzítsük a mért értékeket, a határértéket, az elvégzett javítást.

37.5.11. Tipikus hibák

Hiba 1. A nyomásszabályozó szelep elektromos csatlakozóját leválasztva a rendszert nyomás alatt bontja. **Helyes gyakorlat:** Mindig a gyártói nyomásmentesítés után, védőkesztyűben és védőszemüvegben dolgozunk.

Hiba 2. Az injektor visszafolyó mérésénél a motort nem a megadott ideig járatja, ezért az értékek nem összehasonlíthatók. **Helyes gyakorlat:** Pontosan azonos ideig mérünk, és a gyártói határértékkel vetünk össze.

Hiba 3. Az EOBD hibakódok alapján azonnal injektort cserél, pedig a hiba a szűrőben van. **Helyes gyakorlat:** Először az alacsony nyomású oldalt és a rail-nyomást ellenőrizzük, mielőtt drága nagynyomású alkatrészeket cserélnénk.

Hiba 4. Az injektor korrekciós kódját nem írja be a vezérlőegységbe csere után. **Helyes gyakorlat:** A kód beírása kötelező, különben durva járás és magas fogyasztás jelentkezhet.

37.5.12. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a statikus és dinamikus befecskendezési szög között?
2. Miért fontos a rail-nyomás mérés indításkor?
3. Nagyságrendileg mennyi lehet egy tipikus injektor visszafolyó mennyisége?
4. Milyen értékeket kell kódolni az injektor cseréjekor?
5. Mi a veszélye a nagynyomású dízeltüzelőanyag-sugárnak?
6. Ha a diagnosztikai műszer „rail-nyomás túl alacsony” hibát mutat, milyen sorrendben vizsgálná?

A válaszok a Megoldások részben.

37.5.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorolja fel a common rail diagnosztika három fő vizsgálati területét, és adjon meg mindegyikhez egy tipikus mérést.

2. feladat (A). Egy injektor visszafolyó mérésénél az alábbi értékeket kapjuk: 1. henger 25 ml/perc, 2. 28 ml/perc, 3. 33 ml/perc, 4. 22 ml/perc. A gyártói határérték 30 ml/perc. Melyik injektor hibás?

3. feladat (B). Egy hagyományos dízelen a szállításkezdetet nyomáshullám-elemzéssel mérjük. A referenciajelet 10 000 Hz mintavételi frekvenciával rögzítjük; a jel az 1. henger TDC-je előtt 30°-nál jelentkezik. A jel és a nyomásemelkedés kezdete között 12 minta telik el. Mekkora a befecskendezési szög (TDC előtt), ha a motor fordulatszáma 2000 1/min? (Emlékeztető: 1 fordulat = 360°, az idő a minták száma / mintavételi frekvencia.)

4. feladat (B). Egy common rail motor indításkor a rail-nyomás 260 bar, de a minimális indítási nyomás 300 bar (példaérték). Milyen okok lehetnek? Hogyan ellenőrzi az alacsony nyomású oldalt?

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a hagyományos elosztó befecskendező és a common rail rendszer diagnosztikai lehetőségeit. Miért kevésbé jelentős a nyomáshullám-elemzés a common railnél?

6. feladat (D, gyakorlati hibakereső). Egy dízelautó melegen gyenge, füstöl. A diagnosztikai műszer szerint a rail-nyomás alacsonyabb a kértnél, de az injektorok visszafolyása normális. A tápszivattyú cseréje már megtörtént. Melyik komponensre gyanakszik? Hogyan igazolná?

37.5.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Statikus a beszerelési időzítés, dinamikus a tényleges működés közbeni szög.
2. Indításkor a minimális rail-nyomás el kell érje az indítási küszöböt; ha nem, a motor nem indul.
3. A megengedett visszafolyás rendszer- és üzemállapotfüggő (tanulási példa: 25 ml/perc hengerenként), és a hengerek közötti arányt is értékelni kell (ellenőrizendő: gyártói eljárás).
4. Az injektor korrekciós kódját (IMA kód).
5. A sugár bőrbe hatol, súlyos sérülést okoz.
6. Sorrend: alacsony nyomású oldal, rail-nyomás, visszafolyás, szabályozószelepek.

1. feladat megoldása. Alacsony nyomású oldal (előnyomás mérése), nagynyomású oldal (rail-nyomás mérése), szabályozás (injektor visszafolyás és korrekciók).

2. feladat megoldása. A 3. henger visszafolyása (33 ml/perc) meghaladja a 30 ml/perc határértéket, és a többi hengerhez (22–28 ml/perc) képest is kiugró, így a 3. injektor belső tömítetlen.

3. feladat megoldása. Mintavételi idő: $t = 12/10\,000 = 0{,}0012\,\text{s}$. Fordulatszám: $n = 2000\,1/\text{min} = 33{,}33\,\text{ford/s}$, egy fordulat ideje $T = 0{,}03\,\text{s}$. A szög: $\varphi = (t/T) \cdot 360^\circ = (0{,}0012/0{,}03) \cdot 360^\circ = 14{,}4^\circ$. A nyomásemelkedés a referenciajel (30° TDC előtt) után 14,4°-kal érkezik, így a befecskendezés $30^\circ - 14{,}4^\circ = 15{,}6^\circ$-kal TDC előtt kezdődik. A gyártói specifikáció például $10^\circ \pm 1^\circ$ TDC előtt; a mért érték túl korai, állítani kell.

4. feladat megoldása. A rail-nyomás nem éri el az indítási küszöböt. Okok: gyenge tápszivattyú, eldugult szűrő, levegő a rendszerben, nagynyomású szivattyú kopott, nyomásszabályozó tömítetlen, injektor túl nagy visszafolyás. Alacsony nyomású oldal ellenőrzése: előnyomás mérése (például 3,5 bar), szűrő állapota, szívó ág tömítettsége.

5. feladat megoldása. A hagyományos elosztó befecskendezőnél a szállításkezdet mechanikus időzítésű, a nyomáshullám-elemzéssel jól mérhető a tényleges időzítés. A common railnél az időzítést elektronika vezérli, a nyomás és a befecskendezési időtartam sokkal rugalmasabb, a nyomáshullámok a railben és a csövekben kevésbé információsak, mert a nyomás a railben állandó, és az injektorok egyenként nyitnak. A common rail diagnosztikában a rail-nyomás és az injektor-visszafolyás a fő.

6. feladat megoldása. Ha a visszafolyás normális és a tápszivattyú új, a nagynyomású szivattyú kopott vagy a nyomásszabályozó szelep hibás. Ellenőrzés: a rail-nyomás tényleges/kért eltérése teljes terhelésnél, a nyomásszabályozó PWM jelének vizsgálata oszcilloszkóppal, a szivattyú visszafolyó mennyisége (ha van külön cső), vagy a szivattyú kimenő nyomásának mérése.

37.5.15. Rövid összefoglaló

A dízeldiagnosztikában a tüneteket alacsony nyomású, nagynyomású és szabályozási okokra bontjuk. A nem fedélzeti mérések (előnyomás, visszafolyó mennyiség, porlasztóvizsgálat, nyomáshullám-elemzés) a régebbi rendszereknél, a common railnél pedig a fedélzeti adatok (kért/tényleges rail-nyomás, injektor-korrekciók, vezérlőjelek) kiegészítik egymást. Az injektorok visszafolyó mennyiségét mérve a belső tömítetlenség kimutatható. A hibakeresés során először az alacsony nyomású oldalt, majd a rail-nyomást, a visszafolyást, a szabályozószelepeket és a kódolást ellenőrizzük. A nagynyomású rendszeren csak a gyártói nyomásmentesítés után szabad dolgozni; a nagy nyomású üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos sérülést okoz. A gyártói javítási adatok elsőbbséget élveznek. A PDE egységek vizsgálata speciális próbapadot igényel, cseréjüknél korrekciós kódot kell beírni. **Továbbvitt eredmény.** A common rail vizsgálati sorrendet (hibakód, alacsony nyomás, rail-nyomás, visszafolyás, szabályozószelepek, kódolás) használjuk a Gyakorlati vizsgafelkészülés komplex hibakeresési feladataiban (és az outline szerinti további felhasználó alfejezetekben). ∎

37.5.16. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások és diagnosztikai kézikönyvek, a Bosch/Denso stb. oktatóanyagai, az ISO 15031 szabvány az OBD-re, a járművek kipufogógáz-kibocsátására vonatkozó hatályos előírások.

Ellenőrizendő: a rail-nyomás értékei (indítási, alapjárati, teljes terhelési), az injektor visszafolyási határértékek, a nyomásszabályozó és mennyiségszabályozó vezérlési paraméterek, a porlasztó nyitónyomása, a PDE vizsgálati adatok, a szűrőcsere-intervallum, a korrekciós kód beírásának művelete.

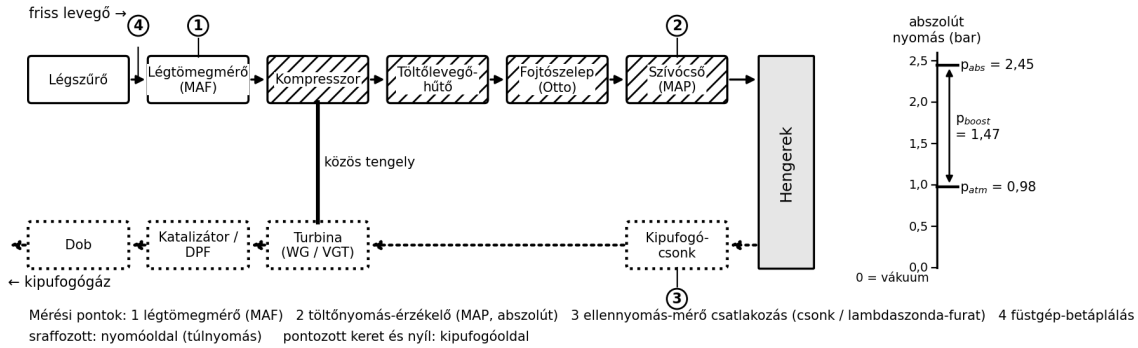
37.6. Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája

37.6.1. Motiváció

Egy turbódízel személyautó tulajdonosa azzal érkezik a műhelybe, hogy „nincs meg a régi ereje, 3000 1/min fölött mintha elfogyna a levegője, és néha mintha hallana egy sziszegő hangot”. Egy másik ügyfél egyszerűbb kérdéssel jön: „többet fogyaszt az autó, mint eddig, lehet, hogy a turbó rossz?”. A két panasz nagyon különböző lehet, de sokszor ugyanarra a területre vezet: a levegőellátó, a kipufogó- és a feltöltőrendszer, valamint a fogyasztásmérés láncolatára. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan mérjük fel ezeket a rendszereket úgy, hogy ne alkatrészcserével találgassunk, hanem mérésekkel szűkítsük a lehetséges okokat.

37.6.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy feltöltött, injektoros motor levegőútját mint egy csővezeték-rendszert. A friss levegő a légszűrőház szívócsonkján lép be, áthalad a légtömegmérőn, majd a turbófeltöltő kompresszorkerekén. Innen a sűrített, felmelegedett levegő a töltőlevegő-hűtőbe kerül, majd a fojtószelepen (Otto-motornál) vagy közvetlenül az elosztócsövön át a hengerekbe jut. A kipufogógáz a hengerekből a kipufogócsonkon át a turbina felé áramlik, megforgatja a turbinakereket, majd a kipufogórendszeren, katalizátoron, részecskeszűrőn és dobokon át távozik. A diagnosztika során ezt a két áramlási utat vizsgáljuk: ahol szivárgás, dugulás vagy szabályozási hiba van, ott nyomás- és hőmérsékletadatokkal, füstgéppel vagy próbapadi méréssel találjuk meg a hibát.



37.11. ábra. Feltöltött motor levegő- és kipufogóútja a mérési pontokkal

Az ábrán a sraffozott dobozok a nyomóoldalt (túlnyomás), a pontozottak a kipufogóoldalt jelölik; a számozott mérési pontok: 1 légtömegmérő, 2 töltőnyomás-érzékelő (abszolút nyomást mér), 3 ellennyomás-mérő csatlakozás, 4 füstgép-betáplálás. A jobb oldali skála az 1. kidolgozott példát mutatja: a műszer 2,45 bar abszolút nyomásából a 0,98 bar légköri nyomást levonva 1,47 bar a töltőnyomás. A HTML-változatban a nyomások állíthatók, és hibaszcenáriók (tömlőszakadás, nyitva ragadt wastegate, eldugult DPF) is kiválaszthatók.

37.6.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Töltőnyomás (boost pressure). A feltöltő által a szívóoldalon előállított, a környezeti légköri nyomás fölé eső túlnyomás, jele p_{boost} (bar vagy kPa). Az abszolút szívóoldali nyomás:

$$p_{\text{abs}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{boost}}$$

ahol p_{atm} a környezeti légnyomás. A diagnosztikai műszerek gyakran abszolút nyomást mutatnak, ezért a mért értéket mindig a légköri nyomáshoz kell viszonyítani.

Definíció. Kipufogó-ellennyomás (exhaust back pressure). A kipufogórendszerben a kipufogógáz áramlását akadályozó nyomás, amelyet a turbina előtt vagy a katalizátor előtt mérünk. A túlzott ellennyomás csökkenti a töltéscsere hatásfokát, növeli a fogyasztást és rontja a teljesítményt.

Összefüggés. Fogyasztásmérés országúton. A fogyasztást leggyakrabban l/100 km egységben adjuk meg. Ha V liter üzemanyagot fogyasztottunk s kilométer úton, akkor az átlagfogyasztás:

$$Q = \frac{V}{s} \cdot 100 \quad \left[\frac{\text{l}}{100\,\text{km}}\right]$$

A mérést mindig tele tankkal, azonos töltőállomáson, azonos kútnál, lehetőleg azonos hőmérsékleten kell végezni, mert a tüzelőanyag sűrűsége és a tankolás habzása hibát visz be.

Összefüggés. Görgős próbapadon mért teljesítmény. A próbapad a kerekeken leadott vonóerőt méri, és a görgő fordulatszámából kiszámítja a jármű sebességét, illetve a menetellenállás-modellel a motor nyomatékát és teljesítményét. A kerékteljesítmény:

$$P_{\text{kerék}} = F_v \cdot v$$

ahol F_v a kerekeken mért vonóerő (N), v a jármű sebessége (m/s). A motor teljesítményt a hajtáslánc veszteségének becsült értékével korrigálják.

37.6.4. Felépítés és működés

37.6.4.1. A levegőellátó rendszer vizsgálata

A levegőellátó rendszer leggyakoribb hibája a nyomóoldali szivárgás. A szivárgás miatt a sűrített levegő egy része elvész, a légtömegmérő által mért és a hengerbe jutó levegőmennyiség eltér, ami keverékhibához, füstöléshez vagy teljesítménycsökkenéshez vezet. A vizsgálat leghatékonyabb eszköze a füstgép: a szívórendszert lezárják, és olajpára alapú, látható füstöt nyomnak be enyhe túlnyomással. A szivárgó pontokon a füst kijut, és UV-lámpával is láthatóvá tehető. A füstgép előnye, hogy a legkisebb repedéseket is kimutatja, mert a füst látható marad, ellentétben a sűrített levegős szivárgásvizsgálattal, ahol a szivárgás hangját a műhelyzaj elnyomja.

Figyelem. A vizsgálat során a motor nem járhat, a rendszerben lévő nyomást fel kell engedni; a sűrített levegővel való nyomáspróbánál a gyártói maximális nyomást tilos túllépni (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

37.6.4.2. Kipufogórendszer vizsgálata: ellennyomás

A kipufogórendszerben a dugulást (katalizátor, részecskeszűrő, dob) az ellennyomás mérésével lehet kimutatni. A mérést a turbina előtt, a kipufogócsonk nyomásmérő csatlakozójánál végezzük, ha van, vagy a lambdaszonda furatánál, megfelelő adapterrel. A motort üzemi hőmérsékletre melegítik, majd terhelés alatt – görgős teljesítménymérő próbapadon, vagy a gyártó által megengedett esetben közúti próbán, adatrögzítéssel – mérik a nyomást (ellenőrizendő: gyártói eljárás). Bakra emelt járművön hajtott kereket terhelni, fék ellen járatni tilos. Egy ép rendszer ellennyomása Otto-motoroknál általában 0,1–0,3 bar, dízeleknél 0,2–0,5 bar terhelés alatt; a pontos határértéket a gyártó adja meg (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat). A részecskeszűrős dízeleknél a regenerációs állapotot is figyelembe kell venni, mert a hamutartalom növeli az ellennyomást.

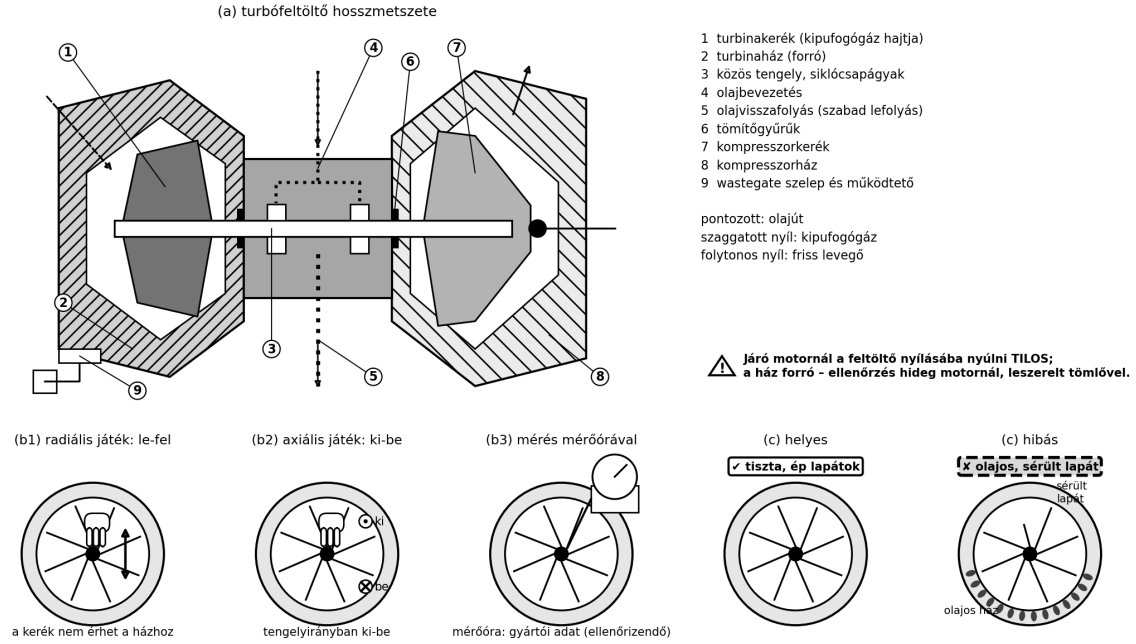
37.6.4.3. Turbófeltöltő ellenőrzése és töltőnyomás mérése

A turbófeltöltő ellenőrzést a Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés alfejezetben bemutatott felépítésre építjük. A diagnosztika során a következőket vizsgáljuk:

1. **Radiális és axiális játék.** A leszerelt tömlőkkel megfogjuk a tengelyt: a radiális (oldalirányú) játék minimális lehet, az axiális játék észrevehetetlen. A pontos értékek gyártónként eltérők (jellemzően max. 0,1–0,2 mm oldalirányú; ellenőrizendő).

2. **Olajszivárgás vagy kokszosodás.** A kompresszoroldali levegőcsőben olajnyom utal a tömítés sérülésére vagy a leeresztő olajút szűkületére.
3. **Töltőnyomás-szabályozás.** A rendszerteszterrel élő adatként figyeljük a kívánt és a tényleges töltőnyomást, a wastegate vagy VGT beavatkozó aktuátor pozícióját. Beavatkozó tesztben a VGT lapátrácsot elmozdítjuk, vagy a wastegate szelepet működtetjük, és figyeljük a reakciót.
4. **Töltőnyomás mérése munka közben.** A megadott fordulatszámon, teljes terhelésen a tényleges töltőnyomást összevetjük a gyártói kitűzött értékkel (például dízelnél 1,3–1,6 bar túlnyomás, azaz kb. 2,3–2,6 bar abszolút nyomás, ellenőrizendő).

A méréshez a diagnosztikai műszeren kívül egy mechanikus vagy elektronikus nyomásmérő is csatlakoztatható a szívócsőhöz. A korszerű motoroknál a motorvezérlő a töltőnyomást egy nyomásérzékelővel méri, és a műszeren is megjeleníthető.



37.12. ábra. A turbófeltöltő metszete és a tengelyjáték kézi ellenőrzése (sematikus vonalrajz)

Az (a) metszeten a kipufogógáz a turbinakereket hajtja, a közös tengely a kompresszorkereket forgatja; a siklócsapágyakat a motorolaj keni (pontozott olajút), a tömítőgyűrűk tartják vissza az olajat, a wastegate a töltőnyomást szabályozza. A (b) képsor a játékvizsgálatot mutatja hideg motornál, leszerelt szívótömlő mellett: radiális (le-fel) és axiális (ki-be) mozgatás, kétség esetén mérőórás mérés a gyártói adatra. A (c) pár a tiszta, ép és az olajos, sérült lapátú kompresszoroldalt veti össze. Járó motornál a feltöltő nyílásába nyúlni tilos.

37.6.4.4. Tüzelőanyag-fogyasztás mérése

A fogyasztásmérést két fő módon végezzük:

- **Országúti mérés.** A járművet tele tankoljuk, nullázzuk a kilométer-számlálót, majd normál, dokumentált útvonalon közlekedünk, végül újra tele tankoljuk. A fogyasztott üzemanyagot a kiadott mennyiség és a megtett út hányadosából számoljuk. A hibát csökkenti a hosszabb út, a meleg motor, az azonos körülmények. A mérést nem szabad

csupán a fedélzeti számítógép átlagfogyasztására alapozni, mert az kalibráció nélkül néhány százalékkal tévedhet.
- **Próbapadi mérés.** A görgős próbapadon a járművet szabványos ciklus szerint működtetik, a kipufogógáz-áramlásból vagy külön tüzelőanyag-hozam mérővel mérik a fogyasztást. Előnye az ismételhetőség és a terhelés-változtatás lehetősége.

Régebbi, karburátoros vagy mechanikus befecskendezésű járműveken a fogyasztást gyakran áramlásmérővel, a betáplált tüzelőanyag mennyiségének mérésével határozzák meg, mert a fedélzeti számítógép hiányzik. A mai rendszereknél a fedélzeti számítógép is hasznos, de hitelesítés nélkül csak tájékoztató érték.

37.6.4.5. Görgős teljesítménymérő próbapad felépítése és működése

A görgős próbapad két, egymással párhuzamos, görgőpárt tartalmaz (kétgörgős padnál a görgők átmérője jellemzően néhány deciméter, egygörgős padnál nagyobb – ellenőrizendő: a pad adatlapja), amelyre a jármű hajtott kerekei felhajtanak. A görgők a jármű kerekei alatt forognak, és a fékezőegység (örvényáramú fék, hidraulikus fék, vagy villamos motor-generátor) terhelést ad le. A mérőrendszer rögzíti a görgő fordulatszámát és a féknyomatékot, ebből számítja a kerékteljesítményt:

$$P_{\text{kerék}} = M_{\text{görgő}} \cdot \omega_{\text{görgő}}$$

ahol $M_{\text{görgő}}$ a görgőre kifejtett fékezőnyomaték (Nm), $\omega_{\text{görgő}}$ a görgő szögsebessége (rad/s). A jármű sebességét a görgő kerületi sebessége adja, a menetellenállási görbét a próbapad szoftvere a jármű tömegéből, légellenállásából és gördülési ellenállásából modellezi. A mérés során a járművet teljes terhelésen, fokozatonként végighajtják, így kapják a kerék- vagy motor teljesítmény- és nyomatékgörbét.

A próbapad alkalmas a menetellenállások, a fékpadi lassulás, a fordulatszám- és sebességmérő pontosságának ellenőrzésére is, de a belső égésű motor laboratóriumi fékpadi mérését nem helyettesíti.

37.6.5. Kidolgozott példák

Példa 1. Töltőnyomás értelmezése rendszerteszterről.
Egy 2,0 literes turbódízel motoron a diagnosztikai műszer teljes terhelésen, 3000 1/min-nél 2,45 bar abszolút nyomást mutat. A környezeti légnyomás 0,98 bar. Mekkora a töltőnyomás?

Megoldás.

$$p_{\text{boost}} = p_{\text{abs}} - p_{\text{atm}} = 2{,}45\,\text{bar} - 0{,}98\,\text{bar} = 1{,}47\,\text{bar}$$

Ha a gyártó által előírt töltőnyomás ezen a munkaponton 1,3–1,6 bar túlnyomás (ellenőrizendő), az érték megfelelő.

Példa 2. Országúti fogyasztásmérés.
Egy benzines autó tele tankkal indul, a kilométer-számláló nullázva. A mérés végén a kút pumpája 38,4 l tüzelőanyagot ad ki, a megtett út 512 km. Számítsa ki az átlagfogyasztást, és ellenőrizze a nagyságrendet.

Megoldás.

$$Q = \frac{38{,}41}{512\,\mathrm{km}} \cdot 100 = 7{,}50\,\frac{\mathrm{l}}{100\,\mathrm{km}}$$

Egy középkategóriás benzines autónál ez reális vegyes fogyasztás; ha $4{,}0\,\frac{\mathrm{l}}{100\,\mathrm{km}}$ jönne ki, hibát kell keresni a mérésben (pl. nem volt tele a tank).

Ellenpélda. Egy szerelő a töltőnyomást úgy értelmezi, hogy a műszer 2,45 bar értéke a túlnyomás, és ezért a rendszert hibásnak minősíti. A valóságban a műszer abszolút nyomást ad meg, így a töltőnyomás 1,47 bar, ami megfelelő. Az ilyen félreértés felesleges alkatrészcseréhez vezet.

37.6.6. Minőségellenőrzés

A levegőellátó és kipufogórendszer vizsgálatánál az alábbi ellenőrzőlista segít:

- ☐ Légszűrő állapota, szívócső tömítettsége
- ☐ Légtömegmérő adatai alapjáraton és terhelés alatt (gyártói érték, ellenőrizendő)
- ☐ Töltőlevegő-hűtő és a csövek szivárgása füstgéppel
- ☐ Turbó tengelyjáték (radiális és axiális)
- ☐ Töltőnyomás kívánt és tényleges értéke terhelés alatt
- ☐ wastegate / VGT beavatkozó reakciója
- ☐ Kipufogó-ellennyomás üzemi hőmérsékleten, terhelés alatt
- ☐ Teljesítmény és fogyasztás próbapadi ellenőrzése

A mért értékeket mindig a gyártói javítási adatokhoz, kopási határokhoz vagy a típusra jellemző referenciaértékekhez képest értékeljük (ellenőrizendő: a gyártói adat).

37.6.7. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz. Egy 1,6 literes turbós Otto-motor esetén a tulajdonos szerint az autó „nem húz, és néha búgó hangot ad”. A motor hibakódja: `P0299` „alacsony töltőnyomás” (a hibakód típusfüggő, ellenőrizendő).

Hipotézis és mérés. A rendszerteszterrel kiolvassuk az élő adatokat: a kívánt töltőnyomás 1,8 bar abszolút, a tényleges 1,3 bar, a nyomáskülönbség 0,5 bar. A légtömegmérő értéke a vártnál alacsonyabb. A füstgéppel a töltőlevegő-hűtő bemeneti csövénél a füst jól láthatóan kijut egy megrepedt szilikon tömlőnél.

Ok. A megrepedt tömlő miatt a sűrített levegő egy része a szabadba távozik, a motorhoz kevesebb levegő jut, ezért a teljesítmény csökken, és a vezérlő alacsony töltőnyomást rögzít.

Javítás. A repedt tömlő cseréje a gyártói előírás szerint, új szorítógyűrűkkel. Ellenőrzésként a hibakód törlése után országúti próbán a tényleges töltőnyomás ismét eléri a kívánt értéket. A jelenség megszűnik.

Megelőzés. A tömlők állapotát rendszeresen ellenőrizni kell, különösen az illesztéseknél és a hőterhelésnek kitett helyeken.

37.6.8. Gyakorlati útmutató

37.6.8.1. Töltőnyomás ellenőrzése és szivárgásvizsgálat

Cél. Annak megállapítása, hogy a levegőellátó rendszer tömített-e, a turbó által elért töltőnyomás a gyártói tartományba esik-e, és a szabályozás (wastegate/VGT) működik-e.

Jármű- és adatazonosítás. Rögzítsük a jármű azonosítóját, motorszámát, a motor típusát, a turbófeltöltő típusát és a gyártói referenciaértékeket (töltőnyomás, lefúvató nyomás, ellenőrizendő).

Szükséges szerszámok, mérőeszközök, anyagok: rendszerteszter, mechanikus/elektronikus nyomásmérő a szívócsőhöz, füstgép, csavarhúzó készlet, tömlőszorító, védőkesztyű, védőszemüveg, munkalap, törlőkendő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések. A motort csak elszívással járathatjuk. A vizsgálat előtt győződjünk meg arról, hogy a kipufogórendszer lehűlt, és a jármű a kézifékkel rögzített, a kerekek kitámasztva. A szivárgó folyadékot (olaj, hűtőfolyadék) a veszélyes hulladék gyűjtőbe kell helyezni.

Számozott munkalépések:

1. Gyújtás ki.
2. Szemrevételezéssel ellenőrizzük a légszűrőt, a szívócsöveket, a töltőlevegő-hűtőt és a gumitömlőket repedés, olajnyom vagy meglazult szorítás szempontjából.
3. Csatlakoztassuk a rendszertesztert, olvassuk ki a hibakódokat és az élő adatokat: légtömeg, töltőnyomás (kívánt/tényleges), légköri nyomás, szívócső-hőmérséklet.
4. Indítsuk a motort, melegítsük üzemi hőmérsékletre. Rögzítsük az alapjárati értékeket.
5. Végezzünk teljes terhelésű mérést görgős próbapadon, vagy közúton a KRESZ szabályai szerint, biztonságos szakaszon, két fővel (a vezető vezet, a másik személy kezeli a rendszertesztert; a mérőkábelek rögzítve, a pedálok szabadon): figyeljük a tényleges töltőnyomást a gyártói értékhez képest.
6. Ha a töltőnyomás alacsony, végezzünk füstgépes szivárgásvizsgálatot a nyomóoldalon: a füstgép nyomását fokozatosan, max. 0,3–0,5 bar túlnyomásig emeljük (ellenőrizendő).
7. A szivárgó pontokat jelöljük meg, javítsuk (tömlő csere, szorítógyűrű utánhúzás).
8. Ha nincs szivárgás, ellenőrizzük a wastegate vagy VGT beavatkozót a rendszerteszter beavatkozó tesztjével: a lapátrácsnak egyenletesen, akadás nélkül kell mozognia.
9. Mérjük meg a kipufogó-ellennyomást terhelés alatt, hasonlítsuk a gyári határértékhez.
10. Dokumentáljuk a mérési eredményeket, a javítási lépéseket, és töröljük a hibakódot. Végezzünk próbautat.

Ellenőrzési pontok (példaértékek, ellenőrizendő): - Alapjáraton az abszolút szívócsőnyomás közelítőleg a légköri nyomás, a túlnyomás ≈ 0. - Teljes terhelésen, 3000 1/min-nél a töltőnyomás pl. dízelnél 1,3–1,6 bar túlnyomás (kb. 2,3–2,6 bar abszolút); benzinmotornál típusfüggő (ellenőrizendő: gyártói adat). - A kipufogó-ellennyomás terhelés alatt max. 0,5 bar. - A füstgép nyomása nem haladja meg a gyártó által megadott értéket.

Tipikus hibák. A mérés közben nem rögzítik a légköri nyomást, ezért a töltőnyomást rosszul értelmezik. A füstgép nyomását túl magasra állítják, ami a tömítéseket károsíthatja. A kipufogó-ellennyomás mérésekor nem meleg motorral dolgoznak, ezért a mérési eredmény nem reprezentatív.

Dokumentálás. A munkalapon tüntessük fel a jármű adatait, a környezeti feltételeket, a referenciaértékeket, a mért értékeket, az elvégzett műveleteket és a próbaút eredményét.

37.6.9. Tipikus hibák

1. **Abszolút és relatív nyomás összekeverése.** A szerelő a rendszerteszter abszolút nyomásértékét töltőnyomásként kezeli, és tévesen hibás turbót diagnosztizál. Helyes: mindig vonjuk le a légköri nyomást.
2. **Szivárgásvizsgálat sűrített levegővel, túl nagy nyomással.** A túlnyomás a töltőlevegő-hűtő vagy a tömlők megrepedését okozza. Helyes: a gyártói maximális nyomás betartása, lehetőleg füstgép használata.
3. **Fogyasztásmérés hibás tankolással.** A mérés előtt nem töltik tele a tankot, vagy másik kutat használnak. A kút eltérése és a habzás akár 5–10%-os hibát is okozhat. Helyes: azonos kút, azonos töltőpisztoly, lenyugodott tank, tele tankolás.
4. **A VGT/wastegate hibájának figyelmen kívül hagyása.** Ha a vákuum vagy elektromos aktuátor nem működik, a töltőnyomás alacsony, de a turbó mechanikusan ép. Helyes: a beavatkozó teszt elvégzése az alkatrészcsere előtt.
5. **A kipufogó-ellennyomás mérésének elhagyása.** A részecskeszűrős dízelnél a dugulás a teljesítmény és a fogyasztás romlását okozza, de a turbó tűnik hibásnak. Helyes: az ellennyomás mindig része a diagnosztikának.

37.6.10. Önellenőrzés

1. Egy diagnosztikai műszer 2,70 bar abszolút nyomást mutat teljes terhelésnél. A légköri nyomás 0,95 bar. Mekkora a töltőnyomás? (Számolja ki.)
2. Igaz-e: a füstgépes szivárgásvizsgálatot járó motornál is el lehet végezni?
3. Miért kell a kipufogó-ellennyomást üzemi hőmérsékleten, terhelés alatt mérni?
4. Mi a különbség az országúti és a próbapadi fogyasztásmérés között a gyakorlatban?
5. A szerelő szerint a 0,20 bar ellennyomás túl magas, és katalizátordugulásra utal. Mi a hiba az érvelésben?

A válaszokat lásd a Megoldások elején.

37.6.11. Feladatok

1. feladat (A). Számítsa ki az átlagfogyasztást, ha 46,8 l tüzelőanyag fogyott 620 km úton. Adja meg az értéket l/100 km-ben.

2. feladat (A). Egy turbónyomás-mérésnél a szívócsőben mért abszolút nyomás 2,35 bar, a légköri nyomás 1,00 bar. Mekkora a töltőnyomás? A gyártó 1,2–1,5 bar értéket ad meg; megfelel-e a mérés?

3. feladat (B). Egy görgős próbapadon a kerekeknél $F_v = 2\,800\,\mathrm{N}$ vonóerőt mérnek $v = 80\,\mathrm{km/h}$ sebességnél. Számítsa ki a kerékteljesítményt kW-ban. Tegyük fel, hogy a hajtáslánc vesztesége 15%; becsülje meg a motor teljesítményét is.

4. feladat (B). Rendszerteszterrel egy turbódízel motoron 1,80 bar kívánt és 1,20 bar tényleges abszolút nyomást rögzítünk. A füstgép vizsgálat nem talál szivárgást. Soroljon fel két további lehetséges okot, és indokolja, milyen méréssel zárná ki azokat.

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a fogyasztásmérést országúti és próbapadi módszerrel. Melyik előnye az ismételhetőség? Melyik tükrözi jobban a valós forgalmi viszonyokat? Válaszát indokolja.

6. feladat (D). Egy ügyfél panasza: „a turbó nem ad nyomást, az autó gyenge”, de a hibakód-tár üres. A rendszerteszterrel a tényleges töltőnyomás teljes terhelésen 1,00 bar abszolút, a légköri nyomás 0,97 bar. A wastegate működtetésekor a szelepzsák mozog, de a töltőnyomás nem változik. Hipotézise? Mit mérne ezután, és mi a valószínű hiba?

37.6.12. Megoldások

37.6.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. $p_{\text{boost}} = 2{,}70 - 0{,}95 = 1{,}75\,\text{bar}$.
2. Hamis. A füstgépes vizsgálatnál a motor nem járhat, mert a rendszeren lévő túlnyomás sérülést okozhat, és a motor a füstöt beszívná.
3. A kipufogórendszer hőtágulása és a kipufogógáz áramlási sebessége üzemi hőmérsékleten és terhelés alatt reális; hideg motornál az ellennyomás kisebb, ezért a mérés hamis eredményt adna.
4. Az országúti mérés a valós forgalomban, de kevésbé ismételhető; a próbapadi mérés szabványos ciklussal, ismételhetően, laboratóriumi körülmények között mér.
5. A 0,20 bar ellennyomás Otto-motoroknál akár normális is lehet; a konkrét gyártói határérték ismerete nélkül nem lehet dugulásra következtetni.

37.6.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat.

$$Q = \frac{46{,}8\,\text{l}}{620\,\text{km}} \cdot 100 = 7{,}55\,\frac{\text{l}}{100\,\text{km}}$$

Az eredmény reális, egy középkategóriás benzin- vagy dízelmotor átlagos fogyasztásának felel meg.

2. feladat.
Töltőnyomás $p_{\text{boost}} = 2{,}35 - 1{,}00 = 1{,}35\,\text{bar}$. Mivel $1{,}2 \le 1{,}35 \le 1{,}5$, a mérés megfelel a gyártói tartománynak.

3. feladat.
Először a sebességet m/s-ra váltjuk: $v = 80\,\text{km/h} = \frac{80}{3{,}6} = 22{,}22\,\text{m/s}$.
Kerékteljesítmény:

$$P_{\text{kerék}} = F_v \cdot v = 2\,800\,\text{N} \cdot 22{,}22\,\text{m/s} = 62{,}2\,\text{kW}$$

A hajtáslánc veszteség miatt a motorteljesítmény becslése:

$$P_{\text{motor}} \approx \frac{62{,}2}{0{,}85} = 73{,}2\,\text{kW}$$

(A veszteségarány 15%, tehát a hatásfok 0,85.)

4. feladat.
Ha a kívánt 1,80 bar, a tényleges 1,20 bar, és nincs szivárgás, akkor a lehetséges okok:

- A wastegate vagy VGT szabályozó hibája: a szelep nyitva ragadt, vagy a vákuum/elektromos aktuátor nem zár rendesen. Beavatkozó teszttel és a szeleppozíció-érzékelő jelének vizsgálatával ellenőrizhető.
- A turbófeltöltő mechanikus károsodása: kopott csapágy, sérült kompresszor- vagy turbinakerék, kokszosodott VGT lapátok. A tengelyjáték mérésével és a turbina oldali vizsgálattal deríthető ki.
- A kipufogó-ellennyomás túl magas: részben eltömődött kipufogórendszer vagy katalizátor/DPF. Az ellennyomás mérésével zárható ki.

5. feladat.
Az országúti mérés a valós forgalmi viszonyokat tükrözi, de nehezen ismételhető pontosan, mert az időjárás, a forgalom, a vezető hatása nagy. A próbapadi mérés laboratóriumi körülmények között, szabványos ciklussal ismételhető, de a valós forgalmi hatások (szél, emelkedő) modellezése közelítő. Az ismételhetőség a próbapad előnye, a valós forgalmi viszonyokhoz az országúti mérés áll közelebb.

6. feladat.
Mivel a tényleges töltőnyomás gyakorlatilag a légköri nyomás (1,00 vs 0,97 bar), a turbó nem tölt. A wastegate mozog, de nincs hatás, tehát a szabályozás nem zár. Lehetséges ok: a wastegate-szelep nem zár teljesen (pl. a szelepülék kopott, a rúd beállítása rossz, vagy a nyomásvezérlő szelep hibás), vagy a turbó kompresszor kereke sérült és nem szállít levegőt. Következő mérés: a kompresszor nyomóoldalán mért nyomás közvetlenül a turbó után; ha ott sincs nyomásemelkedés, a turbó kereke vagy a szabályozás a hiba. A tengelyjáték ellenőrzése és a kompresszorkerék szemrevételezése után a wastegate zárásának ellenőrzése következik.

37.6.13. Rövid összefoglaló

A levegőellátás, a kipufogórendszer és a turbófeltöltő diagnosztikája a mérési adatokra épül. A töltőnyomás a légköri nyomás feletti túlnyomás, ezért az abszolút nyomás értékéből mindig le kell vonni a környezeti légnyomást. A levegőellátó hiba gyakori oka a nyomóoldali szivárgás, amelyet füstgéppel lehet jól kimutatni. A kipufogó-ellennyomás mérésével a katalizátor, a részecskeszűrő vagy a dob dugulása deríthető ki üzemi hőmérsékleten, terhelés alatt. A turbófeltöltő – a Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés alfejezetben megismert – egészségét tengelyjátékkal, olajszivárgással, a töltőnyomás kívánt/tényleges eltérésével és a wastegate/VGT beavatkozó tesztjével ellenőrizzük. A fogyasztás mérése országúton tele tankkal, azonos kút és körülmények között történik: $Q = V/s \cdot 100$ l/100 km. A görgős próbapad a kerekeken leadott vonóerőt méri, és abból számítja a teljesítményt $P = F_v \cdot v$, a hajtáslánc veszteségét becsüli. A méréseket mindig a gyártói adatokhoz és határértékekhez viszonyítjuk. **Továbbvitt eredmény:** a töltőnyomás-, ellennyomás- és fogyasztásvizsgálat lépéseit a Vizsgafelkészülés komplex hibakeresési feladataiban alkalmazzuk.

37.6.14. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a stabil fizikai, áramlástani és műszaki alapokra épül, jogszabályi hivatkozást nem igényelt. A megadott gyártói értékek – töltőnyomás-tartomány, maximális füstgépnyomás, kipufogó-ellennyomás határ, hibakódok, tengelyjáték – tanulási példák, és minden esetben ellenőrizendők a gyártói javítási adatok vagy a típusdokumentáció alapján. A fedélzeti diagnosztikai hibakódok értelmezése a Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás és a Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD alfejezetekben tárgyalt szabványok szerint történik; a konkrét kódok típusonként eltérhetnek. A próbapadi mérési ciklus és a menetellenállási modell pontossága a mérőberendezés kalibrálásától és a beállított járműadatoktól függ, ezért a mérési jegyzőkönyvben a körülményeket dokumentálni kell.

38 Futómű- és fékdiagnosztika

38.1. Futóműbemérés

38.1.1. Motiváció

Az autó a szervizbe azzal a panasszal érkezik, hogy egyenes országúton is folyamatosan jobbra húz, a kormánykerék balra áll, és a jobb első gumiabroncs belső éle fűrészfogszerűen kopott. A tulajdonos először gumiabroncs-cserét kér, pedig a tünetek nagy valószínűséggel nem gumi-, hanem futómű-geometriai hibára utalnak. Ugyanezt a helyzetet látjuk akkor is, amikor egy kormánymű-, lengőkar- vagy lengéscsillapító-csere után a hibafelvevő munkalapra „futóműbemérés” kerül. Futóműbemérés nélkül a beállítás csak „szemre” történne, amivel a hibát a tünet szintjén kezelhetnénk, nem az ok szintjén. Ebben az alfejezetben a mérés vonatkozási rendszerétől a mérőműszereken át a mérési lap értelmezéséig haladunk.

38.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy futóműbemérő állomást. A jármű emelőpadon vagy mérőakna fölött áll. Az első kerekek forgatható, csúszó platformokon nyugszanak, hogy a kormányzás közben a kerék szabadon elfordulhasson; a hátsó kerekek görgőkön vagy csúszólapokon helyezkednek el. Mind a négy keréktárcsára rugós vagy vákuumos rögzítővel mérőfejet vagy mérőcélpontot szerelnek. A mérőfejek a kerék hosszirányához képest mérik a dőlésszögeket, a forgatás során felvett térbeli mozgásból pedig a kormányzási tengely jellemzők is kiszámíthatók. Az adatok vezetékmentesen vagy vezetéken a központi számítógépbe jutnak; a képernyőn a bal/jobb első és hátsó kerékértékek, valamint az eltérések színesen jelölt tűréssávjai láthatók. A szerelő nemcsak az értékeket, hanem azok egymáshoz viszonyított mintázatát is olvassa.

38.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Geometriai menetirány (thrust axis). A futóműbemérésnél az az irány, amely felé a jármű a hátsó kerekek beállítása szerint egyenesen haladni akar, ha az első kerekek nem kormányoznak. A geometriai menetirányt elsősorban a hátsó tengely oldalirányú beállítása határozza meg. Ha a hátsó tengely a jármű hossztengelyéhez képest ferde, a geometriai menetirány nem esik egybe a karosszéria hossztengelyével.

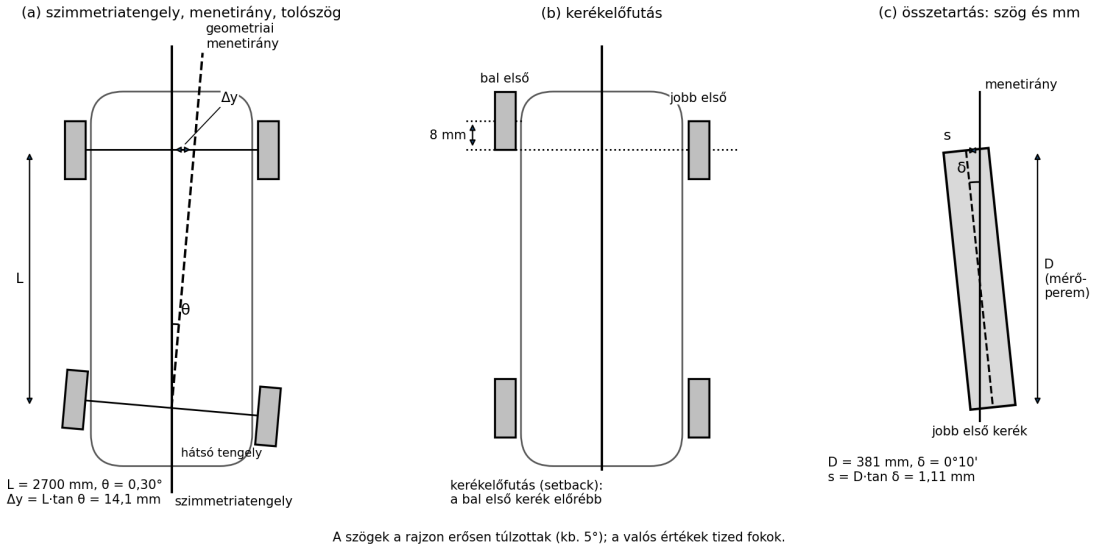
Definíció. Szimmetriatengely (vehicle centreline). A jármű hosszirányú középvonala, amelyet a gyártó a karosszéria, illetve a tengelyek geometriai középpontjai alapján rögzít. A futóműbemérő rendszer ezt a vonalat használja viszonyítási alapként a tengelyek hossz- és oldalirányú helyzetéhez.

Definíció. Tolószög (thrust angle). A szimmetriatengely és a geometriai menetirány közötti szög. Ha a hátsó tengely jobbra fordul el, a tolószög balra mutat, illetve fordítva. A tolószög az egyik leggyakoribb oka a kormánykerék ferde állásának egyenes menetben.

Definíció. Kerékelőfutás (setback). Az egyik tengely két kerekének hosszirányú eltérése egymáshoz képest. Ha például a bal első kerék hosszirányban 8 mm-rel előrébb van a jobb elsőnél, a jármű félrehúzhat, és a fékhatás is aszimmetrikussá válhat.

A korábbi Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők alfejezetben már bevezetett paramétereket – kerékdőlés, csapterpesztés, utánfutás, legördülési sugár, kerékösszetartás – itt mérési, diagnosztikai szerepükben használjuk. A kerékösszetartást mérési lapon szögben és milliméterben is megadják. A kettő közötti átszámítás az $s = D \cdot \tan\delta$ összefüggéssel közelíthető, ahol D a mérőperem átmérője, δ pedig a kerékösszetartási szög.

Szabály. A mm-ben megadott kerékösszetartás nem abszolút érték; ugyanaz a szögérték a nagyobb mérőperem-átmérőn nagyobb milliméter-értéket ad. Ezért a mérési lapon mindig a szögértéket és a gyártói tűrésmezőt kell együtt értelmezni.



38.1. ábra. A futóműbemérés viszonyítási rendszere felülnézetben (a szögek túlzottak)

Az (a) részábrán a hátsó tengely elfordulása miatt a geometriai menetirány (szaggatott) θ tolószöggel tér el a szimmetriatengelytől; az első tengelynél ez $\Delta y = L \cdot \tan\theta$ oldalirányú eltérést jelent (a kidolgozott példa adataival 14,1 mm). A (b) részábra a kerékelőfutást (a bal első kerék 8 mm-rel előrébb), a (c) egy kerék összetartási szögét és a mérőperemen mért $s = D \cdot \tan\delta$ távolságot mutatja (381 mm-es peremen $0°10' \approx 1{,}1$ mm). A HTML-változatban θ, L, δ és D csúszkával állítható.

38.1.4. Felépítés és működés

A futóműbemérés feladata nem csupán a kerekek párhuzamossá tétele, hanem annak ellenőrzése, hogy minden, az egyenesfutást és a kormányvisszatérést meghatározó jellemző a gyártó tűrésmezőjén belül van-e. A mérési eredményeket mindig a járműgyártó által megadott vonatkoztatási rendszerben kell értelmezni.

A műszeres mérés alapelve az, hogy a kerékre rögzített mérőfej a kerék térbeli helyzetét méri. A hagyományos, optikai vagy kontakt rendszereknél a mérőfejek közvetlenül a kormányzási tengely jellemzőinél használnak forgó idomokat; a modern, ipari 3D-s rendszereknél a keréktárcsán rögzített mérőcélpontokat kamerák figyelik. Amikor a szerelő a kormányt a mérési eljárás szerint elforgatja, a mérőcélpontok térbeli pályájából a rendszer kiszámítja a csapterpesztést

és az utánfutást is, hasonlóan ahhoz, ahogy ezeket a paramétereket a Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők alfejezetben definiáltuk.

A mérőfejek felfogatása a keréktárcsa pereméhez illeszkedő adapterrel történik. A fejeket úgy kell rögzíteni, hogy a tárcsa középsíkjához viszonyított helyzetük ismert legyen. A felhelyezés előtt a felfekvő felületeket meg kell tisztítani, mert a peremre tapadt szennyeződés vagy korrózió hamis szögeltérést okoz. A keréktárcsa maga nem tökéletes sík; ezért minden mérés előtt szükséges a **keréktárcsaütés-kompenzáció**. Ennek során a kereket felemelve vagy a mérőplatform segítségével elforgatva a rendszer megméri a tárcsa ütését, és ezt a hibát levonja a mért kerékszögekből. Ha a tárcsa deformációja túl nagy, a kompenzálás nem segít, és a tárcsát ki kell cserélni. Az eljárást a gyártó mérőberendezésre vonatkozó utasítása szerint kell végrehajtani.

A méréshez a járművet elő kell készíteni. A gumiabroncsnyomást hideg abroncson, a gyártó címkéjén megadott értékre kell beállítani; a kerekek méretét, DOT-adatait és a futófelület állapotát a Kerekek és gumiabroncsok alfejezetben tanultak szerint ellenőrizni kell. Ha a két oldalon eltérő a futófelület-mintázat vagy jelentősen eltér a kopás, a mérési lap meghamisíthatja a geometriai következtetéseket. A kormányt középállásba kell hozni; a rögzítőféket a mérőberendezés utasítása szerint kell kezelni, a kormánykitéréses (utánfutás-, csapterpesztés-) méréshez pedig a fékpedált fékpedál-rögzítővel lenyomva kell tartani (ellenőrizendő: mérőberendezés-utasítás). A járműnek a gyártó által előírt terhelési állapotban kell lennie (például üres, fél tank vagy vezető tömegét szimuláló ballaszt). A pontos előírást a gyártói adatbázis tartalmazza; ettől eltérni csak indokolt, dokumentált módon szabad.

A mérési jegyzőkönyv tipikus sorai: bal/jobb első kerékdőlés, bal/jobb első kerékösszetartás, teljes első összetartás, bal/jobb utánfutás, bal/jobb csapterpesztés, bal/jobb hátsó kerékdőlés, bal/jobb hátsó kerékösszetartás, tolószög, kerékelőfutás, valamint a gyártói gyorsjegyzékben szereplő egyéb tengelyhelyzet-értékek. A mérési lapon az eltéréseket a szoftver pirossal jelöli, a beállítható és nem beállítható paramétereket általában külön csoportba sorolja.

A leggyakoribb tengelyhelyzet-hibák és jellemzőik a következő táblázatban foglalhatók össze.

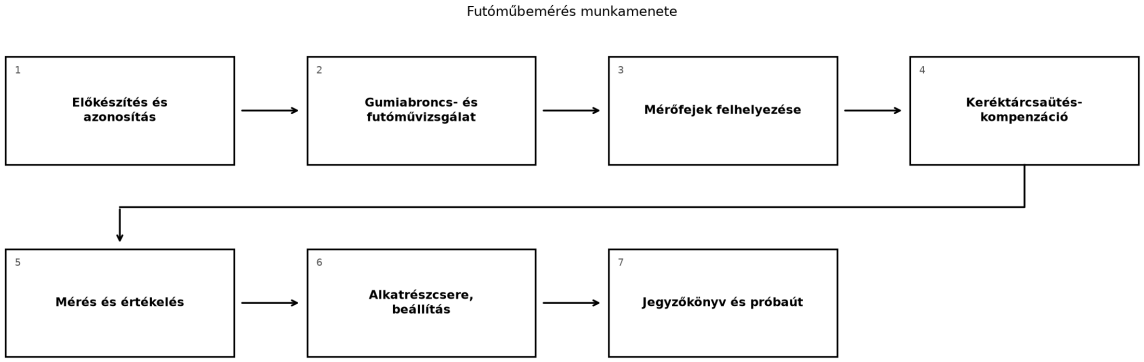
Mért paraméter (mértékegység)	Mit mutat	Szemléltető tűrésmező	Eltérés tipikus tünete	Gyakori ok
Hátsó tolószög (°)	hátsó tengely iránya a szimmetriatengelyhez képest	$0^\circ \pm 0^\circ 15'$	kormány ferde, félrehúzás	elhajlott hátsó futóműkar, sérült szilent
Első kerékdőlés (°)	kerék dőlése függőlegeshez képest	$-0^\circ 30' \pm 0^\circ 30'$	belső/külső éles abroncskopás, félrehúzás	elgörbült lengőkar, törött rugó
Első utánfutás (°)	kormány visszatérítő nyomaték	$4^\circ 00' \pm 0^\circ 30'$	rossz visszatérés, iránytartási zavar	elhajlott toronylemez, ütközéses sérülés
Első kerékösszetartás (°, mm)	kormányzott kerekek párhuzamossági hibája	$0^\circ 10' \pm 0^\circ 10'$	fűrészfog-kopás, ideges kormányzás	rossz beállítás, kopott vonórúdvég
Kerékelőfutás (mm)	azonos tengely kerekeinek hosszirányú eltérése	$0 \pm 5\,\text{mm}$	félrehúzás, aszimmetrikus fékhatás	sérült felfüggesztés, karosszéria-deformáció

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

A beállítást mindig a mérési eredmények és a szemrevételezés együttese alapján kell megtervezni. Ha például a jobb első kerékdőlés jelentősen eltér, de a bal első kerékdőlés jó, akkor először a jobb oldali lengőkar, szilent, gömbcsukló és rugó állapotát kell ellenőrizni. Az utánállítás ugyanis a sérült alkatrész cseréje nélkül nem tartja meg a beállított értéket; ezt a munkafolyamatot a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetben részletesen tárgyaljuk.

Az ADAS-kalibrálás kapcsolata a futóműbeméréshez akkor lép fel, ha a beállítás, a futóműalkatrész-csere vagy a kormányszög-érzékelő nullpontjának változása megváltoztatja a jármű egyenesfutási jellemzőit. Ilyenkor a gyártó gyakran előírja az elülső kamera, a radar, illetve a kormányszög-érzékelő kalibrálását is, mert a vezetőtámogató rendszer a jármű geometriájára vonatkoztatva dönt. A kalibrálás részleteit a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk alfejezetben tárgyaljuk; itt elég annyi, hogy a futóműbemérési jegyzőkönyv és a jármű tényleges geometriai szimmetriája bemenő adat az ADAS-kalibráláshoz.

A mérési folyamatot áttekintő lépéssor:



38.2. ábra. Futóműbemérés munkamenete - Szemléltető folyamat; a tényleges sorrendet a mérőberendezés és a gyártói utasítás határozza meg.

Az ábra nélkül is követhető: a jármű előkészítése után a mérőfejeket fel kell helyezni, a tárcsaütést kompenzálni kell, a mérést el kell végezni, majd a hibás alkatrészek cseréje és a beállítás után a járművet újra mérni kell, végül a munkát jegyzőkönyvvel és próbaúttal zárjuk.

38.1.5. Kidolgozott példák

Példa. Kerékösszetartás átszámítása. Adott egy futóműbemérési jegyzőkönyv, amelyen a gyártói megadott teljes első kerékösszetartás $0^\circ 10'$, a mérőperem-átmérő $D = 381\,\text{mm}$. Számítsa át a szögértéket milliméterre a mérőperemnél.

Megoldás.
$\delta = 0^\circ 10' = 0{,}1667^\circ$
$\tan(0{,}1667^\circ) = 0{,}002909$
$s = D \cdot \tan\delta = 381\,\text{mm} \cdot 0{,}002909 = 1{,}11\,\text{mm}$
Tehát a gyártói összetartás ezen a mérőperemen körülbelül 1,1 mm. Ugyanezt a szöget nagyobb, 406 mm-es mérőperemre átszámítva 1,18 mm adódna; ezért a mm-értéket önmagában nem használjuk. ∎

Példa. Tolószög hatása az első tengelynél. Egy jármű mérési lapján a tolószög $\theta = 0{,}30^\circ$, a tengelytáv $L = 2700\,\text{mm}$. Kérdés, mekkora oldalirányú eltérést mutat az első tengely magasságában a geometriai menetirány a szimmetriatengelyhez képest.

Megoldás.
Az oldalirányú eltérés közelítőleg:
$\Delta y = L \cdot \tan\theta$
$\Delta y = 2700\,\text{mm} \cdot \tan(0{,}30^\circ)$
$\tan(0{,}30^\circ) = 0{,}005236$
$\Delta y = 2700\,\text{mm} \cdot 0{,}005236 = 14{,}1\,\text{mm}$
A geometriai menetirány tehát az első tengely magasságában kb. 14 mm-rel tér el a szimmetriatengelytől; a jármű enyhén ferdén halad, ezért egyenes menetben a kormányt el kell fordítani. Ez jól magyarázza a ferde kormányállást: az első kerekeket a geometriai menetirányhoz kell igazítani, miközben a vezető a karosszéria hossztengelyét próbálja az úthoz tartani. ∎

38.1.6. Minőségellenőrzés

A futóműbemérés minőségellenőrzése akkor megbízható, ha a következőket ellenőriztük:

- A jármű azonosítása és a mérőberendezés adatbázisában szereplő típus, alvázszám, motor- és felszereltségi kód egyezik-e a gyártói mérési értékekkel.
- A gumiabroncsnyomás hideg, a méretek azonosak, a futófelület egyenletes; a kerékcsavarok a gyártói nyomatékkal meghúzva.
- A futómű alkatrészein nincs szabad holtjáték, repedt szilent, elgörbült alkatrész vagy szivárgó lengéscsillapító.
- A mérőfejek és adapterek tiszták, károsodásmentesek; a keréktárcsaütés-kompenzáció lefutott.
- A mérés után a kiértékelő lapon a szögértékeket és nemcsak a mm-ben kifejezett értékeket hasonlítjuk a gyártó tűrésmezőjéhez.
- A beállítást követően a járművet újra mérték; a rögzítőelemeket a gyártói nyomatékra húzták.
- Próbaút során egyenes úton nincs félrehúzás, a kormány középállásban áll, és az ESP/ADAS-rendszer nem jelez hibát.

Előírás. A futóműbemérés mérendő és beállítandó értékeit a járműgyártó adatbázisa határozza meg. A beállítás csak a gyártói tűrésmezőkön belül tekinthető megfelelőnek. A mérőberendezést a gyártó utasítása szerint kell kalibrálni, és a mérési munkalapot a járműadatokkal, a mért értékekkel és az elvégzett javításokkal együtt meg kell őrizni (ellenőrizendő: aktuális gyártói adat).

38.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy középkategóriás személyautó balra húz, a kormánykerék pedig egyenes menethez semleges helyett 5–10 fokkal jobbra áll. Az ügyfél szerint a gumiabroncsok újak, ezért „nem lehet abroncshiba”.

A futóműbemérés során a tolószög $\theta = 0{,}35^\circ$, az első kerékösszetartás bal oldalon $0{,}05^\circ$, jobb oldalon $-0{,}12^\circ$, a jobb első kerékdőlés pedig $-1^\circ 20'$ a gyártó $-0^\circ 30' \pm 0^\circ 30'$ tűrésével szemben (ellenőrizendő gyártói érték). A szerelő nem azonnal állít, hanem szemrevételezni kezd. A jobb első lengőkar alsó szilent gumija kilépett, a lengőkar enyhén elhajlott, a jobb hátsó keréknél pedig a kerékcsapágyban enyhe holtjáték érezhető.

A diagnosztikai lánc a következő:

1. **Tünet:** balra húz, ferde kormány, jobb első abroncs belső kopása.
2. **Hipotézis:** a jobb első kerékdőlés és a hátsó tengely tolószöge miatt a jármű geometriai menetiránya eltér a szimmetriatengelytől; az első kerékösszetartás hibája tovább növeli a húzást.
3. **Mérés:** futóműbemérő padon ellenőrzött szögértékek és holtjáték-vizsgálat.
4. **Ok:** elhajlott jobb első lengőkar, sérült szilent, kopott hátsó kerékcsapágy; ezek közös oka nagyobb útpadka-ütés lehetett.
5. **Javítás:** a sérült alkatrészek cseréje, majd új futóműbemérés, a kerékösszetartás és a hátsó tengely beállítása a gyártói tűrésmezőn belülre.
6. **Ellenőrzés:** a mérési lap már a tűrésmezőn belül van, próbaúton a kormány középállásban, egyenes pályán nincs félrehúzás, az abroncskopás újraindulva nem fokozódik.
7. **Megelőzés:** az ütközésre utaló mérési értékeknél mindig teljes futómű-ellenőrzést kell végezni, nemcsak beállítani.

38.1.8. Gyakorlati útmutató

A következő munkalap a futóműbemérés előkészítését és a mérési folyamatot szemlélteti tanműhelyi környezetben.

Cél: a kerékbeállítási és tengelyhelyzet-értékek mérése, kiértékelése, majd a szükséges beállítás és ellenőrzés elvégzése.

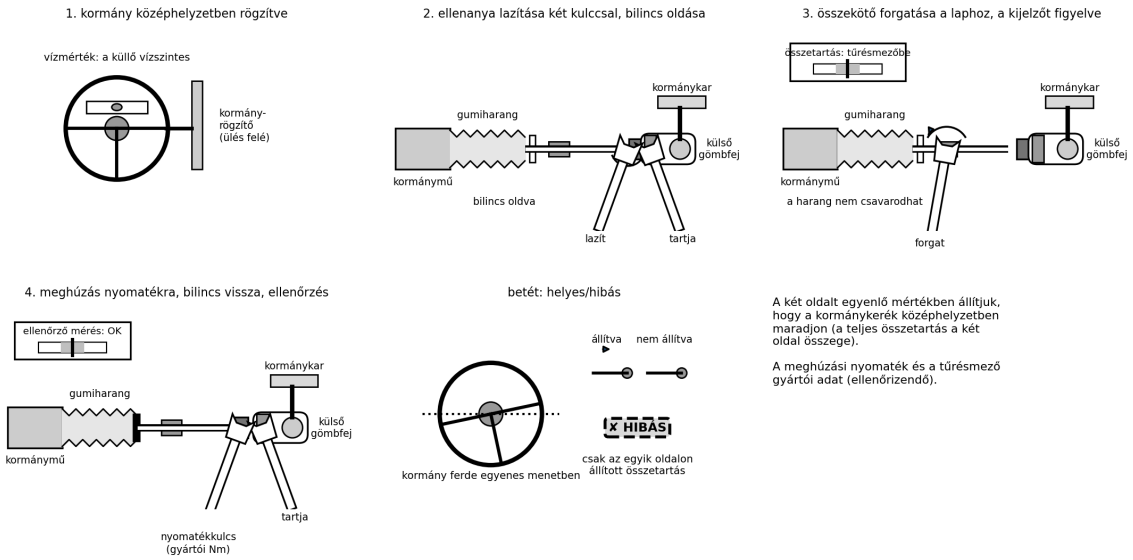
Jármű- és adatazonosítás: rendszám, alvázszám, típus, motorszerkezet, felszereltségi kód, gyártói mérési adatbázis-verzió, futómű- és gumiméret. Az adatokat a munkalapon rögzíteni kell.

Szükséges szerszámok és mérőeszközök: futóműbemérő mérőplatform, mérőfejek/adapterek, nyomatékkulcs, kézi nyomásmérő, fékpedál-rögzítő, kormányrögzítő, emelő és bakok, tolómérő vagy hézagmérő a szemrevételezéshez, diagnosztikai rendszerteszter az ESP- és kormányszög-érzékelő ellenőrzéséhez, ADAS-kalibráló eszközök, ha a gyártó előírja.

Anyagok: megfelelő rögzítőelemek a gyártói előírás szerint (ahol a gyártó kéri, új csavaranyagok), tisztító- és zsírtalanító anyagok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. Csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos; az alváz alatti munkát a gyártói emelési pontokon elhelyezett bakokkal kell megtámasztani. A mérőplatform mozgó részei között a kéz beszorulása ellen kesztyűt és odafigyelést igényel; a kerekek elforgatásakor a mérőfejeket és a kezet a tárcsaperemtől távol kell tartani.



38.3. ábra. Az összetartás beállítása a kormányösszekötőn – képsor (sematikus vonalrajz)

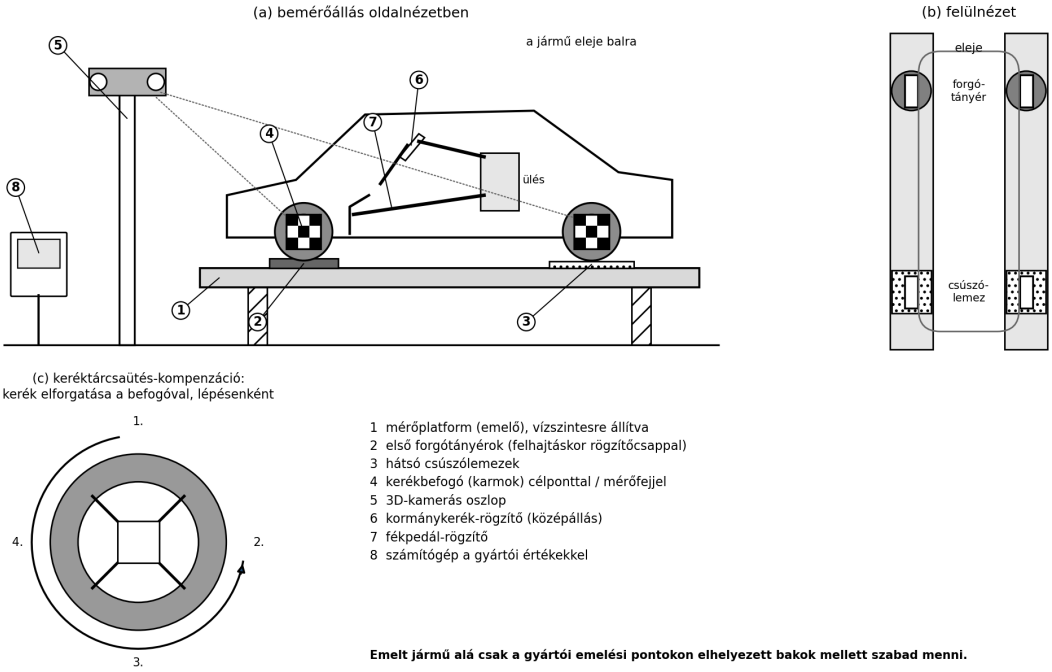
A képsor a 9. munkalépés beállítási fogását mutatja: (1) a kormánykerék vízszintes középhelyzetben rögzítve; (2) a külső gömbfej ellenanyáját két kulccsal lazítjuk (az egyik a gömbfejet tartja), a gumiharang külső bilincsét oldjuk; (3) a kormányösszekötőt a laposainál forgatjuk, a kijelzőt figyelve, a gyártói tűrésmezőbe; (4) az ellenanyát nyomatékkulccsal meghúzzuk (gyártói adat), a bilincset visszahelyezzük, ellenőrző mérést végzünk. Ha csak az egyik oldalon állítunk, a kormánykerék egyenes menetben ferdén áll.

Munkalépések:

1. Ellenőrizze a jármű azonosító adatait, és válassza ki a megfelelő mérési programot.
2. Állítsa a járművet a mérőplatformra; rögzítse elgurulás ellen.
3. Ellenőrizze hidegen a gumiabroncsnyomást, a méretet, a gumiabroncs-oldalfalon lévő jelöléseket és a futófelület állapotát; a hiányzó vagy eltérő keréknél javítson, mielőtt mérne.
4. Szemrevételezéssel és holtjáték-vizsgálattal keresse a kopott, repedt vagy elhajlott futóműalkatrészeket; a hibás alkatrészt cserélje, mielőtt a beállítási munkát elvégezné.
5. Helyezze fel a mérőfejeket a keréktárcsa peremére a gyártó adaptereivel; ügyeljen a tiszta felfekvő felületre.
6. Rögzítse a kormányt középállásban; a kormánykitéréses mérés előtt helyezze fel a fékpedálrögzítőt, a rögzítőféket pedig a mérőberendezés utasítása szerint kezelje.
7. Futtassa le a mérési programot; a keréktárcsaütés-kompenzációt végezze el a mérőberendezés utasítása szerint.
8. Olvassa le és értékelje a mérési lapot; hasonlítsa a szögértékeket a gyártói tűrésmezőhöz.
9. A szükséges alkatrészcsere után végezze el a beállítást, majd mérje meg újra; a rögzítőelemeket a gyártói nyomatékra húzza.
10. Készítsen jegyzőkönyvet a mért értékekről, a cserélt alkatrészekről és a beállítási értékekről; végezzen próbautat, és szükség esetén ADAS-kalibrálást.

Dokumentálás: munkalap, futóműbemérési jegyzőkönyv, szervizkönyv, a diagnosztikai tesztkészülék mentett adatai.

38.1.9. Keréktárcsaütés-kompenzáció és mérés – eljárás



38.4. ábra. A futóműbemérő állás a járművel (sematikus vonalrajz)

Az ábrán a vízszintesre állított mérőplatformon (1) az első kerekek forgótányéron (2), a hátsók csúszólemezen (3) állnak, így beállításkor a kerék feszültség nélkül mozdulhat; a kerékbefogókon (4) lévő célpontokat a kamerás oszlop (5) figyeli; a kormánykerék-rögzítő (6) középállásban tartja a kormányt, a fékpedál-rögzítő (7) a kerekek elgurulását gátolja; a számítógép (8) a gyártói értékeket adja. A (c) betét a keréktárcsaütés-kompenzációt mutatja: a kereket a jelzett helyzetekbe forgatjuk és rögzítjük. A HTML-változatban az elemekre mutatva a nevük és a munkalépés jelenik meg.

Eljárás. A mérőrendszeren végrehajtott kompenzáció és mérés lépései:

1. Ellenőrizze, hogy a mérőfejek és adapterek felfekvő felületei tiszták-e.
2. Emelje a kereket a mérőplatform segítségével úgy, hogy a kerék szabadon elfordulhasson.
3. Indítsa el a kompenzációs programot; forgassa a kereket a gép által jelzett szögbe, és rögzítse.
4. Ismételje meg a forgatási pontokat a teljes tárcsakör mentén a mérőrendszer utasításai szerint.
5. Engedje vissza a kereket a platformra; ellenőrizze, hogy a mérőfej továbbra is stabilan ül.
6. Végezze el a mérést a program szerint, beleértve a kormány elforgatását a kormányzási tengely jellemzők meghatározásához.
7. Ellenőrizze a kivetített mérési lap értékeit; ha bármely érték a mérési tartományon kívül esik vagy a mérőfej hiányos jelet ad, ismételje meg a kompenzációt.

38.1.10. Tipikus hibák

Hiba. Csak mm-ben ellenőrzött kerékösszetartás. A szerelő a gyártói adatban megadott mm-értéket használja annak ismerete nélkül, hogy az melyik mérőperem-átmérőre vonatkozik.

Így hibás beállítást kaphat. A helyes gyakorlat: a szögértéket is ellenőrizni, és a mérőrendszer által megadott átmérő szerint dolgozni.

Hiba. Kopott alkatrész felett beállítás. Ha a lengőkar vagy a szilent holtjátéka miatt a kerékdőlés mérési értéke nem állandó, a futóműbemérő padon beállított érték terhelés alatt eláll. Ezért először a holtjátékot és az alkatrészek állapotát, majd magát a beállítást kell elvégezni.

Hiba. A keréktárcsaütés-kompenzáció kihagyása. A deformált tárcsa vagy a szennyezett felfekvés hamis kerékdőlési, illetve összetartási hibát mutathat; a szerelő ilyenkor olyan alkatrészt cserél, amely nem hibás. A kompenzálási lépést minden mérés előtt végre kell hajtani.

Hiba. Azonos oldalra húzó panasz vizsgálata a tolószög kiolvasása nélkül. A szerelő csak az első kerékösszetartást ellenőrzi, pedig a ferde kormányt gyakran a hátsó tengely tolószöge okozza. A mérési lap minden tengelyhelyzet-értékét egyszerre kell értékelni.

38.1.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A kerékösszetartás mm-ben megadott értéke független a mérőperem átmérőjétől. Válasz: hamis; indoklás: $s = D \cdot \tan\delta$.
2. Mit jelent a tolószög?
   Válasz: a szimmetriatengely és a geometriai menetirány közötti szög.
3. Mennyi a kerékösszetartás mm-ben, ha $\delta = 0{,}10^\circ$ és $D = 406\,\text{mm}$?
   Válasz: $406 \cdot \tan(0{,}10^\circ) = 0{,}71\,\text{mm}$.
4. A mérési lapon a jobb első kerékdőlés $-1^\circ 20'$, a bal első kerékdőlés $-0^\circ 20'$. Melyik abroncs belső vagy külső éle kopik valószínűleg?
   Válasz: a jobb első kerék túl negatív dőlése miatt a belső éle kopik jellemzően, ha a vezető nem ellenkompenzál.
5. Miért kell a keréktárcsaütés-kompenzáció?
   Válasz: mert a tárcsa nem tökéletes sík, és az ütése hamis szögértéket adna.
6. Mikor kell ADAS-kalibrálás a futóműbemérés után?
   Válasz: ha a jármű gyártója előírja, jellemzően olyan beállítás vagy alkatrészcsere után, amely az egyenesfutást vagy a kormányszög-érzékelő nullpontját befolyásolja.

38.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a geometriai menetirány és a szimmetriatengely különbségét, és nevezze meg a köztük lévő szög nevét.

2. feladat (A). Adott $D = 406\,\text{mm}$ mérőperem-átmérő és $\delta = 0{,}12^\circ$ kerékösszetartási szög. Számítsa ki a mm-ben kifejezett kerékösszetartást két tizedesjegyre.

3. feladat (B). Egy mérési lap szerint a hátsó tolószög $0{,}25^\circ$, az első kerékösszetartás bal oldalon $+0{,}10^\circ$, jobb oldalon $+0{,}10^\circ$. A gumiabroncsok nyomása megfelelő, a futóműalkatrészek szemrevételezése nem mutat holtjátékot. Mi a legvalószínűbb tünet próbaúton, és miért?

4. feladat (B). Rakja sorrendbe a következő munkalépéseket, és indokolja a helyes sorrendet: a) mérőfejek felhelyezése, b) gumiabroncsnyomás ellenőrzése, c) keréktárcsaütés-kompenzáció, d) futómű-jegyzőkönyv kinyomtatása, e) kormány középállásba állítása, f) hiba- és holtjáték-szemrevételezés.

5. feladat (C). Egy jármű tengelytávja $L = 2600\,\text{mm}$, a mért tolószög $\theta = 0{,}20^\circ$. Mekkora oldalirányú eltérést mutat az első tengely magasságában a geometriai menetirány a szimmetriatengelytől? Értelmezze, miért okozhat ez ferde kormányállást egyenes menetben.

6. feladat (D). Egy ügyfélautó balra húz, a kormány jobbra áll, és a bal első abroncs külső éle gyorsabban kopik. A mérési lap szerint a bal első kerékdőlés $+1^\circ 10'$, a jobb első kerékdőlés $-0^\circ 20'$, az első kerékösszetartás mindkét oldalon $0^\circ 08'$, a hátsó tolószög $0^\circ 05'$. Milyen vizsgálatot végezzen a szerelő a beállítás előtt? Adja meg a legvalószínűbb alkatrész-okot és a javítási sorrendet.

38.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis; a mm-érték függ a mérőperem átmérőtől, mert $s = D \cdot \tan\delta$.

2. A szimmetriatengely és a geometriai menetirány közötti szög.

3. $s = 406\,\text{mm} \cdot \tan(0{,}10^\circ) = 406 \cdot 0{,}001745 = 0{,}71\,\text{mm}$.

4. A jobb első kerék belső éle kopik valószínűleg a túl negatív dőlés miatt.

5. A keréktárcsa ütése hamis szögértéket okoz; a kompenzálás ezt méri és levonja.

6. Ha a gyártó előírja, különösen a kormányszög-érzékelő nullpontja, a kamerák vagy radarok viszonyítási geometriájának változásakor.

1. feladat megoldása. A geometriai menetirány a hátsó kerékbeállítás szerint kijelölt tényleges egyenes haladási irány, a szimmetriatengely a jármű hosszirányú középvonala. A köztük lévő szög a tolószög.

2. feladat megoldása.
$s = D \cdot \tan\delta$
$s = 406\,\text{mm} \cdot \tan(0{,}12^\circ)$
$\tan(0{,}12^\circ) = 0{,}002094$
$s = 406 \cdot 0{,}002094 = 0{,}85\,\text{mm}$.

3. feladat megoldása. A tolószög $0{,}25^\circ$ a hátsó tengely ferdeségét mutatja; az első kerékösszetartás szimmetrikus, tehát a jármű a geometriai menetirányhoz igazodva ferdén halad, a kormánykerék elfordítva áll. A legvalószínűbb tünet: egyenes menethez elfordított kormánykerék; folyamatos oldalirányú húzás tiszta tolószöghibánál nem lép fel.

4. feladat megoldása. Helyes sorrend: b) gumiabroncsnyomás ellenőrzése, f) hiba- és holtjáték-szemrevételezés, e) kormány középállásba állítása, a) mérőfejek felhelyezése, c) keréktárcsaütés-kompenzáció, d) futómű-jegyzőkönyv kinyomtatása. Indoklás: először a jármű előkészítése és a biztonsági/hibás állapotok felmérése, majd a mérőeszközök rögzítése és kompenzálása, végül a mérési eredmény dokumentálása.

5. feladat megoldása.
$\Delta y = L \cdot \tan\theta$
$\Delta y = 2600\,\text{mm} \cdot \tan(0{,}20^\circ)$
$\tan(0{,}20^\circ) = 0{,}003491$
$\Delta y = 2600 \cdot 0{,}003491 = 9{,}1\,\text{mm}$.

A geometriai menetirány az első tengely magasságában csaknem 1 cm-rel tér el a szimmetriatengelytől; a jármű enyhén ferdén halad, ezért egyenes menetben a kormányt el kell fordítani, ami a kormánykerék ferde állásaként jelenik meg.

6. feladat megoldása. A mérési lap szerint a bal első kerékdőlés pozitív, tehát a bal első kerék teteje kifelé dől; ez okozhat külső éles abroncskopást. A beállítás előtt meg kell vizsgálni a bal első felfüggesztést: alsó/felső lengőkar, szilent, gömbcsukló, rugó, csapágy, és meg kell nézni, van-e ütközésnyom. A kerékdőlés-különbség ($+1^\circ 10'$ a bal, $-0^\circ 20'$ a jobb oldalon, a különbség $1^\circ 30'$) a pozitívabb dőlésű bal oldal felé húzza a járművet, ezért a panasz iránya (balra húz) összhangban van a mért értékekkel. A legvalószínűbb ok a bal első felfüggesztési alkatrész elhajlása vagy a felső torony/fészek sérülése. Javítási sorrend: a sérült alkatrész cseréje, majd futóműbemérés, kerékdőlés és összetartás beállítása, végül próbaút. Ha a gyártó előírja, ADAS-kalibrálás is szükséges.

38.1.14. Rövid összefoglaló

A futóműbemérés a jármű egyenesfutási és kormányzási jellemzőit meghatározó geometriai értékek mérése és beállítása. A viszonyítási rendszer alapja a szimmetriatengely és a geometriai menetirány; a kettő közötti szög a tolószög. A mért paraméterek – kerékdőlés, csapterpesztés, utánfutás, kerékösszetartás, kerékelőfutás – eltérései a gumikopás, félrehúzás és kormányferdeség mellett gyakran konkrét futóműalkatrészek sérülésére utalnak. A modernebb 3D-s mérőrendszerek a mérőfejek és kamerák alkalmazásával a kormányzási tengely jellemzőit is kiszámítják; a mérés előtti keréktárcsaütés-kompenzáció nélkül a mért szögértékek félrevezethetők. A kerékösszetartás mm-ben kifejezett értéke mindig a mérőperem-átmérőhöz kötött: $s = D \cdot \tan\delta$. A mérési munka csak akkor megbízható, ha a jármű előkészítése, a mérőfejek elhelyezése, a hibás alkatrészek felismerése és cseréje, majd a beállítás utáni újramérés és próbaút is megtörténik. **Továbbvitt eredmény.** A futóműbemérés során felismert mérési eltérések és a hibatünetek összekapcsolása a Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetben a konkrét alkatrészcsere és beállítási sorrend megválasztásához ad alapot; a mérési előkészítés szabályait a Kerekek és gumiabroncsok alfejezetben tanult abroncsméretekkel és nyomásokkal együtt kell alkalmazni.

38.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A futóműbemérés műszaki alapjai a járműmechanika és a méréstechnika stabil tudásanyagából származnak. A gyártói beállítási értékek, tűrésmezők, valamint a mérőrendszerre vonatkozó kalibrálási és kompenzálási utasítások járművenként és mérőberendezés-típusonként eltérnek; ezeket mindig az aktuális gyártói javítási adatbázis alapján kell meghatározni. Az ADAS-kalibrálási kötelezettség körét a járműgyártó javítási utasítása rögzíti. A hatósági műszaki vizsgálat keretében esetlegesen használt futómű-ellenőrzési határértékeket és vizsgálati módszereket a hatályos hazai előírásokhoz igazítva kell ellenőrizni. A fejezetben szereplő számszerű tűrésmezők, mérési példák, nyomatékok és beállítási értékek tanulási példák, ezért a gyakorlati felhasználás előtt ellenőrizendők: gyártói adat, műszerkönyvi előírás, hatályos jogszabály.

38.2. Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás

38.2.1. Motiváció

A műhelyben gyakori panasz: „90 és 110 km/h között remeg a kormány”, vagy „a kocsi úszkál az úton, mint egy hajó”. A futómű és a kerék állapota ilyenkor a fő gyanúsított. A kopott lengéscsillapító rontja a kerék úttal való érintkezését, a kiegyensúlyozatlan kerék pedig periodikus erővel rázza a kormányt és a karosszériát. Ebben az alfejezetben a lengéscsillapító-vizsgálat és a kerékkiegyensúlyozás gyakorlati módszereit tanuljuk meg, mert ezek a műszaki vizsga és a mindennapi szervizmunka alapvető diagnosztikai lépései. A mérési eljárások ismerete nélkül nem tudjuk eldönteni, hogy a panaszt a csillapító, a kiegyensúlyozatlanság vagy éppen a gumiabroncs okozza.

38.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy lengéscsillapító-vizsgáló próbapadot. A jármű egyik kereke egy mozgatható talplemezre áll. A pad elektromos motorja egy excenter segítségével függőleges rezgésbe hozza a talplemezt, jellemzően a kerékfelfüggesztés sajátfrekvenciájának közelében (kb. 10–15 Hz, ellenőrizendő). Az út egyenetlenségeit szimuláló mozgás hatására a kerék elkezd fel-le lengeni. A talplemezbe épített erőmérő cella folyamatosan méri a kerék és a lemez közötti nyomóerőt. Ha a lengéscsillapító jó, a kerék erősen nyomja a lemezt, és a talperő kevésbé ingadozik. Ha a csillapító kopott, a kerék elválik a lemeztől, a talperő időnként közel nullára esik, és a kijelzett tapadási arány alacsony lesz.

A kiegyensúlyozó gépnél a kereket egy tengelyre fogatjuk fel, és a gép megforgatja. A tengelyágyazásba épített rezgésérzékelők mérik a forgó kerék által keltett centrifugális erő okozta rezgéseket. A gép ebből kiszámítja, hogy a kerék melyik síkjában, mekkora ellensúlyt kell elhelyezni. A kijelzőn két érték jelenik meg: a belső és a külső síkra előírt tömeg grammban.

38.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **lengéscsillapító-vizsgálat** célja annak megállapítása, hogy a lengéscsillapító képes-e a rugózatlan tömeg lengéseit hatékonyan csillapítani. A vizsgálat során a kerék és a talplemez közötti dinamikus tapadási arányt (jele: η_{tap}) mérjük, amely a minimális talperő és a statikus kerékterhelés hányadosa. A hatósági műszaki vizsgán jellemzően az a követelmény, hogy a tapadási arány egy előírt küszöb felett legyen (gyakran 40–50%, de a pontos érték jogszabályi, ellenőrizendő).

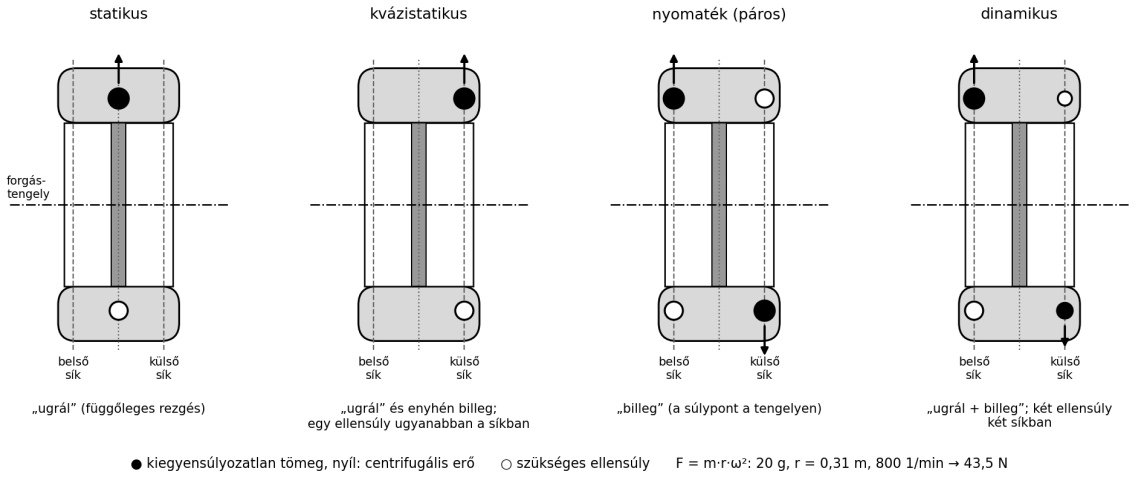
Definíció. A **kiegyensúlyozatlanság** a forgó kerék tömegeloszlásának hibája, amelynek következtében a tehetetlenségi erők eredője nem nulla, vagy nem esik egybe a forgástengellyel. Ennek következménye a kerék periodikus erejű gerjesztése, ami rezgést és kopást okoz.

Összefüggés. A kiegyensúlyozatlanságból származó centrifugális erő:

$$F_{\text{cf}} = m_{\text{k}} \cdot r \cdot \omega^2$$

ahol m_{k} a kiegyensúlyozatlan tömeg, r a tömegközéppont távolsága a forgástengelytől, $\omega = 2\pi n/60$ a szögsebesség. Az erő a fordulatszám négyzetével nő, ezért nagy sebességnél válik érezhetővé a rezgés.

Definíció. A kiegyensúlyozatlanság fajtái: - **Statikus kiegyensúlyozatlanság:** a kerék súlypontja a forgástengelyen kívül helyezkedik el. A kerék ilyenkor függőleges irányban „ugrál”. A kiegyensúlyozó gép a kerék középső síkjában lévő egyetlen ellensúllyal korrigálja. - **Kvázistatikus kiegyensúlyozatlanság:** a statikus és a nyomaték-kiegyensúlyozatlanság kombinációja, de a kiegyensúlyozatlan tömeg ugyanazon a sugár síkjában van. Gyakorlatilag a statikus eset speciális változata. - **Nyomaték (páros) kiegyensúlyozatlanság:** két, egymással ellentétes oldalon lévő tömeg a kerék két különböző síkjában. A kerék „billeg” a tengely körül. Csak két különböző síkban elhelyezett ellensúllyal szüntethető meg. - **Dinamikus kiegyensúlyozatlanság:** általános eset, amely statikus és nyomaték-kiegyensúlyozatlanság kombinációja. Minden valós keréknél ez fordul elő.



38.5. ábra. A kiegyensúlyozatlanság fajtái a kerék tengelymetszetén

Az ábrán a tömör pont a kiegyensúlyozatlan tömeg, a nyíl a centrifugális erő, az üres pont a szükséges ellensúly. Statikus esetben egy tömeg a középsíkban van (a kerék ugrál); kvázistatikus esetben egyetlen tömeg a középsíkon kívül, ezért egy ellensúly ugyanabban a síkban kiegyenlíti; nyomaték-kiegyensúlyozatlanságnál két ellentétes tömeg két síkban billegést okoz; a dinamikus eset a kettő keveréke, és két síkban kell kiegyenlíteni. A HTML-változat lassítva forgatja a kereket, és a fordulatszám szerint kiszámítja az $F = m \cdot r \cdot \omega^2$ erőt.

Mérőszám. A kiegyensúlyozó gép a szükséges ellensúly tömegét grammban adja meg, egy adott tárcsaátmérőhöz és a tárcsa peremének sugarához viszonyítva. A modern gépek két síkban mérik és jelzik az értéket.

38.2.4. Felépítés és működés

38.2.4.1. Lengéscsillapító-vizsgálati módszerek

1. Ejtéses vizsgálat (ritkán használt). A jármű egyik sarkát felemeljük, majd hirtelen elengedjük. A karosszéria lengéseit megfigyeljük: a jó csillapítóval a lengés legfeljebb 1–2 periódus alatt lecsillapodik. A módszer szubjektív, nem elég pontos a műszaki vizsgához, de gyors tájékozódó ellenőrzésre alkalmas.

2. Kerék lengetése (kézi). A jármű sarkát megnyomjuk és elengedjük. Ha a lengés sokáig tart, vagy a kerék többször átlendül, a csillapító gyenge. Ez is inkább tapasztalati módszer.

3. Dinamikus talperő-ingadozás (EUSAMA-elv). A próbapad méri a talperőt, miközben a talplemez rezeg. A tapadási arányt a következőképpen számítja:

$$\eta_{\text{tap}} = \frac{F_{\min}}{F_{\text{stat}}} \times 100\%$$

ahol $F_{\min}$ a mért minimális talperő, F_{stat} a statikus kerékterhelés. A hatósági vizsgán az az elv, hogy ha a tapadási arány egy előírt érték alatt van, a csillapító nem megfelelő. Az EUSAMA-pad a gerjesztési frekvenciát a kerékfelfüggesztés (rugózatlan tömeg) sajátfrekvenciáján vezeti át; a rezonanciánál a legnagyobb a talperő-ingadozás, és itt mutatkozik meg leginkább, mennyire képes a csillapító a lengést fékezni `(ellenőrizendő: frekvenciatartomány)`.

Befolyásoló tényezők: - Gumiabroncs nyomása: alacsony nyomás növeli a gumi rugalmasságát, ami javíthatja a mért tapadási arányt, és elfedi a csillapító hibáját. - Terhelés: a nagyobb statikus terhelés nagyobb F_{stat} értéket ad, ami jobb arányt eredményezhet. - Hőmérséklet: hideg csillapító olaja viszkózusabb, ezért a csillapítás erősebb lehet. A vizsgálatot üzemi hőmérsékleten kell végezni. - A pad kalibrálása: a mérőcellát és a frekvenciát rendszeresen ellenőrizni kell.

38.2.4.2. Kerékkiegyensúlyozás

A kiegyensúlyozatlanság okai: gyártási tűrések, az abroncs és a tárcsa tömegeloszlásának hibái, kopás, sérülés, illetve helytelen szerelés. A nagy sebességű forgásnál a kis tömegeltérés is jelentős erőt kelt.

Stabil és mobil kiegyensúlyozó gépek: - A **stabil gép** a műhelyben rögzített. A kereket egy tengelyre fogatjuk, a gép megforgatja, és a rezgésérzékelők segítségével kiszámolja az ellensúlyokat. A gép két síkban mér, ezért a statikus és a dinamikus kiegyensúlyozatlanságot is korrigálja. - A **mobil gép** (gyakran teherautóknál, pálya mellett) maga a jármű kerekén dolgozik, vagy egy hordozható egység. Elve hasonló, de a mérési pontosság kisebb lehet.

Keréksúlyok: A felütő (ütött) súlyt a tárcsa peremére ütjük, a ragasztós súlyokat a tárcsa belső felületére ragasztjuk, esztétikusabb és jobban védett. A felütő és ragasztós súlyok ma acélból vagy cinkből készülnek; az ólom keréksúlyt az elhasznált járművekről szóló uniós szabályozás tiltja `(ellenőrizendő: 2000/53/EK irányelv II. melléklet, hatály és járműkategóriák)`.

Matching-eljárás: A gumiabroncs és a tárcsa gyártási tűréseiből adódó radiális erő-ingadozást csökkenthetjük, ha az abroncsot a tárcsán optimális helyzetbe forgatjuk. A mérőgép megméri a tárcsa és az abroncs radiális ütését, majd megadja, hogy az abroncsot hány fokkal kell elforgatni a tárcsához képest. Így a két hiba kioltja egymást, és kisebb lesz a kerékgerjesztési erő.

Radiális talperő-ingadozás (RFV): Az abroncs gyártási és szerkezeti egyenetlenségei miatt a gördülés során a talperő periodikusan változik. Ez a kerékgerjesztési erő okozhat kormányremegést és vibrációt még akkor is, ha a kiegyensúlyozás tökéletes. Az RFV mérésére speciális pad szolgál, amely a gördülő kereket terhelt dobhoz nyomja, és méri a sugárirányú erő ingadozását. A hiba feltárható a kerékfutás-optimalizálással (matching) vagy az abroncs cseréjével.

38.2.5. Kidolgozott példák

38.2.5.1. 1. példa: Centrifugális erő számítása kiegyensúlyozatlanságból

Adott: Egy kerék átmérője $D = 0{,}62\,\text{m}$, a kiegyensúlyozatlan tömeg $m_{\text{k}} = 20\,\text{g} = 0{,}020\,\text{kg}$, a tömeg a keréktárcsa peremén, $r = 0{,}20\,\text{m}$ sugáron helyezkedik el (az abroncs külső sugara $D/2 = 0{,}31\,\text{m}$, de ellensúly a futófelületen nem lehet). A kerék fordulatszáma $n = 800\,1/\text{min}$.

Keresett: A kiegyensúlyozatlanságból származó centrifugális erő F_{cf}.

Számítás:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 800}{60} = 83{,}8\,\mathrm{rad/s}$$

$$F_{\mathrm{cf}} = m_{\mathrm{k}} \cdot r \cdot \omega^2 = 0{,}020 \cdot 0{,}20 \cdot (83{,}8)^2$$

$$F_{\mathrm{cf}} = 0{,}020 \cdot 0{,}20 \cdot 7020 \approx 28{,}1\,\mathrm{N}$$

Ellenőrzés: 20 g tömeg 800 1/min fordulaton kb. 28 N erőt ad, ez kb. 2,9 kg tömeg súlyának megfelelő erő, ami jelentős rezgést okozhat. 1600 1/min fordulatnál (dupla szögsebesség) az erő négyszeresére, kb. 112 N-re nő. ∎

38.2.5.2. 2. példa: A kiegyensúlyozó gép által mutatott tömeg értelmezése és átszámítása

Adott: A kiegyensúlyozó gép a külső síkra $m_{\text{külső}} = 15\,\mathrm{g}$, a belső síkra $m_{\text{belső}} = 10\,\mathrm{g}$ ellensúlyt ír elő. A gépbe beállított tárcsaátmérő $D = 16\,\mathrm{col} = 406{,}4\,\mathrm{mm}$, tehát a súlyok helyének sugara $r = 203{,}2\,\mathrm{mm}$. A szerelő azonban a súlyt a tárcsa peremén, $r' = 180\,\mathrm{mm}$ sugáron helyezi el, mert ott jobban hozzáfér.

Keresett: Mekkora tényleges tömeget kell elhelyeznie a kisebb sugáron, hogy ugyanazt a kiegyensúlyozó hatást érje el?

Számítás: A kiegyensúlyozás feltétele, hogy a kiegyensúlyozatlanság (az $m \cdot r$ szorzat) azonos legyen. Mivel a szögsebesség mindkét esetben ugyanaz, a tömeg és a sugár szorzata állandó:

$$m_{\text{új}} \cdot r' = m_{\text{gép}} \cdot r$$

$$m_{\text{új}} = m_{\text{gép}} \cdot \frac{r}{r'}$$

A külső síkra:

$$m_{\text{külső, új}} = 15\,\mathrm{g} \cdot \frac{203{,}2}{180} = 16{,}9\,\mathrm{g}$$

A belső síkra:

$$m_{\text{belső, új}} = 10\,\mathrm{g} \cdot \frac{203{,}2}{180} = 11{,}3\,\mathrm{g}$$

Ellenőrzés: Ha a súlyt közelebb tesszük a tengelyhez, nagyobb tömeget kell használni, mert az $m \cdot r$ szorzatnak változatlannak kell maradnia. A gép által kiírt érték csak a beállított sugárra érvényes. ∎

38.2.5.3. Hibás példa

Egy szerelő a kereket a kiegyensúlyozó gépre úgy fogatja fel, hogy a központosító kúp nincs rendesen meghúzva, ezért a kerék tengelye 0,5 mm-rel eltér a gép tengelyétől. A gép 25 g kiegyensúlyozatlanságot mutat, a szerelő elhelyezi az ellensúlyt, de a kerék továbbra is ráz. A hiba oka: a gép a felfogatási excentricitást is kiegyensúlyozatlanságként mérte, így a valódi hibát nem szüntette meg. A helyes gyakorlat: mindig ellenőrizni kell a felfogatás központosságát és a rögzítést.

38.2.6. Előírás

Előírás. A közúti járművek időszakos műszaki vizsgáján a lengéscsillapító állapotát az EUSAMA-elvű mérőpadon vagy a gyártó által elfogadott, kalibrált mérési módszerrel kell ellenőrizni. A vizsgálati módszert és az értékelést a műszaki megvizsgálásról szóló 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és a 2014/45/EU irányelv szerinti vizsgálati módszertan adja meg `(ellenőrizendő: van-e számszerű tapadásiarány-küszöb, és melyik jogszabályban)`. A pontos százalékos követelményt és a mérési frekvenciát a kiadás előtt ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: hatályos határérték)**.

A kerékkiegyensúlyozás nem része a hatósági vizsgának, de a jármű biztonságos üzemeltetéséhez elengedhetetlen. A keréksúlyok anyagára vonatkozóan az ólom használatát az elhasznált járművekről szóló uniós irányelv tiltja **(ellenőrizendő: 2000/53/EK irányelv II. melléklet, hatály és járműkategóriák)**.

38.2.7. Minőségellenőrzés

Lengéscsillapító-vizsgálat: - Ellenőrizzük a gumiabroncs nyomását a gyártó előírása szerint. - A jármű terhelése üres, a vizsgálat előtt a csillapítót fel kell melegíteni (néhány lassú fékezés vagy lassú haladás). - A mérőpadot naponta kalibrálni kell, vagy a mérés előtt ellenőrizni kell. - A mérési eredményt mind a négy kerékre rögzítsük, és hasonlítsuk össze a gyártói vagy hatósági küszöbbel. - Ha egy kerék értéke jelentősen eltér a többitől, vizsgáljuk a csillapító olajszivárgását, a rugó állapotát és a felfüggesztés szilentjeit.

Kerékkiegyensúlyozás: - A kiegyensúlyozó gép beállításait (tárcsaátmérő, szélesség, távolság a gép tengelyétől) mindig ellenőrizzük a kerék adataival. - A kerék felfogatása után forgassuk meg kézzel, hogy szabadon forog-e, és nincs-e ütése. - A gép által kiírt tömeg elhelyezése után futtassunk le egy ellenőrző mérést: az eredménynek 0–5 g alatt kell lennie. - A kiegyensúlyozott kereket próbaúttal ellenőrizzük: a kormányremegésnek meg kell szűnnie a kritikus sebességtartományban.

38.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél panasza: „120 km/h környékén a kormány remeg, és az egész ülés vibrál.” A szerelő először ellenőrzi a keréknyomást és a felfüggesztés holtjátékait, majd a kerekeket kiegyensúlyozza. A gép az első bal keréken 30 g kiegyensúlyozatlanságot mutat. Az ellensúly elhelyezése után a mérés 2 g, a próbaút során a remegés megszűnik. Ez tipikus eset, de ha a kiegyensúlyozás után is marad rezgés, akkor radiális talperő-ingadozást (RFV) vagy a fékrendszer, esetleg a hajtáslánc hibáját kell keresni.

Egy másik eset: a műszaki vizsgán a lengéscsillapító-vizsgálat az első tengelyen 32% tapadási arányt mutat. A szerelő megvizsgálja a lengéscsillapítót, olajszivárgást talál a dugattyúrúdon. A csillapító pár cseréje után az ismételt vizsgálat 68%-ot mutat, és a jármű átmegy a vizsgán.

38.2.9. Gyakorlati útmutató

38.2.9.1. Lengéscsillapító-vizsgálat EUSAMA-próbapadon

Cél: Annak megállapítása, hogy a lengéscsillapítók megfelelnek-e a biztonságos úttartás követelményének.

Jármű- és adatazonosítás: Rendszám, alvázszám, gyártmány, típus, kerékméret, előírt gumiabroncsnyomás.

Szükséges szerszámok és eszközök: Kalibrált lengéscsillapító-vizsgáló pad, gumiabroncsnyomásmérő, légtöltő, kesztyű, tiszta rongy.

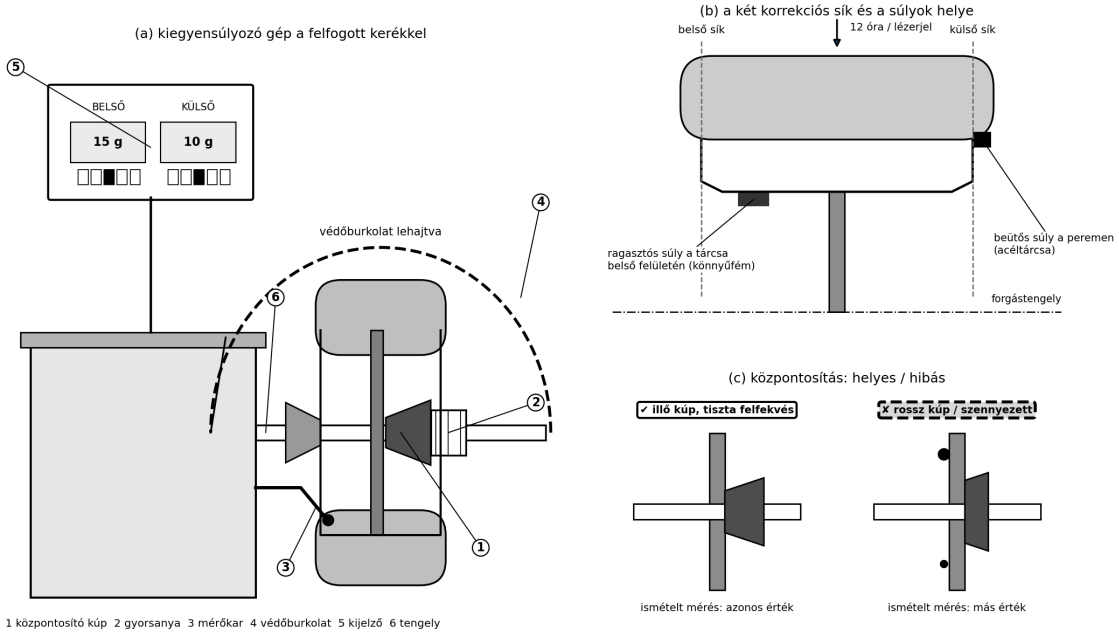
Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Lépések: 1. Győződj meg arról, hogy a pad tiszta, a talplemez sértetlen, és a kalibrálás érvényes. 2. Állítsd be a jármű adatait a pad vezérlőegységén (kerékterhelés, tengelytáv, ha szükséges). 3. Ellenőrizd és állítsd be a gumiabroncsnyomást a gyártói előírás szerint. 4. Helyezd a járművet a padra úgy, hogy a vizsgálandó kerék pontosan a talplemez közepén álljon. 5. Rögzítsd a járművet a gyártói utasítás szerint (a legtöbb pad nem igényel kéziféket vagy sebességváltót a vizsgálat közben, de a gép utasításait kövesd). 6. Indítsd el a mérést. A pad először megméri a statikus kerékterhelést, majd rezgésbe hozza a talplemezt. 7. Figyeld a kijelzőn a tapadási arányt. A mérési folyamat általában 10–30 másodperc. 8. Jegyezd fel az eredményt mind a négy kerékre. 9. Az eredményeket hasonlítsd össze a hatósági vagy gyártói küszöbbel. Ha bármelyik kerék alatta van, javasold a lengéscsillapítók párban történő cseréjét. 10. A mérés után engedd le a talplemezt, és vezesd le a járművet a padról.

Ellenőrzési pontok: A tapadási arány jellemzően 60–90% közötti jó csillapítónál. 40% alatt a csillapító kopott. A bal és jobb oldal közötti eltérés nem haladhat meg egy bizonyos értéket (ellenőrizendő: gyártói adat).

Dokumentálás: A mérési jegyzőkönyvben rögzítsd a dátumot, a jármű adatait, a gumiabroncsnyomást, a mért értékeket és a kiértékelést.

38.2.9.2. Kerék kiegyensúlyozása stabil gépen



38.6. ábra. A kerékkiegyensúlyozó gép: központosítás és a súlyok helye (sematikus vonalrajz)

Az (a) részábrán a kereket a középfurathoz illő központosító kúp (1) és a gyorsanya (2) fogja a géptengelyre (6); a mérőkar (3) a tárcsa távolságát és átmérőjét veszi fel, a mérés csak lehajtott védőburkolattal (4) indul, a kijelző (5) a belső és a külső síkra szükséges súlyt és a pozíciót mutatja. A (b) részábra a két korrekciós síkot: a beütős súly az acéltárcsa peremére, a ragasztós súly a könnyűfém tárcsa belső felületére kerül, a gép által jelzett 12 órás helyzetben. A (c) pár szerint rossz kúp vagy szennyezett felfekvés mellett az ismételt mérés más értéket ad.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. **Tisztítsd meg a kereket:** távolítsd el a szennyeződést, a régi ellensúlyokat, és ellenőrizd a tárcsa és az abroncs sérülését.
2. **Ellenőrizd a gumiabroncs nyomását** és a futófelület kopását.
3. **Fogd fel a kereket a kiegyensúlyozó gépre** a megfelelő központosító kúppal és rögzítő anyával. A keréknek pontosan központosnak kell lennie.
4. **Add meg a gépnek a kerék adatait:** tárcsaátmérő, tárcsaszélesség, távolság a gép tengelyétől (ha nem automata).
5. **Indítás előtt** távolítsd el a futófelületbe szorult köveket, ellenőrizd a rögzítőanya meghúzását, és engedd le a kerékvédő burkolatot; a gép burkolat nélkül nem indítható. A kerékhez csak a teljes megállás után nyúlj, a forgási síkban ne állj `(ellenőrizendő: a gép kezelési utasítása)`.
6. **Indítsd el a mérést.** A gép felgyorsítja a kereket, majd megáll. A kijelzőn megjelennek a belső és külső síkra szükséges ellensúlyok.
7. **Helyezd el a külső síkra előírt súlyt** a gép által mutatott pozícióba. Felütő súlynál pontosan a peremre üsd, ragasztósnál a kijelölt helyre ragaszd.
8. **Helyezd el a belső síkra előírt súlyt.**
9. **Futtass le egy ellenőrző mérést.** Az eredménynek 0–5 g közötti értéket kell mutatnia.
10. **Vedd le a kereket** a gépről, és szereld fel a járműre a gyártói nyomatékkulcs-beállítással.

11. **Próbaút:** ellenőrizd, hogy a korábbi rezgés megszűnt.

Környezetvédelem. A régi keréksúlyokat, különösen az ólom súlyokat veszélyes hulladékként kell gyűjteni. A szennyezett rongyokat és a használt tisztítószereket a hulladékkezelési szabályok szerint kell kezelni.

38.2.10. Tipikus hibák

1. **A kiegyensúlyozó gép paramétereinek helytelen beállítása.** Ha a tárcsaátmérőt vagy a szélességet rosszul adjuk meg, a gép hibás súlyt és pozíciót számol. A kerék így kiegyensúlyozatlan marad. Helyes gyakorlat: mindig ellenőrizni a beállításokat a keréken lévő jelölés alapján.
2. **A kerék rossz felfogatása.** A nem központos felfogás (pl. sérült kúp, nem megfelelően meghúzott anya) miatt a gép excentricitást mér kiegyensúlyozatlanságként. A mért érték hamis lesz. Helyes gyakorlat: a felfogatást mindig ellenőrizni, a központosító elemeket tisztán tartani.
3. **A lengéscsillapító-vizsgálat hideg csillapítóval.** Hidegen az olaj viszkózusabb, a csillapító merevebb, ezért a tapadási arány jobbnak tűnhet, mint üzemi hőmérsékleten. Helyes gyakorlat: a vizsgálat előtt néhány percig melegíteni a csillapítót lassú haladással.
4. **Alacsony gumiabroncsnyomás a lengéscsillapító-vizsgálaton.** A puha abroncs elnyeli a talplemez mozgását, javítva a mért tapadási arányt, és elfedi a csillapító hibáját. Helyes gyakorlat: mindig az előírt nyomást beállítani.

38.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A statikus kiegyensúlyozatlanság a kerék két különböző síkjában lévő ellentétes tömegek okozzák. Indokold.
2. Számítsd ki a centrifugális erőt, ha a kiegyensúlyozatlan tömeg 15 g, a sugár 0,28 m, és a fordulatszám 1200 1/min.
3. Mi a különbség a statikus és a dinamikus kiegyensúlyozatlanság között?
4. A lengéscsillapító-vizsgálat során a tapadási arány 35%. Mit jelent ez?
5. Miért befolyásolja a gumiabroncs nyomása a lengéscsillapító-vizsgálat eredményét?

38.2.12. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld a kiegyensúlyozatlanságot, és sorold fel a négy fajtáját.

2. feladat (A) Egy kerék kiegyensúlyozatlansága 10 g a kerék peremén, amelynek sugara 0,30 m. A kerék fordulatszáma 600 1/min. Számítsd ki a keletkező centrifugális erőt.

3. feladat (B) A kiegyensúlyozó gép a külső síkra 20 g ellensúlyt ír elő, a belsőre 12 g-ot. A gépbe beállított sugár 200 mm. A szerelő a külső síkon a súlyt 170 mm sugáron helyezi el. Mekkora tömeget kell használnia a külső síkon, hogy ugyanazt a hatást érje el?

4. feladat (B) Sorold fel a lengéscsillapító-vizsgálat elvégzésének lépéseit EUSAMA-próbapadon.

5. feladat (C) Magyarázd meg, miért okozhat kormányremegést a nyomaték-kiegyensúlyozatlanság, még akkor is, ha a kerék statikusan kiegyensúlyozottnak tűnik.

6. feladat (D) Egy műhelyben az ügyfél panasza: 100 km/h felett a kormány remeg, de a lengéscsillapító-vizsgálat minden keréken 70% feletti tapadási arányt mutat. A kerekek kiegyensúlyozása után a remegés csökkent, de nem szűnt meg. Milyen további vizsgálatokat végeznél?

38.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A statikus kiegyensúlyozatlanság egyetlen tömegeltérés, amely a kerék súlypontját a forgástengelyen kívülre helyezi. A két síkban lévő ellentétes tömegek a nyomaték-kiegyensúlyozatlanságot okozzák.
2. $\omega = 2\pi \cdot 1200/60 = 125{,}7\,\text{rad/s}$, $F = 0{,}015 \cdot 0{,}28 \cdot 125{,}7^2 = 66{,}4\,\text{N}$.
3. Statikus: a súlypont eltérése, egy síkban korrigálható. Dinamikus: statikus és nyomaték-kiegyensúlyozatlanság kombinációja, két síkban kell korrigálni.
4. A tapadási arány 35% azt jelenti, hogy a legkisebb talperő a statikus terhelés 35%-ára esik, ami kopott vagy hibás lengéscsillapítóra utal.
5. Az alacsony guminyomás növeli az abroncs rugalmasságát, amely elnyeli a talplemez gerjesztését, így a talperő kevésbé ingadozik, és a csillapító jobbnak tűnhet.

Feladatok megoldása

1. feladat. A kiegyensúlyozatlanság a forgó kerék tömegeloszlásának hibája, amelynél a tehetetlenségi erők eredője nem nulla vagy nem esik a forgástengelybe. Fajtái: statikus, kvázistatikus, nyomaték (páros), dinamikus.

2. feladat. $\omega = 2\pi \cdot 600/60 = 62{,}8\,\text{rad/s}$; $F = 0{,}010 \cdot 0{,}30 \cdot 62{,}8^2 = 11{,}8\,\text{N}$.

3. feladat. $m_{\text{új}} = 20\,\text{g} \cdot \frac{200}{170} = 23{,}5\,\text{g}$.

4. feladat. A lépések: 1) pad ellenőrzése, 2) gumiabroncsnyomás beállítása, 3) jármű ráállítása a talplemezre, 4) mérés indítása, 5) tapadási arány leolvasása, 6) eredmény rögzítése, 7) kiértékelés, 8) szükség esetén javaslat.

5. feladat. A nyomaték-kiegyensúlyozatlanság két ellentétes tömeget tartalmaz a kerék két oldalán. A statikus kiegyensúlyozás (amely egy középső síkban mért tömeggel korrigál) nem szünteti meg a tengely körüli billegést. Forgás közben ez a billegető nyomaték periodikus erőt ad át a kerékagyra, ami a kormányberendezésen keresztül remegést okoz.

6. feladat. A lengéscsillapító jó, a kiegyensúlyozás csökkentette a rezgést, tehát a maradék remegés oka lehet radiális talperő-ingadozás (RFV), sérült vagy deformálódott keréktárcsa, fékrotor ütése, vagy hajtáslánc-hiba. Először RFV-mérést végeznék, ellenőrizném a tárcsák futását, és szükség esetén matching-eljárást alkalmaznék.

38.2.14. Rövid összefoglaló

A lengéscsillapító-vizsgálat és a kerékkiegyensúlyozás a futóműdiagnosztika két alapvető módszere. Az EUSAMA-elvű próbapad a lengéscsillapító hatékonyságát méri a kerék és a talplemez közötti tapadási arány százalékában. A jó csillapító jellemzően 60% feletti, a kopott 40% alatti értéket ad. A mérést befolyásolja a gumiabroncsnyomás, a hőmérséklet és a terhelés. A kiegyensúlyozatlanság statikus, kvázistatikus, nyomaték és dinamikus típusú; a közös jellemző a centrifugális erő

$F_{\text{cf}} = m_k r \omega^2$, amely a fordulatszám négyzetével nő. A kiegyensúlyozó gép két síkban méri és adja meg az ellensúlyok tömegét. A stabil gépek a műhelyben, a mobil gépek a járművön dolgoznak. A matching-eljárás az abroncs és a tárcsa radiális ütését optimalizálja, csökkentve a talperő-ingadozást. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a vizsgálati és kiegyensúlyozási módszert használjuk a Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban alfejezetben, ahol a szerelési folyamatot és a gépkezelést gyakoroljuk.

38.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a mechanika és a futómű-diagnosztika alapelveire épít. Az alábbi pontok ellenőrzést igényelnek a kiadás előtt:

- A lengéscsillapító-vizsgálat módszere és értékelése az 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és a 2014/45/EU irányelv szerint; van-e számszerű tapadásiarány-határérték, és melyik jogszabályban.
- Az EUSAMA-vizsgálati frekvencia pontos értéke (10–15 Hz közötti tartomány, ellenőrizendő).
- A 2000/53/EK irányelv II. mellékletének pontos szövege, az ólom keréksúly tilalmának hatálya és a járműkategóriák.
- A gyártói kiegyensúlyozó gépek beállítási paraméterei és a mérési toleranciák.

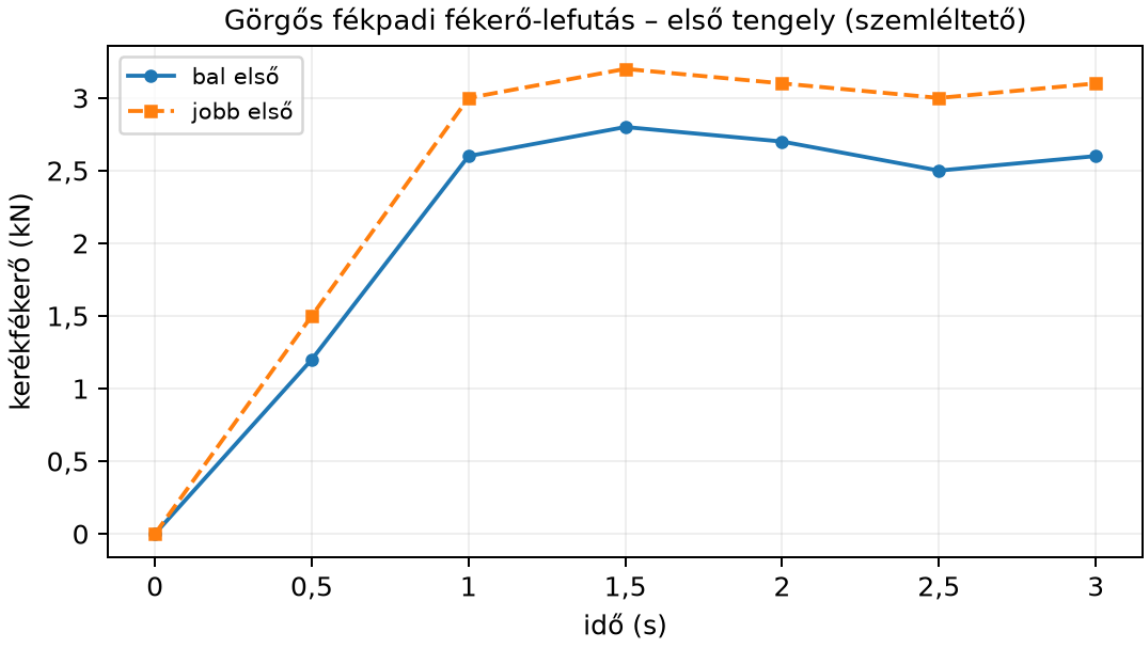
38.3. Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata

A tanuló a műhelyben leggyakrabban akkor találkozik fékvizsgálattal, amikor a műszaki vizsgára felkészített autó a próbapadon „megbukik”, vagy amikor az ügyfél arra panaszkodik, hogy fékezéskor a kormány rángat, a pedál remeg, illetve a fékút hosszú. Ebben az alfejezetben a fékberendezés **vizsgálati és minősítési** oldalát építjük fel: nem elsősorban azt kérdezzük, hogyan kell betétet cserélni, hanem azt, hogyan mérjük meg a fékrendszer tényleges fékerőit, hogyan értékeljük az eredményt, és hogyan keressük meg a rossz érték okát.

A korábbi alfejezetekben megismertük a kerékfékek felépítését (Kerékfékek) és a légfékrendszert (Légfékek). Most az ott tanult ismereteket használjuk a diagnosztikához. A hatósági műszaki vizsgán a fék a leggyakoribb hibapont, ezért a fékpadi kiértékelés gyakorlati haszna közvetlen.

38.3.1. Szemléletes kép: görgős fékpadi mérés közben

Képzeljük el, hogy egy első kerekes autó az állomás görgős fékpadján áll. A vizsgáztató az első tengelyt a görgőkre állította, a jármű motorja alapjáraton jár (a fékrásegítő működéséhez), a sebességváltó üresben `(ellenőrizendő: a vizsgálóállomás eljárási rendje)`. A pad görgői lassan forgatják a kerekeket. Amikor a vizsgáztató a fékpedált nyomja, a fékbetétek a tárcsához szorulnak, és a kerék a görgőt fékezi. A padban lévő erőmérő cellák a görgőre ható reakcionyomatékból kiszámítják az egyes kerekek fékerőit. A kijelzőn egyszerre látjuk a bal és jobb kerék görbéjét.



38.7. ábra. Görgős fékpadi fékerő-lefutás – első tengely (szemléltető) - Szemléltető tanulási adatsor; nem mért érték.

Az ábrán látszik, hogy a jobb első kerék fékerője magasabb, mint a balé. A vizsgálóberendezés ebből kerékfékerő-eltérést számol. Az egyes kerekek görbéje nem teljesen vízszintes, hanem kis hullámzást mutat – ez az erőingadozás, amely a tárcsa vagy a dob egyenlőtlenségére utalhat.

Megjegyzés. A szemléltető ábra értékei tanulási példák; a valós görbéket a vizsgálószoftver rögzíti és értékeli (ellenőrizendő: a vizsgálati szoftver beállításai).

38.3.2. Definíciók és összefüggések

Definíció. A jármű **fékhatása** (z) a teljes kifejtett fékerő és a jármű súlyerejének hányadosa, gyakran százalékban megadva:

$$z = \frac{F_{\mathrm{f}}}{F_{\mathrm{G}}} \cdot 100\%$$

ahol F_{f} a mért összes fékerő (N vagy kN), $F_{\mathrm{G}} = m \cdot g$ a jármű súlyereje (N). Az egyes tengelyek fékhatását a tengely mért fékerőiből és a tengely tényleges terheléséből hasonlóan számítjuk:

$$z_{\mathrm{t}} = \frac{F_{\mathrm{f,t}}}{F_{\mathrm{z,t}}} \cdot 100\%$$

Definíció. A **kerékfékerő-eltérés** az azonos tengelyen lévő jobb és bal kerék fékerő-különbsége, százalékban kifejezve. A vizsgálati gyakorlat általában a nagyobb fékerőhöz viszonyítja (ellenőrizendő: a hatályos vizsgálati előírás pontos képlete):

$$\Delta F_{\%} = \frac{|F_{\mathrm{j}} - F_{\mathrm{b}}|}{\max(F_{\mathrm{j}}, F_{\mathrm{b}})} \cdot 100\%$$

Definíció. Az **erőingadozás** a kerékfordulat során mért pillanatnyi fékerő maximális és minimális értékének eltérése, általában a maximális értékhez viszonyítva:

$$\delta_{\%} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} \cdot 100\%$$

Nagy ingadozás jellemzően féktárcsa- vagy fékerő-eloszlási problémára, kopott kerékcsapágyra is utalhat.

Összefüggés. A közúti fékezési mérés során a jármű lassulásából számított fékhatás:

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

ahol a a lassulás (m/s²), v a kezdősebesség (m/s), s a fékút (m). A fékhatás:

$$z = \frac{a}{g} \cdot 100\%$$

Ez az összefüggés a mozgási energia és a fékmunka egyenlőségéből is levezethető: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$, a fék által végzett munka $W = F_{\text{f}} \cdot s$, amelyből $F_{\text{f}} = ma$.

38.3.3. A fékvizsgálati módszerek csoportosítása

A fékhatás mérésére három fő módszert használunk:

- **Görgős fékerőmérő próbapad:** a legelterjedtebb műszaki vizsgálati eljárás. A kerekeket motoros görgők forgatják, a fékrendszer fékerőit erőmérő cellák mérik.
- **Közúti mérés:** a jármű valós közúti körülmények között, műszeres lassulás- és pedálerőmérővel vizsgálható. Olyan járműveknél szükséges, ahol a próbapad nem alkalmazható (például állandó összkerékhajtás, differenciálzár, fokozatmentes automata váltó – ellenőrizendő: az állomás eljárási rendje).
- **Kiegészítő állapotvizsgálat:** ide tartozik a fékrendszer tömítettségének, a légféknyomásnak, a fékfolyadék szintjének, a fékpedál keménységének és az ABS/ESP hibakódjainak ellenőrzése.

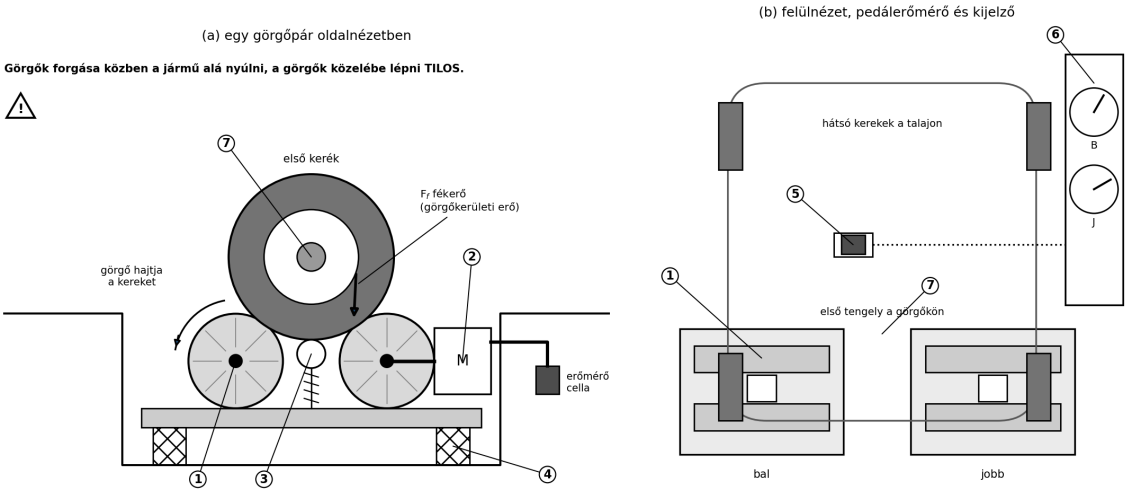
A hatósági vizsgálat a fékhatás mérésén túl minősíti a **kerékfékerő-eltérést** és az **erőingadozást**, mert ezek a menetbiztonságot közvetlenül befolyásolják.

38.3.4. A görgős fékerőmérő próbapad működése

A görgős fékerőmérő próbapad minden vizsgálóállomáson megtalálható. Fő részei:

- **Görgőpár:** a vizsgált kereket két vízszintes görgő közé állítják. A görgők villanymotorral hajtják a kereket alacsony sebességgel (jellemzően 2–5 km/h, ellenőrizendő: a berendezés típusa).
- **Erőmérő cellák:** a görgőhajtás reakcionyomatékát mérik. Amikor a jármű fékje a kereket lassítja, a gumiabroncs a görgőt nyomja, és az erőmérő cella jeléből a pad elektronikája kiszámítja a kerék fékerőjét.
- **Tengelyterhelés-mérő:** a pad platformjába épített mérleg a tengelyterhelést méri, így a tengely fékhatása meghatározható.

- **Vezérlő és kiértékelő egység:** rögzíti a fékerő-idő görbéket, kiszámítja a hatásosságot, az eltérést, az ingadozást, és a jegyzőkönyvet elkészíti.



38.8. ábra. A görgős fékerőmérő próbapad felépítése a vizsgált járművel (sematikus vonalrajz)

Az ábrán a vizsgált első tengely kerekei a görgőpárokon (1) állnak, a hátsó kerekek a talajon. A görgőket hajtó ingamotor (2) reakciónyomatékát erőmérő cella méri; ebből adódik a görgőkerületi erő, azaz a kerék fékereje. A középső tapintógörgő (3) a kerék megcsúszásakor lekapcsolja a padot, a súlymérő cella (4) a tengelyterhelést méri, a pedálerőmérő (5) a fékpedálon van, a kijelző (6) a bal és a jobb fékerőt mutatja. A HTML-animációban a pedálerő növelésével a fékerő nő, a tapadási határnál a tapintógörgő leállítja a padot (szemléltető számokkal).

A mérés elve az, hogy a gyártó által előírt pedálerő vagy légnyomás alkalmazásával a fékrendszer által kifejtett féknyomaték a görgőre átadódik. A pad nem a jármű lassulását, hanem a kerekek által kifejtett fékerőt méri. Ezért fontos, hogy a gumiabroncs megfelelő nyomású és mintázatú legyen, különben a kerék a görgőn megcsúszik, és a mért fékerő hamisan alacsony.

Figyelem. A fékpadi mérés közben a görgők forgó veszélyforrást jelentenek. A vizsgálat alatt a jármű alá nyúlni, a görgők közelébe lépni **tilos**. A mérést a vizsgálóberendezés kezelője irányítja; tanműhelyi környezetben oktató felügyeletével végezhető.

38.3.5. Görgős fékpadi mérés és fékminősítés

A fékminősítés három fő szempontja:

- **Hatásosság:** a jármű összes fékerőjének viszonya a jármű súlyerejéhez. Ez mutatja meg, hogy a fék a jármű tömege szerint megfelelő lassulást tud-e elérni.
- **Kerékfékerő-eltérés:** a tengely jobb és bal oldali kerekei fékerőjének különbsége. Nagy eltérés esetén a jármű fékezéskor „húz” az erősebben fékező kerék irányába.
- **Erőingadozás:** a fékerő periodikus változása a kerék fordulata során. A fékpedál, a kormány remegését és egyenlőtlen kopást okoz.

Előírás. A fékberendezés típusjóváhagyási követelményeit az ENSZ-EGB 13. (légfékes és nehéz járművek) és 13-H. (hidraulikus, könnyű járművek) előírása rögzíti (ellenőrizendő: hatályos változat és EU-átültetés). Az időszakos műszaki vizsgán a fékberendezés hatásosságát és a

vizsgálati módszert a hatályos közúti járművek műszaki megvizsgálásáról szóló 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és annak módszertani előírásai határozzák meg (ellenőrizendő: hatályos rendeletszöveg és vizsgálati eljárás). A pontos határértékeket a vizsgálószoftver tartalmazza, ezért itt csak tanulási példákat adunk meg.

A gyakorlatban az M1/N1 kategóriájú járműveknél a következő **példaértékeket** szokták alkalmazni (ellenőrizendő: a hatályos vizsgálati előírás):

Vizsgált jellemző	Példaérték	Megjegyzés
Üzemi fék összfékhatás	$\geq 50\%$	A jármű súlyára vonatkoztatva
Rögzítőfék fékhatás	$\geq 16\%$	A vonatkozó vizsgálati módszer szerint
Kerékfékerő-eltérés (azonos tengelyen)	$\leq 30\%$	A fékpadi szoftver által számítva
Erőingadozás	$\leq 20\%$	A maximális fékerőhöz viszonyítva

Az értékek tanulási példák **(ellenőrizendő: a hatályos műszaki vizsgálati előírás pontos határértékei)**.

38.3.6. Számítási példák

1. példa – Tengely fékhatása és eltérése. Egy személygépkocsi első tengelyén a görgős pad a következő fékerőket méri: bal első 2,8 kN, jobb első 3,2 kN. Az első tengelyterhelés 8,1 kN. Számítsuk ki a tengely fékhatását és a kerékfékerő-eltérést.

Adott: $F_{\mathrm{b}} = 2{,}8\,\mathrm{kN}$, $F_{\mathrm{j}} = 3{,}2\,\mathrm{kN}$, $F_{\mathrm{z,t}} = 8{,}1\,\mathrm{kN}$. Keresett: z_{t}, $\Delta F_{\%}$.

Képlet:

$$F_{\mathrm{f,t}} = F_{\mathrm{b}} + F_{\mathrm{j}}$$

$$z_{\mathrm{t}} = \frac{F_{\mathrm{f,t}}}{F_{\mathrm{z,t}}} \cdot 100\%$$

$$\Delta F_{\%} = \frac{|F_{\mathrm{j}} - F_{\mathrm{b}}|}{\max(F_{\mathrm{j}}, F_{\mathrm{b}})} \cdot 100\%$$

Behelyettesítés:

$$F_{\mathrm{f,t}} = 2{,}8 + 3{,}2 = 6{,}0\,\mathrm{kN}$$

$$z_{\mathrm{t}} = \frac{6{,}0}{8{,}1} \cdot 100\% \approx 74{,}1\%$$

$$\Delta F_{\%} = \frac{|3{,}2 - 2{,}8|}{3{,}2} \cdot 100\% = \frac{0{,}4}{3{,}2} \cdot 100\% \approx 12{,}5\%$$

Ellenőrzés: A tengely fékhatása 74,1%, ami magas; az eltérés 12,5%, ami a példa határérték alatt van. ∎

2. példa – Erőingadozás. Ugyanezen a mérésen a bal első kerék fékerője a kerékfordulat során 2,5 kN és 2,8 kN között változik. Számítsuk ki az erőingadozást.

Adott: $F_{\max} = 2{,}8\,\mathrm{kN}$, $F_{\min} = 2{,}5\,\mathrm{kN}$. Keresett: $\delta_{\%}$.

Képlet:

$$\delta_{\%} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} \cdot 100\%$$

Behelyettesítés:

$$\delta_{\%} = \frac{2{,}8 - 2{,}5}{2{,}8} \cdot 100\% = \frac{0{,}3}{2{,}8} \cdot 100\% \approx 10{,}7\%$$

Ellenőrzés: Az érték alatta marad a 20%-os példahatárnak. ∎

3. példa – Közúti fékvizsgálat lassulásból. Egy jármű közúti fékmérésénél a kezdősebesség 30 km/h, a mért fékút 6,5 m. Számítsuk ki a lassulást és a fékhatást.

Adott: $v = 30\,\text{km/h} = 8{,}33\,\text{m/s}$, $s = 6{,}5\,\text{m}$, $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$. Keresett: a, z.

Képlet:

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

$$z = \frac{a}{g} \cdot 100\%$$

Behelyettesítés:

$$a = \frac{8{,}33^2}{2 \cdot 6{,}5} = \frac{69{,}44}{13} \approx 5{,}342\,\text{m/s}^2$$

$$z = \frac{5{,}342}{9{,}81} \cdot 100\% \approx 54{,}5\%$$

Ellenőrzés: 30 km/h-ról 6,5 méteres fékút körülbelül 5,3 m/s² lassulás, ami reálisan erős fékezés. ∎

4. példa – Légfék fékkamra ereje. Egy haszonjármű fékkamrájának hatásos membránfelülete $A = 150\,\text{cm}^2$. A fékkamra nyomása $p = 6{,}5\,\text{bar}$. Számítsuk ki a fékkamra rúderejét, ha a súrlódási és rugóvisszatérítő erőket elhanyagoljuk.

Adott: $p = 6{,}5\,\text{bar} = 650\,\text{kPa}$, $A = 150\,\text{cm}^2 = 0{,}015\,\text{m}^2$. Keresett: F.

Képlet:

$$F = p \cdot A$$

Behelyettesítés:

$$F = 650\,000\,\text{Pa} \cdot 0{,}015\,\text{m}^2 = 9\,750\,\text{N} = 9{,}75\,\text{kN}$$

Ellenőrzés: A valóságban a rudazat és a belső visszatérítő rugó csökkenti az erőt, ezért a mért érték kisebb lehet. ∎

Hibás példa. Ha a gumiabroncs nyomása a gyártói előírt 2,3 bar helyett 1,2 bar, akkor a görgőn a kerék csúszhat. A pad 2,8 kN helyett például 1,9 kN-t mérhet, és a jármű fékhatása nem éri el a határértéket. A hiba nem a fékrendszerben, hanem a vizsgálati feltételben van.

38.3.7. Közúti fékvizsgálat mérő-adatgyűjtővel

Ha a jármű görgős padon nem vizsgálható (például állandó összkerékhajtás, amikor a görgő csak az egyik tengelyt forgatja), a hatósági vizsgálat közúti méréssel végezhető. A járműre lassulásmérőt, pedálerőmérőt, sebesség-adatgyűjtőt szerelnek. A jármű a vizsgálati sebességre gyorsít, majd a vizsgáztató teljes fékezést végez. A berendezés rögzíti a lassulás időbeli lefutását.

A közúti mérésnél a fékhatást az átlagos lassulásból vagy a fékezési távolságból határozzák meg. A pedálerőt is mérik, mert a hatósági vizsgálat a vezető által kifejthető maximális pedálerőt is értékeli. A mérési jegyzőkönyv tartalmazza a kezdősebességet, a fékutat, az átlagos lassulást, a fékhatást és a pedálerőt.

Megjegyzés. A közúti vizsgálat veszélyes, ezért csak zárt pályán, a forgalomtól elzárt területen vagy az állomás által kijelölt útszakaszon végezhető. A mérést végző járműnek hatósági jelzéssel, a vizsgáztatónak megfelelő gyakorlattal kell rendelkeznie.

38.3.8. Légfékes járművek (M2, M3) fékvizsgálata

A légfékes autóbuszoknál és tehergépkocsiknál a fékhatás mérése mellett a **légrendszer üzemi állapotát** is vizsgálni kell, mert a fékhatás a rendelkezésre álló légnyomástól függ. A vizsgálati pontok:

- **Töltési idő:** a kompresszor a légtartályokat a gyártó által megadott idő alatt tölti fel a kapcsolási nyomásra (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Nyomásszabályozó működése:** a nyomás a gyártó által megadott felső és alsó érték között kapcsol (ellenőrizendő). Figyelmeztető jelzés aktiválódik, ha a nyomás túl alacsony (például 5,5 bar alatt – ellenőrizendő).
- **Tömítettség:** a rendszer nyomásesése a fékkamrák nélkül vagy azokkal, a gyártó/előírás szerinti határon belül marad (például 10 perc alatt legfeljebb 0,1 bar – ellenőrizendő).
- **Rugóerőtárolós rögzítőfék:** nyomás hiányában a rugóerőtárolós kamrák zárnak, oldásukhoz a gyártó szerinti nyomás szükséges. A vizsgálat során ellenőrzik a rögzítőfék működését és a vészoldó mechanizmust.
- **Fékpad mérés:** a légfékrendszerrel szerelt járműnél a fékerőket a görgős padon a légnyomás megadásával mérik. A jármű tengelyeit a pad forgatja, a vezető a fékpedált a megadott pedálerővel, illetve a légfékrendszer vezérlőnyomását a gyártói érték szerint működteti.

A légfékrendszerrel szerelt járműveknél a fékhatáson kívül a **fékerő-eloszlás** is fontos: a terhelt és üres állapot közötti eltérést a fékerő-szabályozó (ALB) hivatott kiegyenlíteni. A vizsgálat során az ALB működését is ellenőrzik (ha van).

Figyelem. A rugóerőtárolós kamra kézi oldása csak vontatáshoz, a gyártói eljárás szerint végezhető. Vizsgálat közben a légtartály nyomása alatt áll, ezért a csatlakozókat ne bontsa meg; a légtartályból a kondenzvizet csak a gyártói leeresztőn engedje le.

38.3.9. ABS légtelenítése és ellenőrzése

A hidraulikus ABS-szel szerelt járművek fékrendszerének légtelenítése speciális, mert a levegő az ABS blokkban is rekedhet. A gyártói utasítás gyakran diagnosztikai eszközzel működteti az ABS szivattyút és a szelepeket, hogy a levegőt kimossa a blokkból. A következő lépéssor tanulási útmutató, **nem helyettesíti a gyártói eljárást**.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. **Jármű előkészítése:** gyújtás le, a sebességváltó P vagy N állásban, a rögzítőfék behúzva. Emelje meg a járművet a gyártói emelési pontokon, és támassza bakra.
2. **Fékfolyadék szint ellenőrzése:** töltsön a gyártó által előírt DOT-osztályú fékfolyadékot a tartályba. A fékfolyadék higroszkópos (nedvszívó), ártalmas, és a fényezést károsítja: viseljen védőszemüveget és vegyszerálló kesztyűt, a kifröccsent folyadékot azonnal mossa le. A leeresztett folyadékot zárt edényben, veszélyes hulladékként gyűjtse; a nyitott tartályt ne hagyja sokáig nyitva.
3. **Diagnosztikai eszköz csatlakoztatása:** kösse az OBD-diagnosztikai műszert a járműhöz, és válassza ki az ABS légtelenítő funkciót (ha van). Kövesse a gyártó által megadott utasításokat.
4. **Légtelenítési sorrend:** a gyártói sorrend szerint haladjon (jellemzően a leghátsó, majd a legelső kerék). Nyissa a légtelenítő csavart, és működtesse az ABS szivattyút, ha az eljárás írja; közben a pedált lassan, teljesen lenyomva tartsa.
5. **Buborékmentes folyadék:** csukja a csavart, amikor a kifolyó fékfolyadékban már nem látszik buborék. Ne hagyja, hogy a tartály kiürüljön.
6. **Ismétlés:** ismételje meg a légtelenítést a többi keréken, majd a gyártói előírás szerint újra az ABS blokknál.
7. **Befejezés:** ellenőrizze a fékfolyadék szintjét, zárja a légtelenítő csavarokat a gyártói nyomatékkal (tanulási példa: 8–12 Nm, ellenőrizendő), törölje a hibakódokat, és végezzen fékrendszer-ellenőrzést.
8. **Próbaút:** alacsony sebességen, forgalomtól elzárt területen végezzen néhány fékezést; az ABS szabályozási működését a diagnosztikai műszer aktuátortesztjével vagy zárt pályán, oktatói felügyelettel ellenőrizze. Az ABS hiba esetén a műszerfallámpa világít – ezt ellenőrizze.

Minőségellenőrzés: A légtelenítés után a fékpedálnak keménynek kell lennie; a pedálut hosszú, szivacsos érzése levegőre utal. A fékpadi mérés során a fékhatásnak és a kerékfékerő-eltérésnek a határérték alatt kell maradnia.

38.3.10. Gyakorlati útmutató: görgős fékpadi mérés és kiértékelés

Cél: a jármű fékberendezésének fékhatását, kerékfékerő-eltérését és erőingadozását görgős fékpadon megmérni, kiértékelni.

Jármű- és adatazonosítás: olvassa ki a rendszámot, alvázszámot, futott kilométert. Rögzítse a tengelyterheléseket, a gumiabroncs méretét és nyomását, a fékrendszer típusát (hidraulikus/légfék, ABS/ESP).

Szükséges eszközök: görgős fékerőmérő próbapad, guminyomás-mérő, fékfolyadék-teszter (hidraulikus fékes járműnél), pedálerőmérő (ha a vizsgálat előírja).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkalépések:

1. Ellenőrizze a gumiabroncsok állapotát: ne legyenek sérültek, a mintázat az előírt határ felett, a nyomás a gyártói érték. Töltse be, ha szükséges.
2. Állítsa a jármű első tengelyét a görgőpárra. A jármű rögzítése a vizsgálóberendezés szerint (esetleg elmozdulásgátló).
3. Indítsa el a görgőket. A pad lassan forgatja a kerekeket; ellenőrizze, hogy nincs idegen zaj, a kerék szabadon forog.

4. A vizsgáztató a fékpedált a mérési protokoll szerint nyomja le, majd tartsa. A pad rögzíti a fékerőket. A pedálerőt is regisztrálhatja.
5. Ismételje meg a mérést a hátsó tengelyen; rögzítőfék vizsgálatánál a kéziféket működtesse, és mérje a rögzítőfék fékerőit.
6. A pad kiszámítja a fékhatást, az eltérést, az ingadozást, és összehasonlítja a határértékekkel.
7. Dokumentálja az eredményeket a vizsgálati jegyzőkönyvben.

Ellenőrzési pontok: a mérés közben a kerék ne csússzon a görgőn; ha csúszást észlel, ellenőrizze a gumiabroncsot és a pad görgőit. A pad által mért fékerő és a tengelyterhelés arányából számított fékhatás feleljen meg a hatósági előírásnak.

Tipikus hibák: alacsony abroncsnyomás, szennyezett vagy nedves a pad görgője, a jármű görgőn való megcsúszása, a rögzítőfék nincs teljesen behúzva.

Dokumentálás: a vizsgálati jegyzőkönyv tartalmazza a járműadatokat, a mért fékerőket, a fékhatást, az eltérést, az ingadozást, a pedálerőt, a gumiabroncsnyomást és a minősítést. A jegyzőkönyvet a vizsgáztató írja alá.

38.3.11. Valós életbeli alkalmazás: fékerő-eltérés a hátsó tengelyen

Ügyfélpanasz: „A műszaki vizsgán a hátsó tengelyen nagy a fékerő-eltérés, a pad megbuktatott.”

Mérési adatok: a hátsó tengelyen a bal fékerő 1,4 kN, a jobb 2,2 kN; a tengelyterhelés 4,6 kN. A fékhatás a tengelyen: (1,4+2,2)/4,6=78%, ami jó, de az eltérés (2,2-1,4)/2,2=36%, ami a példa szerint meghaladja a 30%-ot.

Feltételezett okok: bal hátsó fékpofa utánállítója beragadva, fékdob kopott vagy deformált, féktömlő beszűkült, a bal hátsó féknyereg dugattyúja szorul (tárcsafékes hátsó tengelynél).

Ellenőrzés: a kereket emeljük meg, forgassuk meg – a féket kiengedve a keréknek szabadon kell forognia. A bal hátsó kerék oldott féknél szabadon forog, de fékezéskor gyengén fékez. A bal fékdobot lehúzva látható, hogy a bal utánállító beragadt, ezért a pofák és a dob közötti hézag nagy, a pofák csak részben fekszenek fel, így a bal oldal kisebb erővel fékez.

Javítás: az utánállító szerkezet tisztítása, kenése a gyártó által előírt kenőanyaggal (a fékpofa súrlódó felületére nem kerülhet kenőanyag). A dob belső átmérőjét megmérjük: 260 mm, a megengedett legnagyobb 261,5 mm `(ellenőrizendő: gyártói kopási határ)`, tehát még használható.

Ellenőrzés: ismételt fékpadi mérés; az eltérés 36%-ról 8%-ra csökken, a fékhatás 80%. A vizsgálat megfelelő.

Tanulság: a nagy fékerő-eltérés önmagában nem feltétlenül fékhenger- vagy rendszerhiba; gyakran a mechanikus utánállító vagy a szennyezett, korrodált alkatrész az ok.

38.3.12. Tipikus hibák

1. **A fékpadi mérés előtt nem ellenőrzik a gumiabroncsnyomást.** Alacsony nyomásnál a gumi a görgőn csúszik, a mért fékerő hamis. A vizsgálat előtt mindig a gyártói nyomást kell beállítani.
2. **A fékerő-eltérést automatikusan féknyereg-hibának tulajdonítják.** Pedig a beragadt utánállító, a szennyezett fékfelület vagy a beszűkült tömlő is okozhatja. A célzott mérés – kerék szabad forgása, hőmérséklet, fékfolyadék nyomása – szükséges.

3. **Az erőingadozást a gumiabronccsal tévesztik össze.** Az erőingadozás a kerékfordulat során mért fékerőingadozás, nem a kormánykerék egyensúlyhiányából adódó remegés. A tárcsaütést és a vastagság-ingadozást mérőórával kell mérni.
4. **A légfékrendszer vizsgálatánál nem ellenőrzik a légnyomást.** A légfékrendszer fékerői erősen függnek a nyomástól. Ha a légtartály nincs feltöltve, a mérés alacsonyabb fékerőt mutat, és a rugóerőtárolós rögzítőfék oldása is kérdéses.

38.3.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a görgős fékpad a jármű lassulását méri közvetlenül.
2. Egy első tengelyen a bal kerék fékerője 3,0 kN, a jobb 3,6 kN. Mekkora a kerékfékerő-eltérés százalékban a nagyobb értékhez viszonyítva?
3. Igaz vagy hamis: nagy kerékfékerő-eltérés fékezéskor a jármű elfordulását okozhatja.
4. Egy kerék fékpadi mérésénél a maximális fékerő 4,0 kN, a minimum 3,2 kN. Számítsa ki az erőingadozást.
5. Miért kell az ABS légtelenítéséhez gyártói diagnosztikai funkciót használni?
6. Soroljon fel két lehetséges okot, amely a hátsó tengelyen nagy kerékfékerő-eltérést okoz.

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

38.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a fékhatás fogalmát, és adja meg képletét. Mi a különbség a jármű fékhatása és a tengely fékhatása között?

2. feladat (A). Egy személygépkocsi súlyereje 12,8 kN. A fékpadi mérésen az első tengelyen mért összes fékerő 5,6 kN, a hátsó tengelyen 3,2 kN. Számítsa ki a jármű összfékhatását százalékban.

3. feladat (B). Egy jármű közúti fékvizsgálatánál a kezdősebesség 50 km/h, a mért fékút 18,0 m. Számítsa ki a lassulást és a fékhatást.

4. feladat (B). Rendezze sorrendbe a görgős fékpadi mérés munkalépéseit: (a) a görgők elindítása, (b) a jármű azonosítása, (c) a fékpedál lenyomása a mérési protokoll szerint, (d) a gumiabroncsnyomás ellenőrzése, (e) a mérési jegyzőkönyv kiértékelése. Indokolja a sorrendet.

5. feladat (C). Miért veszélyesebb a nagy kerékfékerő-eltérés az első tengelyen, mint a hátsón? Magyarázza el az erőhatásokat.

6. feladat (D). Egy műszaki vizsgán a jobb első kerék fékerője 3,8 kN, a bal első 2,5 kN. A jármű kormánya fékezéskor erősen jobbra húz. Soroljon fel három lehetséges okot, és adja meg mindegyikhez a megfelelő diagnosztikai vizsgálatot.

38.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A görgős fékpad a kerekek fékerőit méri erőmérő cellákkal, nem a jármű lassulását.
2. Eltérés $= \frac{|3{,}6-3{,}0|}{3{,}6} \cdot 100\% = \frac{0{,}6}{3{,}6} \cdot 100\% \approx 16{,}7\%$.
3. Igaz. A nagy eltérés a járműre forgatónyomatékot ad fékezéskor, mert a nagyobb fékerő az egyik oldalon húzza a járművet.
4. Ingadozás $= \frac{4{,}0-3{,}2}{4{,}0} \cdot 100\% = \frac{0{,}8}{4{,}0} \cdot 100\% = 20\%$.

5. Az ABS blokkban levegő rekedhet, amit a hagyományos légtelenítés nem tud eltávolítani. A gyártói diagnosztikai funkció az ABS szivattyút és a szelepeket működteti, így a levegőt a folyadék kiöblíti.
6. Lehetséges okok: beragadt fékpofa utánállító (vizsgálat: kerék szabad forgatása, dob leszerelés), beszűkült féktömlő (vizsgálat: a tömlő nyomása fékoldás után, hőmérséklet), szoruló féknyeregdugattyú (vizsgálat: dugattyú visszanyomhatósága, féknyereg vezetőcsapok).

1. feladat (A). Fékhatás: a jármű összes fékerőjének és súlyerejének hányadosa, százalékban: $z = F_\mathrm{f}/F_\mathrm{G} \cdot 100\%$. A tengely fékhatása ugyanez a tengelyre vonatkoztatva, a tengelyterheléshez képest.

2. feladat (A). $F_\mathrm{össz} = 5{,}6 + 3{,}2 = 8{,}8\,\mathrm{kN}$. $z = \frac{8{,}8}{12{,}8} \cdot 100\% = 68{,}75\% \approx 68{,}8\%$.

3. feladat (B). $v = 50/3{,}6 = 13{,}89\,\mathrm{m/s}$. $a = v^2/(2s) = 13{,}89^2/(2 \cdot 18) \approx 5{,}36\,\mathrm{m/s^2}$. $z = 5{,}36/9{,}81 \approx 54{,}6\%$.

4. feladat (B). Helyes sorrend: b) jármű azonosítása, d) gumiabroncsnyomás ellenőrzése, a) görgők elindítása, c) fékpedál lenyomása, e) kiértékelés. Indoklás: a mérés csak azonosítás és előkészítés után végezhető, a kiértékelés a mérés után.

5. feladat (C). Az első tengelyen a kerékfékerő-eltérés közvetlenül hat a kormányzott kerekekre: ha a jobb oldali kerék erősebben fékez, a jármű jobbra fordul, a vezetőnek ellentartása szükséges. A hátsó tengelyen az eltérés inkább a jármű farát billenti, ami kipörgéshez vezethet, de az első tengelyi eltérés a kormányozhatóságot közvetlenül veszélyezteti. Fékerő-eltérés okozta legyezés: a két kerék fékerő-különbsége nyomatékot ad a jármű függőleges tengelye körül.

6. feladat (D). Lehetséges okok és vizsgálatok: - Bal első féknyereg dugattyú szorul: a dugattyú visszanyomhatósága, vezetőcsapok szabad mozgása, féknyereg hőmérséklete. - Bal első féktömlő belül beszűkült: féknyomás mérése a tömlőnél, a fék felengedése utáni szivárgás. - Bal első fékbetét üvegesedett/szennyezett: betét- és tárcsafelület szemrevételezése, vastagságmérés. - Ritkábban a jobb oldal túl erős fékhatása is okozhatja (pl. olajos vagy új, még be nem futott betétpár csak az egyik oldalon); ezt a betétek összehasonlításával kell kizárni.

Az eltérés: $\frac{3{,}8-2{,}5}{3{,}8} \cdot 100\% \approx 34{,}2\%$, ez meghaladja a 30%-os példahatárt.

38.3.16. Rövid összefoglaló

A fékberendezés hatósági és diagnosztikai vizsgálatának központi eleme a **görgős fékerőmérő próbapad**, amely a tengelyeket görgőkkel forgatja, és a kerekek fékerőit erőmérő cellákkal méri. A fékhatás a mért fékerő és a jármű súlyerejének hányadosa ($z = F_\mathrm{f}/F_\mathrm{G} \cdot 100\%$), a tengely fékhatása a tengelyterhelésre vonatkozik. A minősítés a **hatásosságon** kívül a **kerékfékerő-eltérést** és az **erőingadozást** is értékeli; ezek határértékeit a hatályos vizsgálati előírás tartalmazza (ellenőrizendő). A nagy eltérés fékezéskor elfordíthatja a járművet, az ingadozás a tárcsa/dob deformációjára utal. A közúti mérés a lassulásból számol fékhatást ($a = v^2/(2s)$, $z = a/g$), ha a görgős pad nem alkalmazható. Légfékes járműveknél a légnyomás, tömítettség, a rugóerőtárolós rögzítőfék és a fékerő-szabályozó működését is ellenőrzik. Az ABS légtelenítésekor a gyártói diagnosztikai funkció szükséges, mert a levegő az ABS blokkban rekedhet. **Továbbvitt eredmény.** A fékpadi kiértékelés során kapott fékerő- és fékhatás-értékeket a Fékjavítás alfejezetben az alkatrészcsere utáni ellenőrző mérésre, a Próbavizsga és önértékelés alfejezetben pedig a komplex vizsgafeladat értékelésére használjuk fel.

38.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB 13. és 13-H. előírás a fékberendezésekre (ellenőrizendő: hatályos változatok); magyar 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról és a hatályos vizsgálati módszertani előírás (ellenőrizendő); gyártói javítási utasítások a légtelenítéshez, fékkamra-adatok, kopási határok, meghúzási nyomatékok. A fejezetben szereplő határértékek, példa fékerő- és ingadozás-értékek tanulási példák, nem helyettesítik a hatályos vizsgálati határértékeket vagy a gyártói adatokat.

38.4. Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája

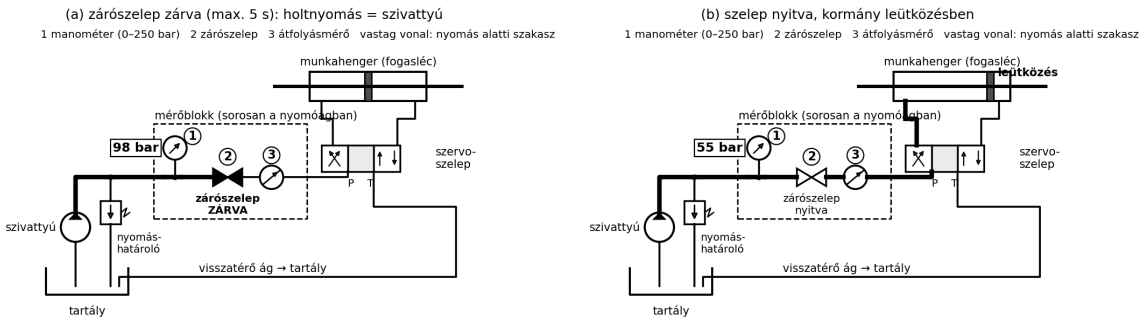
38.4.1. Bevezetés: miért kell mérni a hidraulikus rendszert?

A műhelyben gyakori panasz: „nehéz a kormány”, „búg a szervó”, „fogja a kormányt”, „rezeg a kormány beállásnál”. Az autószerelő ilyenkor ne csak alkatrészt cseréljen, hanem mérje meg a hidraulikus kör jellemzőit: nyomás, térfogatáram, szivárgás, hőmérséklet. Ugyanez a gondolkodásmód kell más hidraulikus rendszereknél – például hidraulikus ventilátornál, tehergépkocsi-platóemelőnél, szerszámhordozó körnél –, mert a panasz hátterében lehet szivattyú, szelep, munkahenger, tömlő vagy akár rossz folyadék is.

Ebben az alfejezetben a zárt és nyitott hidraulikus körök ellenőrző méréseit, a hidraulikus szervokormány diagnosztikáját és az elektromechanikus szervokormány (EPS) hibakeresését tanuljuk meg.

38.4.2. Szemléletes kép: nyomásmérő a szervokormány körben

Képzelj el egy fogasléces, hidraulikus szervokormányt. A szivattyú a motor ékszíjáról hajtva a tartályból szívja az olajat, és a nyomóvezetéken a szervoszelephez szállítja. A szervoszelep a kormánykerékre kifejtett nyomatékkal nyit, és a megfelelő irányba engedi az olajat a munkahenger egyik oldalába. A másik oldali olaj a visszatérő vezetéken át a tartályba jut. A diagnosztika során egy **T-idommal** a nyomóágba kötünk be egy hitelesített manométert, a visszatérő ágba pedig térfogatáram-mérőt vagy legalább mérőedényt és stopperórát. Így látjuk a kettős jellemzőt: mekkora nyomást tud a szivattyú felépíteni, és mennyi olaj áramlik ténylegesen.



38.9. ábra. A szervokormány hidraulikus köre a sorosan bekötött mérőblokkal (példaértékek, ellenőrizendő)

Az ábrán a mérőblokk a szivattyú és a szervoszelep közé, sorosan kerül: elöl a manométer (1), utána a zárószelep (2) és az átfolyásmérő (3). Zárt zárószelepnél (a) a manométer a szivattyú holtnyomását mutatja (példa: 98 bar), nyitott szeleppel és leütközésben tartott kormánnyal (b) a kormányművel együtt mért nyomást (példa: 55 bar). Ha a holtnyomás jó, de leütközésben a nyomás jóval kisebb, a nyomás a kormányműben (szervoszelep vagy munkahenger) szökik el; ha már a holtnyomás is alacsony, a szivattyú vagy a nyomáshatároló a hibás. A HTML-változat a mérést lépésenként játssza le.

38.4.3. Zárt és nyitott hidraulikus körök: fogalmak és mérési szemlélet

Definíció. Nyitott hidraulikus rendszer az, amelyben a szivattyú a szabad – a légkörrel érintkező – tartályból szív, a visszatérő olaj pedig ugyanabba a tartályba kerül vissza. A nyitott rendszer szivattyúja gyakran állandó térfogatáramú, és a fogyasztó nem működésekor a folyadék egy nyitott középállású szelepen vagy nyomáshatárolón át recirkulál.

Definíció. Zárt hidraulikus rendszer – más néven hidrosztatikus kör – az, amelyben a folyadék a szivattyú és a fogyasztó (hidromotor, munkahenger) között zárt körben áramlik, a szivattyú bemenetét nem a tartály adja, hanem a fogyasztó visszatérő ága. A belső szivárgások miatt egy kis töltőszivattyú pótolja a folyadékot.

A két rendszer mérési pontjai ezért különböznek:

- **Nyitott rendszerben** a belépő szívóoldal, a nyomóág, a fogyasztó és a visszatérő ág mind hozzáférhető; mérünk szívóoldali vákuumot, nyomóoldali nyomást, visszatérő nyomást és térfogatáramot.
- **Zárt rendszerben** a mértékadó a két főág közötti nyomáskülönbség, a töltőnyomás, a szivárgási olajmennyiség és a fordulatszámfüggő szállítás.

Összefüggés. A hidraulikus teljesítmény:

$$P_{\text{hidr}} = p \cdot Q,$$

ahol p a nyomáskülönbség (Pa), Q a térfogatáram (m³/s). A szivattyút meghajtó mechanikai teljesítmény:

$$P_{\text{mech}} = \frac{P_{\text{hidr}}}{\eta},$$

ahol η a hidraulikus és mechanikai hatásfok szorzata.

Szabály. A mérés során mindig a gyártói javítási utasításban megadott mérési pontokon, mérési csatlakozókon és lezárási eljárással dolgozzunk. A mért értéket a gyártói határértékekkel hasonlítjuk össze.

38.4.4. Felépítés és működés: mérési elrendezés

38.4.4.1. Nyomásmérés

A nyomásmérőt mindig a nyomóágba, a szivattyú és a fogyasztó közé, lehetőleg a gyártói tesztcsatlakozóra kötjük. A mérőműszer legyen az adott nyomástartományra alkalmas; hidraulikus szervokormánynál a csúcsnyomás gyakran 80–120 bar körül van, ezért legalább 160–250 bar méréshatárú műszert válasszunk **(ellenőrizendő: a jármű gyártói adata, mert típusfüggő)**. A mérőcsatlakozó gyári O-gyűrűjét sérülésmentesen kell visszaszerelni. A méréshez a motort alacsony fordulaton járatjuk.

Figyelem. A kilépő hidraulikafolyadék-sugár a bőrbe hatolva súlyos, akár maradandó sérülést okoz; a nyomás alatti rendszert **tilos** bontani. A nyomásmentesítést a gyártói eljárás szerint végezzük, a kormányt a mérés közben ne tarthassuk hosszan leütközésben, mert az olaj hirtelen felmelegszik.

38.4.4.2. Térfogatáram-mérés

A térfogatáramot a nyomó- (vagy visszatérő) ágba sorosan bekötött átfolyásmérővel mérjük, járó motornál, zárt körben (`ellenőrizendő: gyártói mérési eljárás és határérték`). A visszatérő ágat nyitott mérőedénybe vezetni tilos: a szivattyú teljes szállítása (néhány l/min) a tartályt másodpercek alatt kiüríti, a szivattyú szárazon fut, és a forró olaj kifröccsenhet. A mérés előtt az olajszintet a gyártói jelölésre ellenőrizzük, és a rendszert légtelenítjük. A szivattyú hideg olajjal nagyobb térfogatáramot szállíthat, mint melegen, ezért a mérési feltételeket – hőmérséklet, fordulatszám – rögzíteni kell.

A szivárgásmérés a belső tömítések állapotáról ad képet: ha a szivattyú meleg olajjal, terhelés alatt nem tudja a gyártói térfogatáramot, akkor a szivattyú belső szivárgása nőtt meg, vagy a szervoszelep fojtása hibás.

38.4.5. Kidolgozott példák

1. példa – nyomáskülönbségből származó rásegítő erő.
Adott: a szervokormány munkahengerének hatásos dugattyúfelülete $A = 8{,}04\,\mathrm{cm}^2$, a mért nyomáskülönbség $\Delta p = 80\,\mathrm{bar}$.
Keresett: a munkahenger rásegítő ereje.
Képlet: $F = \Delta p \cdot A$.
Behelyettesítés: $A = 8{,}04\,\mathrm{cm}^2 = 8{,}04 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$; $\Delta p = 80\,\mathrm{bar} = 8{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Pa}$.
Számolás: $F = 8{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Pa} \cdot 8{,}04 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^2 = 6432\,\mathrm{N}$.
Ellenőrzés: egy 8 cm² felületű dugattyú 80 baron 6,4 kN erőt ad, ami a valós szervorásegítő erő nagyságrendjébe illik.

2. példa – hidraulikus teljesítmény és szivattyúhajtás.
Adott: nyomáskülönbség $p = 90\,\mathrm{bar}$, térfogatáram $Q = 6\,\mathrm{l/min}$, összhatásfok $\eta = 0{,}75$.
Keresett: a hidraulikus teljesítmény és a szivattyú mechanikai teljesítményigénye.
Képlet: $P_{\mathrm{hidr}} = p \cdot Q$; $P_{\mathrm{mech}} = P_{\mathrm{hidr}} / \eta$.
Átváltás: $p = 9{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Pa}$; $Q = 6\,\mathrm{l/min} = 0{,}1\,\mathrm{l/s} = 1{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$.
Számolás: $P_{\mathrm{hidr}} = 9{,}0 \times 10^{6} \cdot 1{,}0 \times 10^{-4} = 900\,\mathrm{W}$.
$P_{\mathrm{mech}} = 900 / 0{,}75 = 1200\,\mathrm{W}$.
Ellenőrzés: a hidraulikus szervó szivattyúja terhelés alatt valóban 1–2 kW körüli tengelyteljesítményt vehet fel, a mért adatsor tehát reális.

38.4.6. A hidraulikus szervokormány diagnosztikája

38.4.6.1. Nyomás- és szivárgásmérés

A hidraulikus szervokormány diagnosztikájának lelke a **leütközési nyomásmérés**. A kormányt óvatosan, lassan a végállásig forgatjuk, és a manométerről leolvassuk a csúcsnyomást. A végállásban a szervoszelep egyrészt zár, másrészt a nyomáshatároló is működésbe lép; az elérhető csúcsnyomást ezért a nyomáshatároló beállítása szabja meg; ha a csúcsnyomás a gyártói érték alatt marad, a szivattyú, a nyomáshatároló vagy a belső szivárgás a gyanús. A holtnyomás-mérést a manométerrel együtt kötött zárószeleppel végezzük: a szelepet legfeljebb néhány másodpercre zárjuk (`ellenőrizendő: gyártói előírás, jellemzően 5 s`), mert hosszabb zárásnál az olaj hirtelen túlmelegszik, a szivattyú és a tömlők károsodnak. Ha a holtnyomás eléri a gyártói értéket, de leütközéskor kisebb nyomást mérünk, a szivárgás a kormányműben (szervoszelep, munkahenger) van; ha a holtnyomás is alacsony, a szivattyú vagy a nyomáshatároló a hibás.

Ha a nyomás gyengén épül fel:

1. olajszint, szívóoldali tömítés, szívószűrő;
2. ékszíj feszessége, csúszása, szivattyú fordulatszáma;
3. szivattyú belső szivárgása;
4. szervoszelep belső szivárgása;
5. munkahenger dugattyú–rúd tömítésének átfolyása.

A **szivárgás** közvetett meghatározása nyomás alatt, szabályozott terheléssel, az átfolyásmérő és a manométer adataiból történik. Ha a szállított térfogatáram a gyártói érték alatt marad, és a nyomás sem éri el a gyártói csúcsértéket, a szivárgás a rendszeren belül van – leginkább a szivattyú vagy a szervoszelep felületpárjain. A mérési adatokból gyakran nem lehet egyértelműen azonosítani a hibás komponenst, ezért jól bevált módszer a **szekunder mérés**: a nyomóvezeték és a szervoszelep közötti szakasz fokozatos lezárása, a szivattyú holtnyomásának mérése, majd összehasonlítás a rendszerből származó csúcsnyomással.

38.4.6.2. Elektromechanikus szervokormány (EPS)

Az EPS-ről az Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás alfejezetben tanultuk: nincs hidraulikaolaj, a rásegítést villanymotor adja. A diagnosztika itt három pilléren áll:

- **Fedélzeti diagnosztika:** hibakódok kiolvasása, fagyasztott adatkeret, vezérlőegység szoftververziója, kalibrációs állapot.
- **Élő adatok:** kormánynyomaték-érzékelő jel, kormányszög-érzékelő jel, motorfázisáram, motorfordulatszám, hőmérséklet, betápfeszültség.
- **Beavatkozó teszt és kalibrálás:** a gyártói rendszerteszterrel a motor rövid beavatkoztatása, a nyomatékjel nullpontjának és a véghelyzet-kalibrációnak a tanítása. A kormányszög-érzékelő nullpontját a kerékbeállítás után mindig ellenőrizni kell.

Példa. Ha az EPS hibakódja „nyomatékérzékelő belső ellenőrző jel eltérés”, akkor az érzékelőt nem szabad azonnal cserélni; előbb a csatlakozó tápfeszültségét, a jelvezetékek állapotát, a vezérlőegység szoftverfrissítését és a gyártói mérési útmutatót kell követni. A hibakód a vezérlés biztonsági kikapcsolását is okozhatja, ami nehéz kormányzást eredményez.

38.4.7. Előírások és biztonság

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. A hidraulikus rendszer nyomás alatt álló csatlakozóját, tömlőjét vagy mérőpontját **tilos** megbontani. A mérés megkezdése előtt a rendszert a gyártói eljárás szerint nyomásmentesíteni kell, a motor leállításával, a kormány óvatos mozgatásával (hidraulikus szervokormánynál), és a csatlakozókat csak ezután szabad oldani. A kifutó olajat gyűjtőedénnyel kell felfogni; a forró folyadék égési sérülést okozhat.

Környezetvédelem. A hidraulikaolaj veszélyes hulladék lehet, ezért fáradt olajat, tisztítórongyot és szűrőket a műhely veszélyeshulladék-nyilvántartása szerint kell gyűjteni **(ellenőrizendő: a hatályos hulladékgazdálkodási előírás)**. A kiömlött olajat fel kell itatni, és nem mosható csatornába.

38.4.8. Minőségellenőrzés: mit mérünk?

Az alábbi ellenőrzőlista segít a mérési terv felállításában:

1. Olajszint és olajállapot (elszíneződés, habzás, égett szag).
2. Szívóoldali vákuum és tömítettség (levegőbeszívás).
3. Ékszíj feszessége, kopása, szivattyú fordulatszáma.
4. Csúcsnyomás leütközés közben.
5. Alapjárati és terhelési térfogatáram.
6. Olaj hőmérséklete és a szállított térfogatáram.
7. EPS esetén hibakód, élő adat, nullpont-kalibráció.

38.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy személyautó ügyfele arról panaszkodik, hogy hideg motorral a kormány könnyű, de melegen, városi araszolás után nehézzé válik. Az olajszint jó, a szíj feszes, szivárgás nem látható. A nyomásmérőt a nyomóágba kötve hidegen a csúcsnyomás 98 bar, melegen 55 bar; az átfolyásmérővel mért térfogatáram melegen feltűnően kicsi. A kopás miatt megnőtt a belső rés; meleg olajnál a viszkozitás erősen csökken, ezért ugyanazon a résen sokkal több olaj folyik vissza, és a szivattyú nem tudja felépíteni a nyomást. A javítás a szivattyú felújítása, mert a belső rés a gyártói kopási határ felett volt. A csere után a légtelenítést és a leütközési nyomás ellenőrzését is elvégeztük.

38.4.10. Gyakorlati útmutató: hidraulikus szervokormány nyomás- és térfogatáram-mérése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél: a nehéz kormányzás okának behatárolása.

Szükséges eszközök: védőkesztyű, védőszemüveg, gyűjtőedény, tisztítórongy; kulcskészlet, racsni, nyomatékkulcs; gyártói mérési adatok; hidraulikus manométer (0–250 bar) zárószeleppel, T-idom és adaptersorozat; átfolyásmérő; rendszerteszter EPS-vizsgálathoz; hőmérő.

Munkalépések:

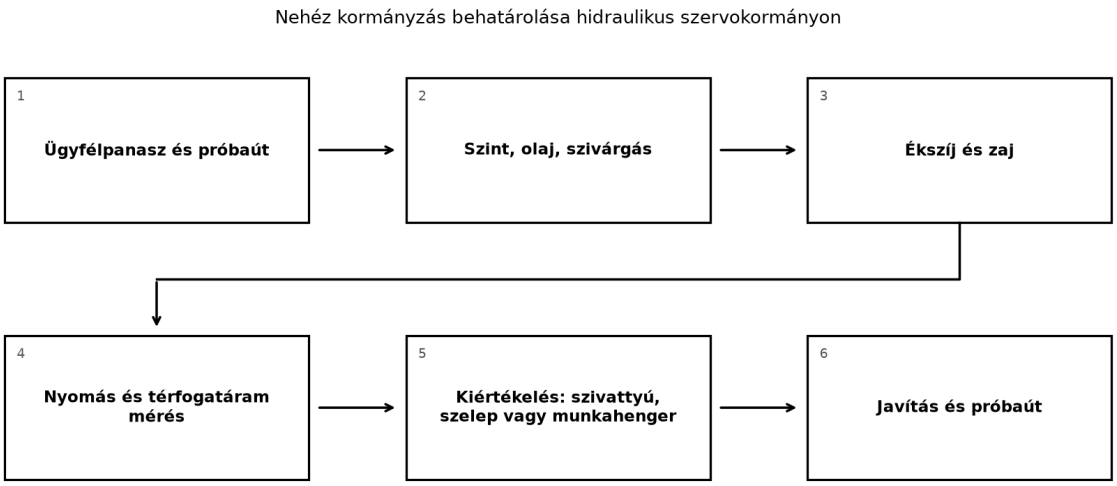
1. Azonosítsd a járművet, a szervokormány típusát (hidraulikus, elektrohidraulikus, EPS), és ellenőrizd a gyártói javítási utasítást.
2. Rögzítsd az ügyfélpanaszt és a próbaút tapasztalatait.
3. A motort leállítva, a kormányt nem forgatva ellenőrizd az olajszintet a tartályon.
4. Ellenőrizd az ékszíjfeszességet és a szivattyú körüli szivárgásnyomokat.
5. **Nyomásmentesítsd** a rendszert a gyártói eljárás szerint; a motort leállítva, a kormányt egyszer-kétszer óvatosan mozgasd, majd a gyártói mérési ponton köss be a manométert.
6. Indítsd be a motort, légtelenítsd a rendszert a gyártói utasítás szerint (a kormány lassú, teljes kitérítése mindkét irányba, a szintet pótolva).
7. Mérd meg az alapjárati nyomást – jellemzően 10–30 bar közötti, de mindig a gyártói értékhez viszonyítsd **(ellenőrizendő: gyártói adat)**.
8. Lassan forgasd a kormányt az egyik leütközésig, és olvasd le a csúcsnyomást. A végállást ne tartsd 5 másodpercnél tovább.
9. Ismételd meg a másik irányban.
10. Olvasd le az átfolyásmérőről a térfogatáramot alapjáraton és a gyártó által előírt fordulaton, meleg olajjal.
11. Hasonlítsd össze a csúcsnyomást, az átfolyást és a hőmérsékletet a gyártói határértékekkel.
12. Rögzítsd a mérési adatokat, az elvégzett beavatkozásokat és a légtelenítést a munkalapon.

Tipikus hibák a mérés közben: a leütközés túl hosszú tartása, a gyári mérési pont elkerülése, az eltérő viszkozitású, nem megfelelő olaj használata.

38.4.11. Diagnosztikai recept: nehéz kormányzás behatárolása

A következő számozott lépéssor a hibakeresés vázlata:

1. Ügyfélpanasz és próbaút: mikor nehéz, egyenletes-e, van-e zaj.
2. Szint, olaj, szivárgás, szíjfeszesség, szivattyúzaj.
3. Hibakód és élő adat kiolvasása (EPS esetén kötelező, hidraulikusnál támogató).
4. Nyomásmérés a gyártói mérési ponton.
5. Térfogatáram- és szivárgásmérés.
6. A mért adatokból a hiba behatárolása: szivattyú, szervoszelep, munkahenger vagy elektronika.
7. Javítás, légtelenítés, kalibrálás, próbaút.
8. Visszamérés és dokumentálás.



38.10. ábra. Nehéz kormányzás behatárolása hidraulikus szervokormányon - Szemléltető diagnosztikai lépéssor; a gyártói javítási utasítás és határértékek az elsődlegesek.

38.4.12. Tipikus hibák

1. **Nyomás alatti bontás.** A legveszélyesebb hiba, amikor a szerelő a járó motor mellett, nyomás alatt lazítja meg a hidraulikus csatlakozót. Helyes eljárás: motor leállítása, nyomásmentesítés, csak utána bontás.
2. **Fékfolyadék betöltése a szervokormányba.** A fékfolyadék nem hidraulikaolaj, tönkreteheti a tömítéseket, habzást, szivárgást okoz. Mindig a gyártó által előírt hidraulikafolyadékot használjuk.
3. **Légtelenítés elmulasztása.** Szivattyú- vagy csőcsere után a bennmaradt levegő miatt búgó hang, habzó olaj, csökkent rásegítés jelentkezik. A légtelenítést a gyártói eljárás szerint, a kormány lassú kitérítésével kell elvégezni.
4. **A leütközési nyomást hosszú ideig tartják.** A végállásban a nyomáscsúcs és a recirkuláció hirtelen felmelegítheti az olajat, ami károsítja a tömítéseket és a szivattyút.
5. **Hibakód alapján azonnali alkatrészcsere.** EPS-rendszernél a nyomatékérzékelő hibakódja mögött lehet rossz csatlakozó, testzárlat, feszültségcsökkenés vagy szoftverprobléma is; előbb célzott mérést kell végezni.

38.4.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Nyitott hidraulikus rendszerben a szivattyú a tartályból szív, és a visszatérő olaj is a tartályba kerül. Indokold!
2. Számold ki: mekkora erőt ad egy $6\,\mathrm{cm}^2$ hatásos felületű dugattyú, ha a nyomáskülönbség $100\,\mathrm{bar}$?
3. Mi a hiba abban a leírásban, hogy „a hidraulikus szervokormány nyomóoldali T-idomát járó motor mellett lazítjuk meg, hogy a szivárgást lássuk”?
4. Miért kell az EPS-nél a kormányszög-érzékelő nullpontját kalibrálni a kerékbeállítás után?
5. Egy szervokormány hideg motorral 95 bar leütközési nyomást ad, meleg motorral 40 bar-t. Melyik alkatrészre gyanakszol, és milyen méréssel erősíted meg?

38.4.14. Feladatok

1. feladat (A)
Egy hidraulikus munkahenger dugattyúfelülete $A = 10\,\text{cm}^2$, a mért nyomáskülönbség $\Delta p = 60\,\text{bar}$. Mekkora a rásegítő erő? Az eredményt add meg newtonban.

2. feladat (A)
Egy hidraulikus szivattyú $Q = 8\,\text{l/min}$ térfogatáramot szállít $p = 70\,\text{bar}$ nyomáskülönbség mellett. Hatásfoka $\eta = 0{,}8$. Mekkora a hidraulikus teljesítmény és a szivattyú mechanikai teljesítményigénye?

3. feladat (B)
Sorold fel két oszlopban a nyitott és a zárt hidraulikus kör legfontosabb mérési pontjait, és indokold, miért nem mérhető ugyanott a szivárgás a két rendszerben.

4. feladat (B)
A szervokormány mérésénél hideg olajjal a csúcsnyomás 92 bar, az átfolyásmérő 6,5 l/min térfogatáramot mutat. Melegen a csúcsnyomás 50 bar, a térfogatáram 3,8 l/min. Értékeld az eredményt: mi a valószínűsíthető hiba, és milyen további mérést javasolsz?

5. feladat (C)
Egy EPS-rendszerű autó kormánya jobbra könnyű, balra nehéz, egyenes úton a jármű enyhén jobbra húz. Hibakód nincs. A nyomatékérzékelő jele középállásban 2,9 V, jobbra terhelve 4,0 V, balra 1,8 V (gyártói példaérték: középen 2,5 ± 0,1 V; ellenőrizendő). Milyen hiba lehetséges, és miért nem szabad alkatrészt cserélni a mérés nélkül?

6. feladat (D)
Írd le a hidraulikus szervokormány diagnosztikai mérésének lépéseit, ha az ügyfél panasza „reggel első indításnál csikorog, és a kormány akadozik”. Melyik mérési pontot ellenőrzöd először, és mi a lehetséges ok?

38.4.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A nyitott kör definíciója szerint a tartály szabad, a szivattyú onnan szív, és a visszatérő olaj is oda kerül.
2. $A = 6\,\text{cm}^2 = 6 \times 10^{-4}\,\text{m}^2$; $\Delta p = 100\,\text{bar} = 10^7\,\text{Pa}$; $F = \Delta p \cdot A = 10^7 \cdot 6 \times 10^{-4} = 6000\,\text{N}$.
3. A leírás veszélyes: nyomás alatt **tilos** a T-idomot lazítani. A nyomásmentesítés után, leállított motornál, gyűjtőedény mellett lehet mérni.
4. A kormányszög-jel az ESP, sávtartás és más rendszerek számára alapvető; a kerékbeállítás után a nullpontnak meg kell egyeznie a jármű egyenes irányával, ezért kalibrálni kell.
5. A melegre csökkenő nyomás a hőfüggő belső szivárgásra utal, elsősorban a szivattyúra. A szivárgásmérés (térfogatáram meleg olajjal, terhelés alatt) és a szivattyú holtnyomása erősíti meg.

1. feladat megoldása
$A = 10\,\text{cm}^2 = 10^{-3}\,\text{m}^2$; $\Delta p = 60\,\text{bar} = 6 \times 10^6\,\text{Pa}$;
$F = 6 \times 10^6 \cdot 10^{-3} = 6000\,\text{N}$.

2. feladat megoldása
$Q = 8\,\text{l/min} = 8/60 = 0{,}133\,\text{l/s} = 1{,}33 \times 10^{-4}\,\text{m}^3/\text{s}$;
$p = 70\,\text{bar} = 7 \times 10^6\,\text{Pa}$;

$P_{\text{hidr}} = 7 \times 10^{6} \cdot 1{,}33 \times 10^{-4} = 933\,\text{W}$.
$P_{\text{mech}} = 933/0{,}8 = 1166\,\text{W} \approx 1{,}17\,\text{kW}$.

3. feladat megoldása
Nyitott rendszerben a szivattyú szívóágában vákuumot, a nyomóágban nyomást, a visszatérő ágban nyomást és térfogatáramot mérünk; a szivárgás a rendszerből a tartályba folyó olajmennyiségből látható. Zárt rendszerben a kör zárt, a szivárgás a töltőszivattyú által pótolt folyadékmennyiségből, a töltőnyomásból és a rendszer melegedéséből állapítható meg. Ugyanott mérni szivárgást nem lehet, mert a zárt körön belül a folyadék nem a tartályba távozik.

4. feladat megoldása
Hidegen a térfogatáram 6,5 l/min, melegen 3,8 l/min (a csökkenés 2,7 l/min, azaz kb. 42%). A melegen lecsökkenő csúcsnyomás és a lecsökkent szállított mennyiség a kopott, nagy résű szivattyú meleg olajnál (a viszkozitás csökkenése miatt) fellépő megnövekedett belső szivárgására utal. Javasolt: a szivattyú holtnyomásának mérése, a szívóoldali vákuum ellenőrzése, majd a szivattyú felújítása vagy cseréje a gyártói útmutató szerint.

5. feladat megoldása
A jel +0,4 V nullponteltolódást mutat (2,9 V a 2,5 V helyett), ezért a vezérlő jobbra irányuló kézi nyomatékot érzékel, és jobbra rásegít. Mivel a jel a megengedett tartományon belül van, hibakód nem keletkezik. Teendő: tápfeszültség és testpont mérése, csatlakozó ellenőrzése, majd a nyomatékérzékelő nullpont-kalibrálása a gyártói eljárással; csere csak sikertelen kalibrálás után.

6. feladat megoldása
Első lépés a szint, az olaj habzásának, a szivattyú szívóoldali tömítésének ellenőrzése, mert a reggeli csikorgás és akadozás leggyakrabban levegőbeszívás miatti habzó olaj. Ezt követően hideg indításnál szívóoldali vákuummérést végzünk, ellenőrizzük a szíjfeszességet, majd nyomásmérést. A levegő a szívócső repedésén, rossz tömítésén juthat be; a javítás után légtelenítés és próbaút szükséges.

38.4.16. Rövid összefoglaló

A hidraulikus rendszer diagnosztikája a nyomás, térfogatáram, szivárgás és hőmérséklet együttes mérésére épül. Nyitott körben a szivattyú szívóoldala, nyomóoldala, visszatérő ága és a tartály folyadékmennyisége mérhető; zárt körben a főági nyomáskülönbség, a töltőnyomás és a pótolt folyadékmennyiség a jellemző adat. A hidraulikus szervokormánynál a leütközési csúcsnyomás, a visszatérő szivárgás és a szívóoldali tömítettség a hibabehatárolás kulcsmérései; a hiba lehet szivattyú, szervoszelep, munkahenger, szíjhajtás vagy levegős rendszer. Az elektromechanikus szervokormány diagnosztikája hibakód-, élő adat-, nyomaték- és kormányszög-jel-mérésre, valamint kalibrálásra épül. Nyomás alatt a hidraulikus rendszert **tilos** bontani; a munkát a gyártói javítási utasítás szerint, légtelenítéssel és a használt olaj szakszerű kezelésével kell végezni.

Továbbvitt eredmény. A hidraulikus kör mérése – nyomás, térfogatáram, szivárgás – és a gyártói adatokkal való összehasonlítás az Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű alfejezetben a szervokormány-javításnál, valamint a Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás alfejezetben az általános hidraulika-hibaelhárításnál tér vissza.

38.4.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási utasítások (szervokormány rendszerdiagnosztika, EPS-kalibrálás), ISO 1219 szabványcsalád a hidraulikus rajzjelekre, járművillamossági és hidraulikus diagnosztikai tankönyvek, valamint a munkavédelmi és hulladékgazdálkodási előírások. A megadott

nyomás- és térfogatáram-értékek, csúcsnyomások, hatásfokok, kopási határok és a kalibrációs eljárások tanulási példák **(ellenőrizendő: az adott jármű gyártói adatai; a hidraulikus rendszer biztonsági előírásai, a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó hatályos jogszabályok)**.

39 Villamos diagnosztika

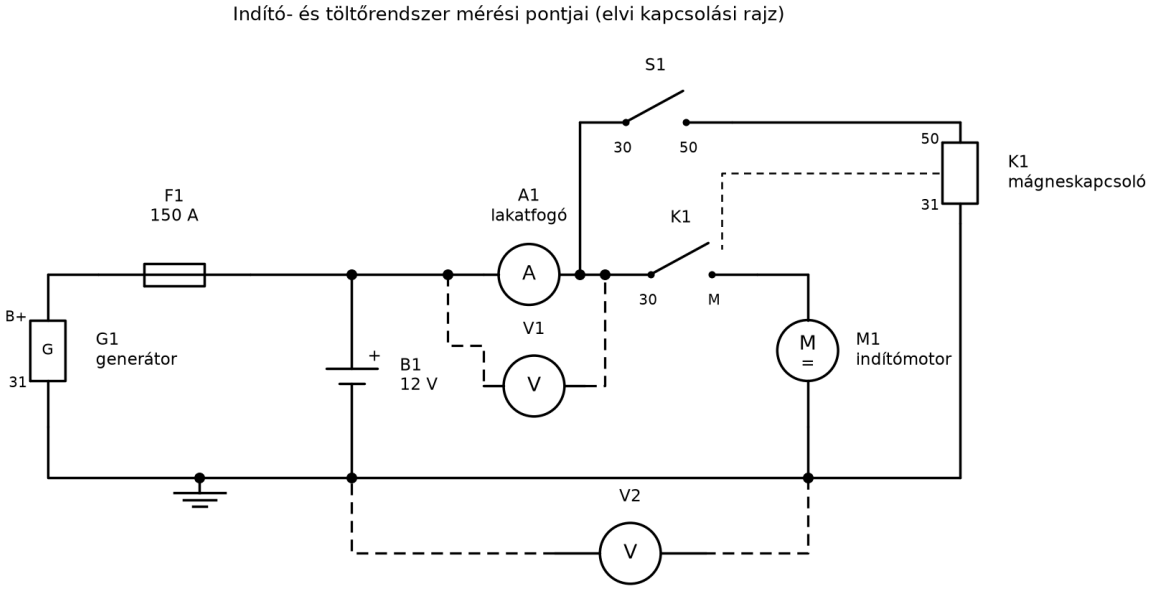
39.1. Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája

39.1.1. Motiváció

Egy hideg reggelen az ügyfél panasza: „alig forgatta meg a motort, mintha lemerült volna az akkumulátor”. A tanuló feladata nem az, hogy azonnal új akkumulátort adjon el, hanem hogy **indítás előtt, terhelés alatt és töltés közben mérve** megtalálja, hol veszik el a feszültség és az áram. Ugyanez a szemlélet kell a másik gyakori hibához is: az autó éjszaka lemerül, vagy a töltőfeszültség nem megfelelő. Ebben az alfejezetben az akkumulátor, az indítókör, a generátor és a nyugalmi áram vizsgálatát tanuljuk meg úgy, ahogyan egy valódi hibakeresés során egymásra épülnek.

39.1.2. Szemléletes kép: az indító- és töltőrendszer kapcsolási vázlata

Az alábbi kapcsolási rajz a jármű fedélzeti hálózatának csak azon részeit mutatja, amelyeket az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája során mérünk. A rajzon a 30-as akkumulátor-plusz ág vezet a generátor B+ kimenetére, a biztosítéktáblára és az indítómotor mágneskapcsolójának főérintkezőjére. Az 50-es kapocs a gyújtáskapcsolóból a mágneskapcsoló vezérlőtekercsét táplálja. A test oldalon minden egység a 31-es testelési ponthoz csatlakozik. A feszültségmérőt párhuzamosan, az árammérő lakatfogót vagy söntöt sorosan kötjük be, ahogy azt a Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó alfejezetben tanultuk.



39.1. ábra. Indító- és töltőrendszer mérési pontjai (elvi kapcsolási rajz) - Szemléltető vázlat, alaphelyzet (gyújtás ki); a gyártói áramútrajz a mérvadó. B1: akkumulátor, G1: generátor (B+ kimenet, a 30-as ágra), F1: a generátor B+ ágának főbiztosítója (az érték példa, ellenőrizendő), K1: az indítómotor mágneskapcsolója (tekercs 50–31, főérintkező 30–M), M1: indítómotor, S1: gyújtáskapcsoló indító (50) állása. Mérőpontok: V1 a plusz oldali feszültségesés (akkumulátor + pólus → mágneskapcsoló 30), V2 a test oldali feszültségesés (M1 háza → akkumulátor − pólus), A1 lakatfogó a főkábelen (indítóáram).

A rajzon jól látszik, hogy a főáramkör a 30-as plusz ágon át az indítómotorba, majd a testelésen át záródik. A mágneskapcsoló tekercse a gyújtáskapcsolón át kap feszültséget az 50-es kapocsra. A diagnosztika során ezt az utat járjuk végig feszültségesés-méréssel.

39.1.3. Definíciók, összefüggések és mérési elvek

Definíció. (Nyugalmi feszültség)
Az akkumulátor sarkain mért feszültség **terhelés nélkül** (jármű kikapcsolt állapotában, a felületi töltés eltávolítása után). Nyitott kapcsokkal ez közelítőleg a cellák elektromotoros erejének összege.

Összefüggés. A nyugalmi feszültség és a töltöttség (SoC, %) között megközelítő, lineáris kapcsolat van:

$$U_{\text{ny}} \approx 12{,}6\,\text{V}\ (100\%), \quad U_{\text{ny}} \approx 12{,}4\,\text{V}\ (75\%), \quad U_{\text{ny}} \approx 12{,}0\,\text{V}\ (25\%).$$

Az értékek hőmérsékletfüggők, ezért **ellenőrizendő: akkumulátorgyártói táblázat**.

Definíció. (Terheléses indítóképesség-vizsgálat)
Az akkumulátort rövid időre, szabályozott árammal (jellemzően a hidegindító áram felével) terheljük, és mérjük a kapocsfeszültséget. Az akkumulátor akkor megfelelő, ha a feszültség a gyártói zárófeszültség felett marad (pl. −18 °C-on 9,6 V fölött; ellenőrizendő: szabvány és gyártói adat).

Definíció. (Vezetőképességi teszt)
A modern akkumulátor-vizsgáló műszer kis jelű váltakozó (vagy impulzusos) méréssel meghatározza az akkumulátor **belső ellenállását vagy vezetőképességét**, és ebből becsli a hidegindító képességet. Ez a vizsgálat gyors, de a mért érték függ hőmérséklettől, töltöttségtől és a műszer algoritmusától.

Összefüggés. A belső ellenállás (r_b) és a nyugalmi feszültség (U_0) meghatározza a terhelés alatti kapocsfeszültséget:

$$U_{\mathrm{k}} = U_0 - I\, r_b.$$

Ezért ha az r_b nagy, indításkor nagy áramnál jelentősen esik a feszültség, és nem jut elegendő energia az indítómotorba.

Definíció. (Feszültségesés-mérés)
Egy vezetékszakaszon vagy kötésen – terhelés alatt – párhuzamosan mért feszültségkülönbséget nevezzük feszültségesésnek. Ideális esetben a vezeték feszültségesése közel nulla (gyakorlatban jellemzően <0,1 V); nagyobb érték nagy átmeneti ellenállásra (oxidált saru, laza kötés, korrodált kábel) utal.

Összefüggés. Ohm-törvény alapján a feszültségesés $U_{\mathrm{es}} = I \cdot R_{\mathrm{át}}$, ahol $R_{\mathrm{át}}$ a vezeték és kötések eredő ellenállása.

Definíció. (Hullámosság, ripple)
A generátor egyenirányított kimenetén a feszültség nem tökéletes egyenfeszültség, hanem kis váltakozó összetevőt tartalmaz. Ha egy dióda kiesik, a hullámosság megnő, és a feszültség átlagértéke lecsökken.

Összefüggés. A hullámosságot multiméter **AC feszültség** állásban mérjük a generátor B+ kimenetén, terhelés alatt. A megengedett érték általában 0,5 V alatt van (példaérték; ellenőrizendő: gyártói adat). Nagyobb AC érték diódahibára, generátor fázishibára vagy rossz testelésre utal.

Definíció. (Nyugalmi áram)
A jármű kikapcsolt, lezárt, alvó állapotában a fedélzeti hálózatból folyó áram. Tartalmazza a vezérlők nyugalmi tápellátását, az óra, a távirányító-vevő, a rádió memóriaáramát stb. A korszerű járműveken néhány tíz mA, de a gyártótól függően 20–70 mA különböző alvó szintek után (ellenőrizendő: gyártói adat).

39.1.4. Felépítés és működés: a diagnosztika logikai lánca

Az áramellátó és indítórendszer vizsgálatát nem elszigetelten, hanem a **tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás** láncban végezzük. A négy fő mérési terület:

1. **Akkumulátorvizsgálat** – nyugalmi feszültség, terheléses teszt, vezetőképességi teszt, szükség esetén savsűrűség.
2. **Indítókör-vizsgálat** – indítóáram, a `30`-as plusz és a `31`-es test ág feszültségesése, a mágneskapcsoló vezérlőköre, az indítómotor fordulatszáma.
3. **Generátorvizsgálat** – töltőfeszültség és hullámosság, töltőáram, a szabályozó viselkedése terhelés és fordulatszám függvényében.
4. **Nyugalmi áram vizsgálat** – áramfelvétel alvó állapotban, fogyasztó-behatárolás biztosítékoknál vagy lakatfogóval.

A mérések során mindig az **akkumulátor állapotától** indulunk, mert egy lemerült vagy hibás akkumulátor önmagában is okozhat indítási hibát, és torzítja az indítóáram mérését. Ezután meg kell győződni arról, hogy az indítókör energiaellátása megfelelő (feszültségesés-mérés), majd a generátor töltőáramát kell ellenőrizni, végül a nyugalmi áramot.

39.1.5. Kidolgozott példák

1. példa (alap) – *Nyugalmi feszültségből töltöttség becslése*
Adott: reggel beüzemelt járművön, indítás előtt a multiméterrel mért akkumulátor-feszültség $U_{\text{ny}} = 12{,}36\,\text{V}$ (20 °C környezetben). Keresett: a töltöttség becsült értéke.

Megoldás: A 12,6 V–12,0 V intervallumot 100 %–25 %-hoz kötjük. A lineáris közelítés:

$$\text{SoC} \approx 25\% + \frac{U - 12{,}0}{12{,}6 - 12{,}0} \cdot (100\% - 25\%) = 25\% + \frac{0{,}36}{0{,}6} \cdot 75\% = 25\% + 45\% = 70\%.$$

Tehát a töltöttség kb. 70 %. ∎
(A példa tájékoztató jellegű, ellenőrizendő: akkumulátorgyártói táblázat.)

2. példa (közepes) – *Indítóköri feszültségesés behatárolása*
Adott: hidegindítás során a műszerrel mért adatok: indítóáram $I = 180\,\text{A}$; feszültség az akkumulátor pozitív saruja és az indítómotor mágneskapcsolójának 30-as kapcsa között (terhelés alatt) $U_{\text{es}} = 0{,}9\,\text{V}$. Keresett: az átmeneti ellenállás $R_{\text{át}}$ és a veszteségi teljesítmény P_{v}.

Megoldás:

$$R_{\text{át}} = \frac{U_{\text{es}}}{I} = \frac{0{,}9\,\text{V}}{180\,\text{A}} = 0{,}005\,\Omega = 5\,\text{m}\Omega.$$

$$P_{\text{v}} = U_{\text{es}} \cdot I = 0{,}9\,\text{V} \cdot 180\,\text{A} = 162\,\text{W}.$$

Ez jelentős hőfejlődés és feszültségcsökkenés az indítómotor felé. A hiba a pozitív plusz kábelben vagy annak saruinál keresendő. ∎

3. példa (haladó) – *Belső ellenállás becslése terheléses teszttel*
Adott: nyugalmi feszültség $U_0 = 12{,}60\,\text{V}$. Terhelésre 200 A áramot véve a kapocsfeszültség $U_{\text{k}} = 10{,}20\,\text{V}$. Keresett: a belső ellenállás r_b.

$$r_b = \frac{U_0 - U_{\text{k}}}{I} = \frac{12{,}60\,\text{V} - 10{,}20\,\text{V}}{200\,\text{A}} = \frac{2{,}40\,\text{V}}{200\,\text{A}} = 0{,}012\,\Omega = 12\,\text{m}\Omega.$$

Ép akkumulátornál a belső ellenállás jellemzően néhány mΩ (ellenőrizendő: gyártói adat); a 12 mΩ már gyengülő akkumulátorra utal. A pontos határértéket a gyártó adja meg (ellenőrizendő). ∎

39.1.6. Minőségellenőrzés

Vizsgálat	Mérendő mennyiség	Jellemző jó érték (példa)	Megjegyzés
Nyugalmi feszültség	DC feszültség	12,5–12,8 V (töltött)	12,0 V alatt tölteni vagy vizsgálni kell
Terheléses teszt	DC feszültség	>9,6 V (−18 °C, gyártói áram)	Hőmérséklet-függő
Vezetőképes-ségi teszt	CCA / belső ellenállás	a gyártói adattal összevetve	A műszer tájékoztató értéket ad
Indítóköri feszültségesés a 30-as ágon	DC feszültség	<0,2–0,5 V	Példaérték; gyártói adat
Indítóköri feszültségesés a 31-es ágon	DC feszültség	<0,2–0,5 V	Példaérték; gyártói adat
Indítóáram	DC áram	100–250 A (személyautó)	Típus- és hő-mérsékletfüggő
Töltőfeszült-ség	DC feszültség	13,8–14,8 V (belső égésű)	Hőmérséklet- és energiamenedzsment-függő
Hullámosság (AC)	AC feszültség	<0,5 V	Túl magas érték diódahibára utal
Nyugalmi áram	DC áram	20–70 mA (típusfüggő)	Ellenőrizendő: gyári specifikáció

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

39.1.7. Valós életbeli alkalmazás: hibakeresési eset

Tünet. Az ügyfél szerint az autó reggelente csak lassan forgatja a motort, bár este a lámpák erősek. A hibakódolvasás nem mutat tárolt DTC-t az energiamenedzsment rendszerben.

Hipotézis. A leggyakoribb okok: (1) előregedett akkumulátor, (2) rossz testelés vagy korrózió az indítókörben, (3) laza saru vagy kábelégett szigetelés, (4) kopott indítómotor. A lámpákon nem látszik, mert azok kis áramot vesznek fel, az indítás pedig nagy áramot igényel.

Mérés/vizsgálat. 1. Nyugalmi feszültség: $U_{\text{ny}} = 12{,}55\,\text{V}$ – megfelelő. 2. Vezetőképességi teszt: a műszer szerint az akkumulátor CCA értéke a névleges 85 %-a, állapota „MEGFELELŐ, TÖLTÉSRE SZORUL” – mivel a feszültség jó, ez elfogadható. 3. Indítás közben mért feszültség az akkumulátor pozitív sarujánál: $U = 10{,}8\,\text{V}$. 4. Feszültségesés a pozitív 30-as ágon (akkumulátor + sarutól az indítómotor B+ bemenetéig): $U_{\text{es}} = 0{,}7\,\text{V}$ (határérték: 0,5 V). 5. Feszültségesés a test ágon (indítómotor testétől az akkumulátor negatív sarkáig): $U_{\text{es}} = 0{,}3\,\text{V}$ (elfogadható). 6. A mágneskapcsoló 50-es bemenetén a feszültség indítás alatt: $U = 11{,}2\,\text{V}$ – rendben. 7. Indítóáram (lakatfogó): $I = 180\,\text{A}$.

Ok. A pozitív fővezetéken vagy annak valamelyik kötésén (pl. a gyári összekötő csavar a motorblokk közelében) megnövekedett átmeneti ellenállás, ami 180 A áramnál 0,7 V-os feszültségesést okoz.

Javítás. A 30-as fővezeték, a sarvéghüvelyek és a kötési pontok ellenőrzése, megtisztítása, új szigetelőzsugor alkalmazása, szükség esetén kábelcsere. A kötéseket a gyártói nyomatékkal kell meghúzni (ellenőrizendő: gyártói adat).

Ellenőrzés. Újraindítás: a feszültség az indítómotor bemenetén 10,5 V fölött marad (a gyártói zárófeszültség felett), az indítás lendületes. A feszültségesés a 30-as ágon 0,2 V alá csökkent.

Megelőzés. Időszakos szervizkor ellenőrizni kell az akkumulátorsarukat, a testpontokat és a főkábel állapotát; a hiba korai jele a lassú indítás és a kábel melegedése.

39.1.8. Gyakorlati útmutató: komplex áramellátó- és indítórendszer-vizsgálat

Cél: Az akkumulátor, az indítókör, a generátor töltőfeszültsége és a nyugalmi áram állapotának felmérése, egy esetleges hiba behatárolása.

Jármű- és adatazonosítás: VIN, gyártó, típus, motorváltozat, akkumulátor típusa (EFB/AGM), a gyártói javítási utasítás elérhetősége.

Szükséges eszközök, mérőeszközök, anyagok:
- digitális multiméter (CAT III, ellenőrizendő), DC lakatfogó (pl. 0–600 A DC), akkumulátorvizsgáló (vezetőképességi teszt), terhelővillás akkumulátortesztelő (ha van), diagnosztikai műszer az energiamenedzsment élő adataihoz, sarukulcsok, sarutisztító kaparó, szemmel láthatóan sérült kábel esetén új kábel, védőkesztyű, védőszemüveg.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések:
- A jármű sík felületen, rögzítve, elszívó alatt álljon.
- A mérés idejére a gyújtás legyen kikapcsolva, a kulcs távol.
- Akkumulátor savval és durranógázzal szembeni védelem (védőszemüveg, kesztyű), szikrakizárás.
- Hulladék (pl. tisztított korróziós anyag) gyűjtése.

Számozott munkalépések:

1. **Előkészítés.** Rögzítse a járművet, ellenőrizze az akkumulátor típusát és a sarukat. Dokumentálja a VIN-t.
2. **Nyugalmi feszültség mérése.** Multiméter DC V állásban, az akkumulátor sarkain. Ha a felületi töltés zavarhat, kapcsoljon be 5 percre a világítást (csak akkor, ha a jármű nyugalmi áram szempontjából engedi). Jegyezze fel az értéket.
3. **Vezetőképességi teszt.** A műszer utasítása szerint csatlakoztassa (gyakran a sarkokhoz), adja meg az akkumulátor típusát, CCA értékét. Értékelje: „GOOD”, „RECHARGE”, „REPLACE”.
4. **Terheléses teszt (ha van terhelővilla).** Kövesse a gyártói utasítást. Ne terhelje tovább, mint az előírt idő.
5. **Indítási mérések.** Kapcsolja be a lakatfogót a 30-as főkábelre vagy az akkumulátor negatív kábelére. Indítsa a motort (max. 10 s, szünet, ha szükséges). Mérje: a legkisebb kapocsfeszültséget, az indítóáramot, a feszültségesést a 30-as plusz ágon és a 31-es test ágon. Hasonlítsa a gyártói határértékekhez.
6. **Mágneskapcsoló-vezérlés.** Mérje a feszültséget az 50-es kapcson indítás alatt. Ha nem jelenik meg feszültség, ellenőrizze a gyújtáskapcsolót, a biztosítékokat, a relét, a vezetéket.

7. **Töltőfeszültség mérése.** Motor jár, alapjáraton. Multiméter az akkumulátor sarkain. Jegyezze fel a feszültséget, kapcsoljon be nagy fogyasztókat (fényszóró, hátsó ablakfűtés, ventilátor). A feszültségnek a szabályozási tartományban kell maradnia. Emelje a fordulatszámot (ha biztonságos), ellenőrizze, hogy a feszültség nem emelkedik túl.
8. **Hullámosság mérése.** Multiméter AC V állásban, a generátor B+ (vagy az akkumulátor +) pontján, terhelés alatt. Jegyezze fel.
9. **Nyugalmi áram mérése.** A nyugalmi áramot lehetőleg kis áramú (mA-es) DC lakatfogóval mérje a negatív kábelen. Ha soros műszert használ, azt a gyártói eljárás szerint, áthidalóval együtt kösse be még az elalvás előtt, csak utána bontsa az áthidalót, majd várja ki az alvási időt (pl. 20–30 perc; ellenőrizendő: gyártói eljárás). Soros műszerrel indítani vagy fogyasztót bekapcsolni tilos, mert a 10 A-es mérőbiztosító kiolvadhat. Jegyezze fel az áramot.
10. **Fogyasztó-behatárolás (ha a nyugalmi áram magas).** A fogyasztót elsősorban a biztosítékokon mért mV-os feszültségeséssel határolja be (kihúzás nélkül); a biztosíték kihúzása felébresztheti a hálózatot. A hibás áramkört a biztosíték azonosítja.
11. **Dokumentálás.** Töltse ki a munkalapot: mért értékek, határértékek, elvégzett műveletek, javítási javaslat.
12. **Próba.** Indítás, töltésellenőrzés, hibakód-törlés (ha szükséges), readiness ellenőrzés.

39.1.9. Tipikus hibák

1. **Akkumulátor cseréje a feszültségesés ellenőrzése nélkül.** Lassú indításnál sokan azonnal új akkumulátort tesznek be, pedig a feszültségesés a kábelben vagy a testponton okozza a hibát. Mindig mérje meg előbb a feszültségesést.
2. **Nyugalmi áram mérése túl korán.** A jármű alvó állapotát nem szabad összetéveszteni a gyújtás kikapcsolásával; a vezérlők még percekig aktívak a kiiktatás vagy a lezárás után. Követni kell a gyártói alvási időt.
3. **Hullámosság kihagyása.** Csak az egyenfeszültség-mérés nem mutatja ki a generátor diódahibáját, mert az átlag még jó lehet. A hullámosság mérése nélkül a hiba rejtve marad.
4. **Téves értelmezés: „12 V indítás alatt jó”.** Az indításkor mért feszültséget nem önmagában, hanem az árammal együtt kell értékelni. 12 V feszültség 0 A áramnál nem jelent indítóképességet.
5. **Töltőfeszültség hibás értelmezése start-stop/energiamenedzsment rendszeren.** A modern járműveknél a feszültség változik (rekuperáció, fogyasztólekapcsolás), ezért a mérés előtt ellenőrizni kell a rendszer aktuális üzemállapotát a diagnosztikai műszerrel.

39.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az akkumulátor 12,0 V nyugalmi feszültsége közel teljes töltöttséget jelent?
2. Egy indítókör 30-as ágán 200 A áram mellett 0,1 V feszültségesést mérünk. Számítsa ki az átmeneti ellenállást. Jó-e ez az érték?
3. Miért mérünk hullámosságot AC V állásban a generátor kimenetén?
4. Mi a helyes sorrend a saruk le- és felcsatlakoztatásánál? Indokolja.
5. Nyugalmi áram mérésénél miért kell megvárni a jármű alvó állapotát?
6. Egy vezetőképességi teszt azt írja, az akkumulátor CCA értéke a névleges 60 %-a. Mit javasol?

39.1.11. Feladatok

1. feladat (A)
Írja le a nyugalmi feszültség mérésének lépéseit, és adja meg, milyen értékeket tekint jónak egy 12 V-os ólomakkumulátornál.

2. feladat (A)
Egy akkumulátor nyugalmi feszültsége 12,45 V. Becsülje meg a töltöttséget a lineáris közelítéssel, ha 12,0 V 25 %-nak, 12,6 V 100 %-nak felel meg.

3. feladat (B)
Indítás közben az akkumulátor kapocsfeszültsége 10,4 V-ra esik 150 A áramnál. A nyugalmi feszültség 12,7 V. Határozza meg az akkumulátor belső ellenállását, és értékelje a kapott értéket.

4. feladat (B)
A generátor B+ kimenetén 14,2 V feszültséget mérünk, de a hullámosság AC mérése 1,4 V-ot mutat. Mit jelent ez? Hogyan ellenőrzi a gyanút?

5. feladat (C)
Egy autó nyugalmi áramát 220 mA-nek mérjük. A gyári specifikáció 30 mA-t enged meg alvó állapotban. Részletezze a hibakeresés lépéseit, és magyarázza el, hogyan használható a biztosítéktábla a hiba behatárolására.

6. feladat (D)
Egy lassú indítású járműnél az alábbi értékeket mérik: nyugalmi feszültség 12,61 V, vezetőképességi teszt 90 % CCA, indítóáram 170 A, feszültségesés a 30-as ágon 0,15 V, a 31-es ágon 0,75 V. Hol keresi a hibát? Indokolja.

39.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A 12,0 V lemerült állapotot jelez (kb. 25 % SoC), nem teljesen feltöltöttet.

2.

$$R_{\text{át}} = \frac{0{,}1\,\text{V}}{200\,\text{A}} = 0{,}0005\,\Omega = 0{,}5\,\text{m}\Omega.$$

Ez kiváló érték, jó vezetéknek felel meg.

3. Azért, mert a generátor egyenirányított kimenetén váltakozó összetevő is van. Ha egy dióda hibás, a hullámosság megnő; ezt az AC mérés közvetlenül kimutatja.

4. Lekötéskor először a negatív, utána a pozitív; felkötéskor fordítva. Így a szerszám és a saru véletlen testérintése nem okoz rövidzárat.

5. Mert a jármű elektronikája (vezérlők, komfortmodulok) a gyújtás kikapcsolása után még aktív, és áramot vesz fel. Csak a gyártói alvási idő elteltével mérhető a tényleges nyugalmi áram.

6. Cserét javasol, mert a hidegindító képesség jelentősen csökkent; hideg időben várható indítási probléma.

1. feladat (A)
Multiméter DC V állásban, az akkumulátor sarkain, lehetőleg a felületi töltés eltávolítása után. Jó érték: 12,6 V fölött teljes, 12,4 V kb. 75 %, 12,2 V kb. 50 %, 12,0 V alatt lemerült.

2. feladat (A)

$$\text{SoC} = 25\% + \frac{12{,}45 - 12{,}0}{12{,}6 - 12{,}0} \cdot 75\% = 25\% + 56{,}25\% = 81{,}25\%.$$

3. feladat (B)

$$r_b = \frac{12{,}7\,\text{V} - 10{,}4\,\text{V}}{150\,\text{A}} = 0{,}0153\,\Omega = 15{,}3\,\text{m}\Omega.$$

Ez viszonylag magas, de még elfogadható lehet nagyon hideg időben; a pontos határ a gyártótól függ. Ha a feszültség 9,6 V alá esik (példaérték, ellenőrizendő), az akkumulátor valószínűleg cserés.

4. feladat (B)
Az AC összetevő 1,4 V jelentősen meghaladja a jellemző 0,5 V-ot, ez diódahibára, fáziskimaradásra vagy rossz csatlakozásra utal. A gyanút a generátor kimenetén oszcilloszkóppal, vagy a diódák ellenállásmérésével, illetve a generátor műhelyben történő terheléses vizsgálatával lehet megerősíteni.

5. feladat (C)
Első lépés: a mérés megismétlése a gyártói alvási idő után. Ha még mindig 220 mA, akkor a jármű fogyasztóinak szisztematikus ellenőrzése következik. Multiméter árammérő állásban (feszültségesés-mérési módszerrel vagy soros bekötéssel) a biztosítéktáblán egyesével kihúzva a biztosítékokat, figyelni kell, melyik áramcsökkenést okoz. A hibás áramkör azonosítható. Ezután az áramútban lévő modulok, vezetékelés vizsgálata, a fogyasztó cseréje vagy javítása.

6. feladat (D)
A hiba a test ágon van. A 31-es ágon mért 0,75 V feszültségesés többszöröse a megengedettnek, míg a 30-as ág jó. A hibát az akkumulátor negatív saru–test között kell keresni: korrodált testpont, laza csavar, oxidált saru vagy elvékonyodott kábel. A javítás: testpont tisztítása, kenyeletlen vezetővég felújítása, kábelcsere, majd feszültségesés-újramérés.

39.1.13. Rövid összefoglaló

Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája az akkumulátor állapotának meghatározásával kezdődik: a nyugalmi feszültség a töltöttségre utal, a vezetőképességi teszt a hidegindító képességet becsüli, a terheléses teszt a kapocsfeszültséget méri nagy áramnál. A lemerült és a hibás akkumulátor megkülönböztethető. Az indítókör vizsgálata során a legfontosabb a feszültségesés-mérés: a 30-as plusz és a 31-es test ágon terhelés alatt mért feszültségkülönbség egyenként általában 0,5 V alatt kell legyen (példaérték). A generátor vizsgálata a töltőfeszültség (13,8–14,8 V) mellett a hullámosság mérését is magában foglalja; az AC összetevő magas értéke diódahibára utal. A nyugalmi áram a jármű alvó állapotában mérhető, és tipikusan 20–70 mA (típusfüggő); a megnövekedett áram fogyasztóját biztosítékonkénti bontással lehet behatárolni. A mérések sorrendje: akkumulátor, indítókör, generátor, nyugalmi áram. **Továbbvitt eredmény.** A feszültségesés-mérés, a nyugalmi áram mérése és a rendszer logikus hibakeresési lánca közvetlenül felhasználható az Áramút-alapú hibakeresés alfejezetben. Minden mérést a gyártói javítási utasítás szerint, megfelelő műszerrel kell végezni.

39.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: járműgyártói javítási utasítások, energiamenedzsment- és áramútrajz-dokumentációk; akkumulátorgyártói adatlapok és tesztelési útmutatók; DIN 72552 kapocsjelölések; MSZ EN 61010 / IEC 61010 műszerbiztonsági szabvány; MSZ EN 60034 sorozat villamos gépekre; a generátorokra vonatkozó gyártói specifikációk.

Ellenőrizendő állítások:
- a nyugalmi feszültség–SoC táblázat pontos értékei;
- a terheléses teszt zárófeszültségének pontos hőmérsékletfüggése;
- a vezetőképességi teszt pontossági tartománya;
- az indítóáram jellemző nagysága személy- és teherautóknál;
- a feszültségesés-határértékek (0,2–0,5 V);
- a töltőfeszültség, a hullámosság és a nyugalmi áram gyári specifikációi;
- a jármű alvó állapotának eléréséhez szükséges idő.

A fenti példaértékek tanulási célúak, nem konkrét járművet vagy hatósági előírást jellemeznek.

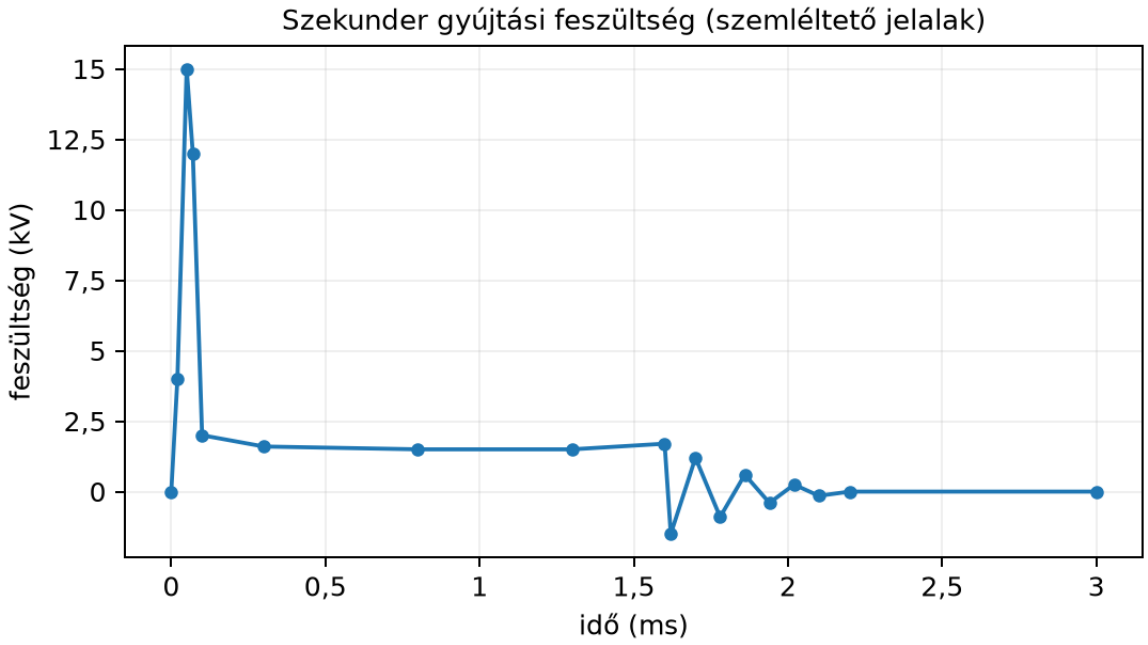
39.2. Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika

39.2.1. Motiváció

A műhelybe érkezik egy benzinmotoros gépkocsi: a motor hidegen nehezen indul, alapjáraton rángat, meleg motornál pedig teljesítményvesztés tapasztalható. A fedélzeti diagnosztika időnként gyújtáskimaradást jelöl (P0301, P0302 stb. – ellenőrizendő: a gyártói hibakódlista). A szerelő tudja, hogy az üzemanyag-ellátás, a kompresszió és a gyújtás közül valamelyik hibás. A gyújtórendszer gyors, kábelbontás nélküli vizsgálatára az oszcilloszkóp a legjobb eszköz: egyetlen szekunder gyújtási képből kiolvasható a gyújtófeszültség, a szikraidő, a lecsengés és a gyújtás pillanata. Ebben az alfejezetben megtanuljuk, hogyan csatlakoztassuk a mérőműszert, és hogyan értelmezzük a primer és szekunder jelalakokat a hagyományos és a modern gyújtórendszereken.

39.2.2. Szemléletes kép: a szekunder gyújtási jelalak

Képzeljük el a gyújtótekercs szekunder oldali feszültségét az idő függvényében. A gyújtótranzisztor ismételt nyitásakor a primer áram felépít, majd a tranzisztor lezárásakor a primer áram hirtelen megszakad. A tekercs mágneses fluxusa összeomlik, és a szekunder oldalon nagyfeszültség indukálódik. A feszültség először meredeken felfut, eléri a gyújtófeszültséget (szekunder csúcs), ekkor a gyújtógyertya elektródái között átüt a szikra. A szikra égése közben a feszültség leesik egy alacsonyabb, viszonylag állandó értékre, amit szikraégési feszültségnek nevezünk. A szikra kialvása után a megmaradt energia a primer és szekunder körben csillapodó, nagyfrekvenciás rezgésként (lecsengés) jelenik meg. A lenti ábra szemlélteti ezt az idealizált jelalakot:



39.2. ábra. Szekunder gyújtási feszültség (szemléltető jelalak) - Szemléltető, idealizált elvi jelalak, nem mért érték. Három szakasz: gyújtófeszültség-csúcs (itt 15 kV, jellemzően 5–25 kV), kb. 1,5 ms hosszú szikravonal (szikraégési feszültség kb. 1,5 kV), majd a szikra kialvása után csillapodó lecsengés. A pontos értékek motortól és mérési beállítástól függenek (ellenőrizendő: gyártói adat).

Ábra leírása. A vízszintes tengelyen az idő, a függőlegesen a szekunder feszültség látható. A görbe először gyorsan emelkedik, majd elér egy csúcsot (itt kb. 15 kV), ezután visszaesik és kb. 1,5 ms-ig viszonylag lapos, kb. 1,5 kV-os szakaszon marad (szikraégés), végül csillapodó rezgéssel nullához csökken. A csúcsot **gyújtófeszültségnek**, a lapos szakasz hosszát **szikraidőnek**, a végső rezgést **lecsengésnek** nevezzük.

39.2.3. Alapfogalmak és összefüggések

Definíció. Gyújtófeszültség. A szekunder feszültség csúcsa, amelynek el kell érnie a gyújtógyertya elektródái közötti átütéshez szükséges feszültséget. Értéke függ a gyertya hézagától, a hengerben uralkodó nyomástól, a hőmérséklettől, a keverék összetételétől és a gyertya állapotától. Jó benzinmotornál jellemzően 5–25 kV között van (ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. Szikraidő. Az az időtartam, amely alatt a szikra a gyertya elektródái között ég. Egészséges rendszernél jellemzően 1–2 ms (ellenőrizendő). Ha a szikraidő túl rövid, a keverék nem gyullad meg megbízhatóan; ha túl hosszú, akkor a rendszer energiafelesleggel dolgozik, vagy a gyertya kopott.

Definíció. Lecsengés. A szikra megszűnése után a gyújtótekercsben visszamaradt energia csillapodó, nagyfrekvenciás (jellemzően 1–10 kHz) feszültségrezgése mind a primer, mind a szekunder oldalon. A lecsengés alakjából a tekercs, a gyújtókábel és a gyertya állapotára következtethetünk.

Definíció. Zárásszög. A primer áram folyásának ideje alatt eltelt forgattyústengely-szög. Hagyományos megszakítós rendszernél az érintkező zárva tartásának szöge, elektronikus rendsze-

reknél a gyújtótranzisztor vezetési idejének megfelelő szög. A zárásszög határozza meg a primer áram felépülésének idejét (a primer energia feltöltését).

Definíció. Gyújtásszög. Az a forgattyústengely-szög FHP előtt, amelynél a gyújtás (a szikra) bekövetkezik. Ideális értékét a motor fordulatszáma és terhelése határozza meg, és a motorvezérlő vagy az elosztó mechanizmusa állítja be.

Összefüggés. A gyújtótekercs primer oldalán tárolt energia közelítőleg a primer áram maximumával és a primer induktivitással fejezhető ki:

$$W = \frac{1}{2} L_1 I_1^2,$$

ahol W a szikraenergia (J), L_1 a primer tekercs induktivitása (H), I_1 a primer áram csúcsértéke (A). A szekunder feszültség csúcsa a menetszámok arányával közelíthető:

$$U_2 \approx \frac{N_2}{N_1} U_1,$$

ahol N_2/N_1 a tekercs menetszámáttétele, U_1 a primer oldali induktív feszültségcsúcs. A gyakorlatban a szekunder feszültséget nemcsak a menetszámáttétel, hanem a szekunder kör csillapítása és a gyertya átütési feszültsége is befolyásolja.

Példa. Ha egy gyújtótekercs primer induktivitása $L_1 = 5\,\mathrm{mH}$ és a primer áram megszakításkor $I_1 = 8\,\mathrm{A}$, akkor a tárolt energia:

$$W = 0{,}5 \cdot 5\,\mathrm{mH} \cdot (8\,\mathrm{A})^2 = 0{,}5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{H} \cdot 64\,\mathrm{A}^2 = 160\,\mathrm{mJ}.$$

Ez a szikraenergia jellemző értéke (ellenőrizendő: gyártói adat).

Figyelem. A gyújtórendszer szekunder oldala **nagyfeszültségű**: jellemzően 5–25 kV csúcsértékű, a primer oldalon az induktív feszültségcsúcs 200–400 V is lehet (ellenőrizendő). Az oszcilloszkópos mérésnél ezért kizárólag megfelelő, CAT III (ellenőrizendő) feszültségtűrésű, szigetelt szondát és nagyfeszültségű mérőfejet, illetve induktív fogót használjunk. A mérővezetékeket soha nem szabad a szekunder oldalra közvetlenül kötni! A mérőműszer és a szondák gyártói előírásait szigorúan be kell tartani.

39.2.4. A gyújtórendszer energiafolyamata és mérési technológiája

A gyújtás diagnosztikája során nem csak a hibakódot olvassuk ki, hanem a rendszer tényleges energiafolyamatát is vizsgáljuk. Az elektronikus gyújtás energiája a fedélzeti hálózatból a gyújtótekercs primer oldalán, mint mágneses energia tárolódik, majd a szekunder oldalon nagyfeszültségű szikraként hasznosul. A jelalakok ezt az energiaáramlást tükrözik.

Primer oldal mérése. A primer áram mérése áramfogóval (primeráram-fogóval) történik, amelyet a gyújtótekercs primer vezetékére vagy a gyújtómodul primer áramkörére csíptetünk. A primer feszültség méréséhez szigetelt feszültségszondát használunk a tekercs primer kapcsain. A primer jelalakon az áramfelfutás (tranzisztor bekapcsol), az áramcsúcs (megszakítás pillanata) és a kapcsolási tüske látható. A primer áram csúcsértékéből és a zárási időből a tekercs töltését ellenőrizhetjük.

Szekunder oldal mérése. A szekunder feszültségjelet **kapacitív csatolású szekunder szondával** vesszük fel; az **induktív fogó** a triggerjelet (az 1. henger gyújtását) adja `(ellenőrizendő:`

műszergyártói leírás). A fogót a gyújtókábelre vagy a gyújtótekercs (COP – coil on plug) szekunder részére csíptetjük, anélkül, hogy a nagyfeszültségű kört megbontanánk. A szonda a kábel külső szigetelésén át kapacitívan csatolódik, és a szekunder feszültséggel arányos jelet ad az oszcilloszkópra. A szekunder feszültség mérése speciális nagyfeszültségű szondával vagy a primer jelből visszaszámolva is lehetséges.

Mechanikus megszakítós és tranzisztoros rendszerek. A régi megszakítós rendszernél az oszcilloszkóp primer oldalát a gyújtótekercs 1-es kapcsára (a megszakító felé) és testre kötjük, a szekunder oldalt pedig a gyújtáselosztó középső kábelére fogóval. A primer jelalakon a megszakító nyitása után jelentkező kapcsolási tüske a kondenzátor és a tekercs primer rezgését mutatja. A zárásszöget a megszakító zárvatartási idejéből számíthatjuk. A tranzisztoros, primeráram-vezérelt rendszerben a megszakító helyett a gyújtótranzisztor kapcsol; a jelalak hasonló, de a felfutás meredekebb, és a tranzisztor telítési feszültségesése is megfigyelhető.

Elosztó nélküli és hengerenkénti tekercses rendszerek. A modern benzinmotoroknál gyakran nincs gyújtáselosztó. A "wasted spark" (páronkénti szikra) rendszereknél egy tekercs egyidejűleg két hengert szolgál ki, az egyiknél a sűrítési ütemben, a másiknál a kipufogási ütemben (pazarló szikra). A hengerenkénti tekercs (COP) rendszernél minden gyertyán saját tekercs ül. Mindkettőnél a szekunder jel méréséhez az induktív fogót a tekercs szekunder kimenetére vagy a gyújtókábelre helyezzük. Az oszcilloszkóp triggerét az 1. henger gyújtási jelére állítjuk, így a hengersorrend és a gyújtáskimaradás azonosítható.

Gyújtásidőzítés ellenőrzése. A gyújtásszöget kétféleképpen mérhetjük: 1) **stroboszkóppal**: a gyújtókábelt induktív fogóval megcsíptetve, a motor járása közben a főtengely ékszíjtárcsáján lévő jelölést megvilágítjuk, és a motorvezérlő által kért gyújtásszöget a gyári adattal összehasonlítjuk; 2) **oszcilloszkóppal**: a szekunder gyújtási kép felfutó élét a főtengelyjeladó jelével összehasonlítva mérjük a gyújtás pillanatát a FHP-hoz képest. A gyújtásszög eltérése a szoftveres beállítás hibájára, a kopott elosztóra vagy a motorvezérlő hibájára utalhat.

39.2.5. Az oszcilloszkópos gyújtási kép értelmezése

A szekunder gyújtási kép elemzése során a következő szakaszokat különböztetjük meg:

1. **Felfutás és gyújtófeszültség.** A felfutás meredeksége a szekunder kör ellenállásától és kapacitásától függ. A gyújtófeszültség értéke fontos diagnosztikai adat:

   - **Túl magas gyújtófeszültség** (pl. 25 kV felett) utalhat nagy gyertyahézag (pl. kopott gyertya megnőtt hézaga), kábel szakadás, gyertya sérülése, rossz keverék, vagy a szekunder kör nagy ellenállása miatt.
   - **Túl alacsony gyújtófeszültség** (pl. 5 kV alatt) utalhat kis gyertyahézag, söntölt szekunder kör, szennyezett vagy kormos gyertya (átvezetés) vagy alacsony kompresszió miatt.

2. **Szikraidő.** A szikraidő a gyújtófeszültség csúcsától a lecsengés kezdetéig tart. Rövid szikraidő energiahiányra, rossz primer töltésre, hibás tekercsre vagy rendkívül nagy gyertyahézag miatt; hosszú szikraidő alacsony ellenállású szekunder körre vagy nagy tárolt energiára utalhat.

3. **Lecsengés.** A lecsengés frekvenciáját a szekunder kör induktivitása és kapacitása határozza meg. A lecsengés alakjából a szekunder kör állapota olvasható le: ha a lecsengés hiányzik vagy nagyon rövid, az zárlatra; ha túl sok rezgés van, az szakadásra utalhat. A lecsengés amplitúdója a szikrában el nem égett energiáról árulkodik.

Primer jelalak értelmezése. A primer áramjel a tranzisztor bekapcsolásakor exponenciálisan emelkedik (a primer kör L/R időállandójával), majd a tranzisztor kikapcsolásakor hirtelen nullára esik. A primer feszültségen ekkor 200–400 V-os pozitív induktív tüske jelenik meg (ellenőrizendő), amelyet a kondenzátor vagy a gyújtómodul korlátoz. A zárási idő (áramfelfutás ideje) a zárásszögből és a fordulatszámból számítható. Az áramcsúcs értéke a tekercs primer ellenállásától, a tápfeszültségtől és a zárási időtől függ.

39.2.6. Gyakorlati útmutató – Gyújtásvizsgálat oszcilloszkóppal

Cél: A gyújtórendszer állapotának ellenőrzése primer és szekunder jelalakok felvételével, gyújtáskimaradás okának azonosítása.

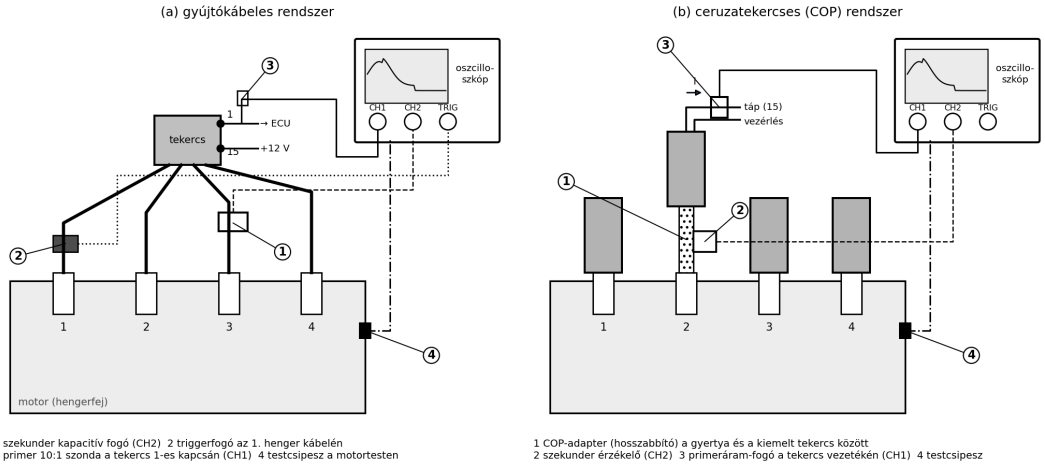
Jármű- és adatazonosítás: Rendszám, alvázszám, motorszám, gyártói típus, modellév, motorjel. A gyártói javítási adatokból: gyújtási rendszer típusa, zárásszög, gyújtásszög, tekercs primer ellenállás és induktivitás, gyertya hézag.

Szükséges szerszámok, célszerszámok, mérőeszközök, anyagok: - Digitális oszcilloszkóp (legalább 2 csatorna, 20 MHz sávszélesség, CAT III feszültségtűrés – ellenőrizendő) - Primeráram-fogó (pl. 0–20 A, DC) - Szekunder induktív fogó / nagyfeszültségű szonda - Feszültségszondák (10:1, szigetelt) - Stroboszkóp a gyújtásszög ellenőrzéséhez (ha szükséges) - Gyártói javítási adat, kapcsolási rajz - Védőkesztyű, védőszemüveg

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Figyelem. A gyújtórendszer szekunder oldala életveszélyes nagyfeszültséget állít elő. Mérés közben a motortérben forgó, forró és nagyfeszültségű alkatrészek találhatók. Az akkumulátor lekötése előtt a gyártó előírásait (adatmentés, tanítások) be kell tartani. Mérés csak szigetelt szerszámmal és megfelelő mérőműszerrel végezhető.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: - A járművet sík, jól szellőző helyen állítsuk le, rögzítőféket behúzva. - A gyújtást kapcsoljuk ki, a kulcsot tegyük el. - Az akkumulátor negatív pólusát lekötjük a gyártói előírás szerint (ha a méréshez nem szükséges a motor járatása, de oszcilloszkópos méréshez a motor jár, ezért az akkumulátor lekötésére csak akkor kerül sor, ha a gyártó előírja; jellemzően a mérés járó motornál történik, ezért fokozott figyelemmel kell eljárni). - A kipufogógázt zárt térben nem szabad belélegezni; elszívást használjunk.



⚠ **Járó motornál a nagyfeszültségű részt érinteni TILOS. A szonda és a műszer mérési kategóriája feleljen meg a mérésnek; szondát csak álló motornál, gyújtás ki mellett szerelünk fel.**

39.3. ábra. Az oszcilloszkóp bekötése gyújtásvizsgálathoz (sematikus vonalrajz)

Az (a) részábrán gyújtókábeles rendszeren a szekunder kapacitív fogó (CH2) a gyújtókábelen, a triggerfogó az 1. henger kábelén, a 10:1 primerszonda (CH1) a tekercs 1-es kapcsán, a testcsipesz a motortesten van. A (b) részábrán ceruzatekercses rendszernél a kiemelt tekercs és a gyertya közé COP-adapter kerül, rajta a szekunder érzékelő; a primeráram-fogó a tekercs vezetékén, az áramirány szerint áll. A szondákat csak álló motornál szereljük fel; járó motornál a nagyfeszültségű részt érinteni tilos. A HTML-változatban a rendszer kiválasztható, és az elemekre mutatva a szonda neve és a várható jelalak leírása jelenik meg.

Számozott munkalépések: 1. Kapcsoljuk ki a motort, várjuk meg, amíg kihűl. 2. Ellenőrizzük az oszcilloszkóp és a szondák állapotát, a szigetelést, a csatlakozókat. 3. Kapcsoljuk be az oszcilloszkópot, állítsuk be az időalapot (pl. 10 ms/osztás, a teljes motorciklushoz), a feszültségosztást és a trigger csatornát. 4. **Szekunder méréshez:** csíptessük az induktív fogót az 1. henger gyújtókábelére vagy a COP tekercs szekunder oldalára. Győződjünk meg a fogó iránybetartásáról (gyártói jelölés). 5. **Primer méréshez (ha szükséges):** csíptessük a primeráram-fogót a tekercs primer tápláló vezetékére, a feszültségszondát pedig a primer kapcsokra. 6. Indítsuk el a motort, és hagyjuk alapjáraton járni. 7. Állítsuk be a triggert az 1. henger gyújtási jelére (felfutó él, megfelelő szint), hogy stabil képet kapjunk. 8. Rögzítsük a jelalakot, és mentsük el a mérési jegyzőkönyvet. 9. Értelmezzük a görbét: gyújtófeszültség, szikraidő, lecsengés, zárási idő. 10. Ha hibát találunk, azonosítsuk a hengert, és a gyártói adatok alapján cseréljük a hibás alkatrészt (gyertya, kábel, tekercs, gyújtómodul). 11. A javítás után ismételjük meg a mérést, és győződjünk meg a hibátlan jelalakról. 12. Töröljük a hibakódokat, és végezzünk próbaút aszerint.

Ellenőrzési pontok: - Gyújtófeszültség minden hengernél közel azonos, és a gyártói tűrésen belül van (pl. 8–20 kV – ellenőrizendő). - Szikraidő minden hengernél legalább 1 ms, és közel azonos. - A lecsengés periodikus, csillapodó rezgés, nincs hirtelen szakadás vagy zárlat. - A primer áramcsúcs a gyártói érték körül van, és nem éri el a telítési tartományt.

Tipikus hibák: - A fogót nem a megfelelő kábelre csíptetik (pl. a primer kábelre a szekunder fogót). - A trigger szintje rosszul van beállítva, ezért a kép elúszik. - A mérés alatt a nagyfeszültségű részt kézzel megérintik; ez súlyos balesetet okoz. - Az oszcilloszkóp földelése nem megfelelő, vagy a szondák sérültek.

Dokumentálás: A mérési jegyzőkönyvbe rögzítsük a jármű adatait, a mérési beállításokat, a felvett jelalakot (kép vagy adat), a leolvasott értékeket és a diagnosztikai következtetést.

39.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy 1,6 literes, hengerenkénti tekercses (COP) benzinmotorral szerelt autó motorhiba-jelzővel érkezik. Az ügyfél panasza szerint a motor “rángat” gyorsításkor, alapjáraton egyenetlen. A diagnosztikai műszer a 3. hengerben gyújtáskimaradást jelöl (P0303 – ellenőrizendő). A szerelő oszcilloszkóppal megvizsgálja a 3. henger szekunder gyújtási jelét. A jelalakon a gyújtófeszültség 22 kV (a többi hengernél 12 kV), a szikraidő pedig csak 0,4 ms. A lecsengés rövidebb, és a csúcs után azonnal visszaesik. Ez a gyertyahézag megnövekedésére, a gyújtókábel/tekercs szekunder ellenállásának növekedésére vagy a gyertya belső szakadására utal. A gyertyát kicserélik, a jel újra 12 kV csúcsot és 1,6 ms szikraidőt mutat. A hibakód törlése után a motor egyenletesen jár. A tanulság: a gyújtófeszültség és a szikraidő együtt jó indikátora a gyertya és a szekunder kör állapotának.

39.2.8. Tipikus hibák

Hiba 1: A gyújtófeszültség abszolút értékét nem a hengerek között hasonlítja össze a szerelő. Minden motornál a kompresszió, a keverék és a gyertya állapota eltér, ezért az egyes hengerek között 20–30 %-os eltérés még normális lehet. A diagnózis alapja a hengerek közötti összehasonlítás: ha egy henger kiugrik, az ott hibás.

Hiba 2: Az oszcilloszkóp triggerét az 1. henger primer jelére állítja, de a szekunder képnél figyelmen kívül hagyja a pazarló szikrát. A “wasted spark” rendszernél a szekunder jelben két szikra látható: az egyik a sűrítési, a másik a kipufogási ütemben. A kipufogási szikra gyújtófeszültsége kisebb. Ha a szerelő a nagyobb vagy a kisebb csúcsot tévesen azonosítja, rossz következtetést vonhat le.

Hiba 3: Az induktív fogót a gyújtókábel külső szigetelésén okozott sérülésnél használja, vagy nem a megfelelő irányba teszi fel. A fogó kalibrálása irányfüggő, és a sérült szigetelés balesetet is okozhat. A mérés előtt ellenőrizni kell a fogó és a kábel állapotát.

Hiba 4: A gyújtáskimaradást kizárólag a szekunder kép alapján ítéli meg, anélkül, hogy a primer oldalt is megvizsgálná. Ha a primer áram nem tud felépülni (pl. rossz tranzisztor, túl nagy ellenállás a primer körben), a szekunder oldalon is hibás lesz a jel. A primer áramjel vizsgálata segít elkülöníteni a primer és szekunder hibát.

39.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A szekunder gyújtási jel csúcsa mindig pontosan 20 kV, függetlenül a motor fordulatszámától. Indokolja a választ.

2. Mi a különbség a szikraidő és a zárásszög között?

3. Egy gyújtótekercs primer induktivitása 6 mH, a primer áram csúcsa 7 A. Mennyi a szikraenergia?

4. Milyen hiba utalhat arra, ha a szekunder gyújtási képen a gyújtófeszültség 28 kV, a szikraidő pedig 0,3 ms?

5. Miért nem köthetjük közvetlenül az oszcilloszkóp szondáját a gyújtótekercs szekunder kapcsára?

39.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiálja a gyújtófeszültséget, a szikraidőt és a lecsengést a szekunder gyújtási képen.

2. feladat (A). Számítsa ki egy gyújtótekercs szikraenergiáját, ha a primer induktivitás $L_1 = 4{,}5\,\text{mH}$ és a primer áram megszakításkor $I_1 = 6{,}5\,\text{A}$.

3. feladat (B). Egy motor alapjárati fordulatszáma 800 1/min. A gyújtótranzisztor zárási idejét az oszcilloszkópon 4,2 ms-nak mérik. Mekkora a zárásszög főtengely-fokban? Régi, elosztós rendszernél mekkora ez elosztószögben?

4. feladat (B). Rajzolja le (szabadkézzel) egy egészséges henger szekunder gyújtási jelalakját, és jelölje rajta: gyújtófeszültség, szikraidő, lecsengés. Milyen értékeket vár a jellemzőkre?

5. feladat (C). Hasonlítsa össze a mechanikus megszakítós gyújtás és a hengerenkénti tekercses (COP) rendszer oszcilloszkópos mérési módszerét: hol helyezzük el a szekunder fogót, milyen primer jelet mérünk, és mi a fő különbség a jelalakban?

6. feladat (D). Egy 4 hengeres, "wasted spark" gyújtású motornál az 1. és 4. henger közös tekercsét vizsgálja. A szekunder jelben, mindkét hengert a saját sűrítési ütemében mérve, az 1. henger gyújtófeszültsége 10 kV, a 4. hengeré 23 kV. A motor 4. hengerénél gyújtáskimaradás kódot jelöl. Mi a valószínű hiba, és milyen további méréseket végezzen?

39.2.11. Megoldások

39.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A gyújtófeszültség a hengerben uralkodó nyomástól, hőmérséklettől, keverékösszetételtől, gyertyahézagtól és a szekunder kör ellenállásától függ, ezért a fordulatszám és a terhelés változásával is változik (jellemzően 5–25 kV).
2. **Szikraidő** az az időtartam, amíg a szikra ég a gyertya elektródái között; **zárásszög** a primer áram folyásának ideje alatti forgattyústengely-szög, amely a gyújtótekercs energiatöltését szabja meg.
3. $W = 0{,}5 \cdot 6\,\mathrm{mH} \cdot (7\,\mathrm{A})^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}006\,\mathrm{H} \cdot 49\,\mathrm{A}^2 = 0{,}147\,\mathrm{J} = 147\,\mathrm{mJ}$.
4. Túlságosan nagy gyertyahézag, gyújtókábel szakadás vagy nagy ellenállás, gyertya belső szakadás, rossz keverék vagy a szekunder kör meghibásodása. A rövid szikraidő energiahiányra vagy a szekunder kör nagy ellenállására utal.
5. Mert a szekunder oldali feszültség 5–25 kV, ami a közönséges szonda és az oszcilloszkóp bemenetét tönkreteszi és balesetveszélyes. A szekunder jelet csak kapacitív csatolású szekunder szondával vagy nagyfeszültségű osztós szondával mérhetjük.

39.2.11.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A). A gyújtófeszültség a szekunder feszültség legnagyobb értéke a szikra átütésének pillanatában. A szikraidő a gyújtófeszültség csúcsától a lecsengés kezdetéig tartó időszak, amíg a szikra ég. A lecsengés a szikra kialvása után a gyújtótekercsben tárolt maradék energia csillapodó, nagyfrekvenciás feszültségrezgése mind a primer, mind a szekunder körben.

2. feladat (A). $W = \frac{1}{2} L_1 I_1^2$. $L_1 = 4{,}5\,\mathrm{mH} = 0{,}0045\,\mathrm{H}$; $I_1 = 6{,}5\,\mathrm{A}$. $W = 0{,}5 \cdot 0{,}0045 \cdot 6{,}5^2 = 0{,}00225 \cdot 42{,}25 = 0{,}0951\,\mathrm{J} \approx 95\,\mathrm{mJ}$.

3. feladat (B). Fordulatszám $n = 800\,1/\mathrm{min}$. Egy főtengelyfordulat ideje $T = 60/n = 60/800 = 0{,}075\,\mathrm{s} = 75\,\mathrm{ms}$. A zárási idő $t = 4{,}2\,\mathrm{ms}$. A zárásszög (főtengely-szögben) $\delta = 360^\circ \cdot \frac{t}{T} = 360^\circ \cdot \frac{4{,}2}{75} = 20{,}16^\circ$. Hagyományos megszakítós rendszernél az elosztó fél fordulatszámmal forog, ezért az elosztó szögére számolva ennek fele, azaz kb. $10{,}1^\circ$, de a modern terminológia a főtengely-szöget használja (ellenőrizendő: gyártói definíció).

4. feladat (B). A rajz egy 0-ból gyorsan felfutó, kb. 15 kV csúcsú görbe, majd a feszültség visszaesik kb. 2 kV-ra, ahol kb. 1–2 ms-ig lapos marad (szikraidő), végül csillapodó, néhány kHz frekvenciájú rezgéssel nullára csökken. A jellemző értékek: gyújtófeszültség 5–25 kV, szikraidő 1–2 ms, lecsengés amplitúdója a csúcs néhány százaléka.

5. feladat (C). A mechanikus megszakítós rendszernél a szekunder fogót a gyújtáselosztó középső (nagyfeszültségű) kábelére csíptetjük; a primer jelet a gyújtótekercs 1-es kapcsa (megszakító felőli oldal) és test között mérjük. A jelalakon a megszakító nyitásakor kapcsolási tüske és a primer rezgés látható. A COP rendszernél nincs elosztó; a szekunder fogót közvetlenül a gyújtótekercs szekunder kimenetére vagy a gyertyakábelre (ha van) helyezzük. A primer jelet a tekercs primer csatlakozóján vagy a gyújtómodulon mérjük. A fő különbség, hogy a COP

rendszerben hengerenként külön jel van, a mechanikus rendszerben az elosztó miatt a szekunder jelek sorozatban jelennek meg, és a pazarló szikra hiányzik.

6. feladat (D). A “wasted spark” rendszerben az 1. és 4. henger azonos gyújtótekerccsel dolgozik, de a két hengerben eltérő nyomás- és hőmérsékletviszonyok vannak. A 4. henger magas gyújtófeszültsége és a gyújtáskimaradás a 4. henger szekunder körének megnövekedett ellenállására utal: lehet nagy gyertyahézag, gyertyakábel hiba, vagy a gyertya sérülése. Az alacsony kompresszió inkább csökkentené a gyújtófeszültséget, ezért a kompressziómérés kizáró vizsgálat. A további mérések: kompressziómérés, a gyertya és a kábel ellenállásának mérése, a gyertya szemrevételezése. A hibás alkatrész cseréje után ismételten fel kell venni a szekunder képet.

39.2.12. Rövid összefoglaló

A gyújtásdiagnosztika oszcilloszkóppal a gyújtórendszer energiafolyamatát teszi láthatóvá. A szekunder gyújtási képen a gyújtófeszültség a szikra átütéséhez szükséges csúcsfeszültség, a szikraidő a szikra égésének időtartama, a lecsengés a visszamaradt energia csillapodó rezgése. A primer oldal mérése a primer áramot és a kapcsolási tüskét mutatja; a zárásszög a primer energiatöltés idejét jellemzi. A mérés során a szekunder jelet induktív fogóval, a primer jelet áramfogóval vagy feszültségszondával vesszük fel. A mechanikus megszakítós, a tranzisztoros, az elosztó nélküli és a hengerenkénti tekercses rendszerek mérési módszere eltérő, de a jelalak értelmezése azonos. A gyújtófeszültség és a szikraidő összehasonlítása a hengerek között segít a gyújtógyertya, a kábel, a tekercs és a primer kör hibáinak elkülönítésében. A nagyfeszültség miatt a mérés csak szigetelt, megfelelő kategóriájú műszerrel végezhető. **Továbbvitt eredmény.** A gyújtási kép értelmezésének itt elsajátított módszere (gyújtófeszültség, szikraidő, lecsengés, hengerek közötti összehasonlítás) a Vizsgafelkészülés és a Gyakorlati vizsgafelkészülés alfejezetekben a komplex hibakeresési feladatokban hasznosul.

39.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási adatok: gyújtófeszültség, szikraidő, zárásszög, gyújtásszög, tekercs primer ellenállás és induktivitás, gyertya hézag – mind ellenőrizendő a jármű típusához tartozó javítási utasításban.
- Műszer- és szonda-gyártói adatok: CAT-besorolás, maximális feszültség, sávszélesség – ellenőrizendő a mérőműszer dokumentációjában.
- Az oszcilloszkóp-kezelés alapjai: az Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata alfejezetben.
- A gyújtórendszer működése: a Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig alfejezetben.
- A hibakódok (P0301, P0303 stb.) a jármű gyártói OBD-dokumentációjában ellenőrizendők.

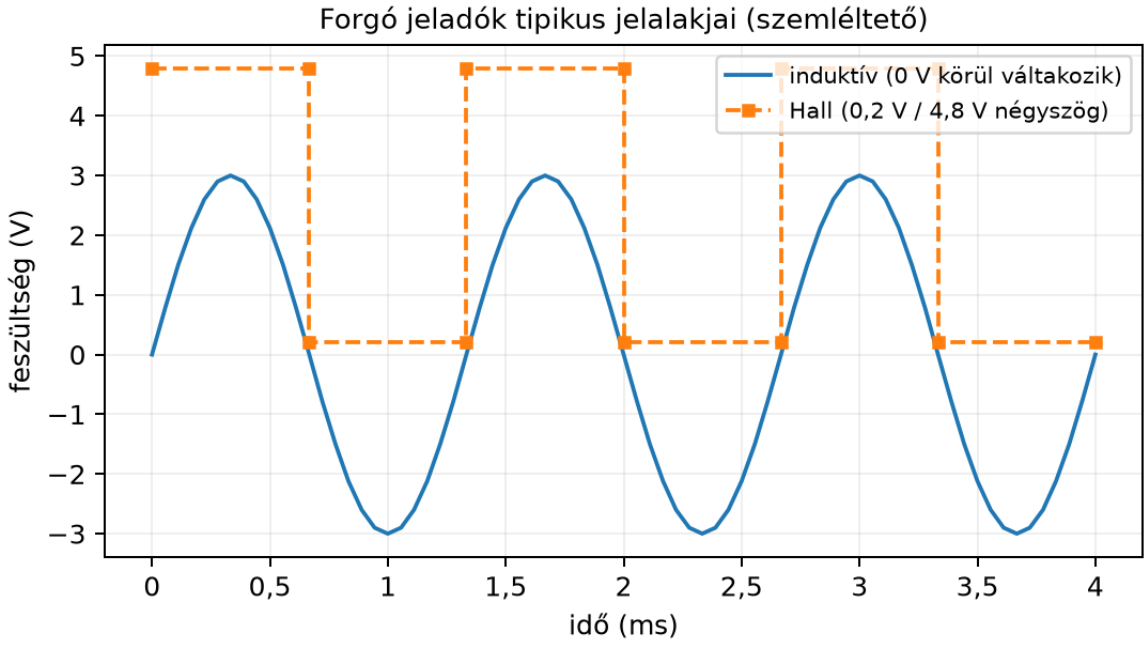
39.3. Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal

Motiváció: egy autó hidegindítás után rángat, a motor sárga ellenőrző lámpája világít, a rendszerteszter hibakódot mutat a hűtőfolyadék-hőmérséklet-jeladó körében. A hibakód azonban csak irányt ad: nem mondja meg, hogy a jeladó, a vezeték, a csatlakozó vagy a motorvezérlő egység hibás. A jeladók és beavatkozók vizsgálata éppen ezért nem merül ki a hibakód kiolvasásában; a javítónak multiméterrel és oszcilloszkóppal kell eldöntenie, hol szakadt meg a mérési lánc. Ebben az alfejezetben a gyakorlatban leggyakrabban vizsgált érzékelők és beavatkozók ellenőrzési

sorrendjét tanuljuk meg, az Érzékelők és jeladók alfejezetben megismert bekötési logikára és a Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep alfejezetben bemutatott beavatkozói működésre építve.

39.3.1. Szemléletes kép: jelalak a műszeren

Képzeljünk el egy főtengely-jeladó mérési elrendezést. Az oszcilloszkóp egyik csatornája az induktív jeladó két kapcsát méri, a másik egy aktív Hall-jeladó jelvezetékét. A képernyőn az induktív jeladó fordulatszámmal növekvő amplitúdójú, váltakozó szinuszszerű jelet ad, a Hall-jeladó pedig rögzített amplitúdójú, éles négyszögjelet. A gyakorlott szerelő nemcsak azt nézi, hogy van-e valamilyen jel, hanem azt is, hogy a jelalak alakja, amplitúdója, frekvenciája és alapvonala megfelel-e a gyártói javítási adatnak.



39.4. ábra. Forgó jeladók tipikus jelalakjai (szemléltető) - Szemléltető, kitalált tanulási adatsor (kb. 750 Hz-es jel, azonos periódusidő); az induktív jel amplitúdója a fordulatszámmal nő. A tényleges amplitúdó és jelalak gyártói adat szerint (ellenőrizendő).

A grafikonon a 0 V körül, pozitív és negatív félhullámmal váltakozó görbe az induktív jeladóé, a 0,2 és 4,8 V között ugráló négyszögjel az aktív Hall-jeladóé. Az induktív jel a fordulatszámmal együtt növekvő amplitúdójú, a Hall-jel feszültségszintje közel állandó. A jelalakok valós értékei típusonként eltérnek, ezért minden döntésnél a gyártói adat az elsődleges.

39.3.2. Alapfogalmak és a mérési lánc

Definíció: a jeladó-vizsgálat három pontja. Egy motorirányítási érzékelő leggyakrabban három villamos ponttal kapcsolódik a vezérlőegységhez: tápfeszültség, test és jel. A vizsgálat során ezt a három pontot mindig ebben a sorrendben ellenőrizzük, mert a bemenő teljesítmény nélküli jel hamis diagnózishoz vezet.

A három pont szerepe:

- **Tápfeszültség:** az aktív érzékelő külső energiát kap, jellemzően 5 V referenciafeszültséget, ritkábban 12 V-ot. Jele: `5 V` vagy `12 V` a jeladó csatlakozóján, gyújtás bekapcsolt állapotában.
- **Test:** a jeladó áramának visszavezetése. A test nem nulla ellenállású; ezért a testpontot terhelés alatt kell ellenőrizni.
- **Jelvezeték:** a jeladó kimenete, amelyet az ECU analóg bemenete vagy frekvenciabemenete olvas. A jelet alapjáratban, terhelésen és gyorsítás közben is mérni kell.

Szabály: mérési sorrend táp, test, jel után. Először a csatlakozó bekötött állapotában, lehetőség szerint a csatlakozó hátoldalán bevezetett mérőtűvel vagy mérőadapterrel (kitörőboxszal) mérjük a tápfeszültséget a jeladó tápfeszültség-kapcsa és az akkumulátor negatív pólusa között. Ezután a jeladó testkapcsa és az akkumulátor negatív pólusa közötti feszültségesést mérjük. Ez jó esetben 0,1 V-nál kisebb (ellenőrizendő: gyártói adat). Végül a jelkapcsot mérjük oszcilloszkóppal vagy multiméterrel. A vezeték szigetelését csak akkor szúrjuk át, ha a gyártó megengedi; a szúrás helyét utána szigetelni kell, mert az átszúrt szigetelésen nedvesség jut a vezetékbe, ami később korróziót és átmeneti ellenállást okoz `(ellenőrizendő: gyártói utasítás)`.

Definíció: terheléses mérés. A feszültséget nem elegendő szabadon lógó, üresjárásban lévő csatlakozón mérni, mert a szakadozott, korrodált vezeték kis mérőáram mellett szépen mutatja a feszültséget, de terhelésre letörik. Ezért a mérést bekötött, működő rendszerben, indítás vagy járatás közben, illetve ismert terhelő ellenállással végezzük. Például egy 5 V referenciafeszültséget az ECU-ról leválasztva, terhelő ellenállással ellenőrizve a feszültség nem eshet 4,8 V alá (ellenőrizendő: gyártói adat).

39.3.3. Jeladók vizsgálata csoportonként

39.3.3.1. Forgó jeladók: induktív, Hall és aktív kerékfordulatszám-jeladó

A főtengely-, vezérműtengely- és kerékfordulatszám-jeladók leggyakrabban induktív vagy Hall-elvű érzékelők. Az **induktív jeladó passzív**: nincs tápfeszültsége, két vezetéke van, és a fogaskerék elhaladásakor váltakozó feszültséget generál. A **Hall-jeladó aktív**: jellemzően három vezetéke van, tápfeszültséget igényel, és négyszögjelet ad.

Gyakorlati ellenőrzés:

1. Csatlakozó lehúzása után keressük meg a gyártói kapcsolási rajz alapján a táp-, test- és jelkapcsokat.
2. Induktív jeladónál mérjük a tekercs ellenállását. A jeladó típusától függően az ellenállás jellemzően néhány száz ohm és 2 kΩ között van (ellenőrizendő: gyártói adat). Szakadás vagy nulla ellenállás hibát jelez.
3. Hall-jeladónál a csatlakozó visszahelyezése és gyújtás bekapcsolása után mérjük a táp- és testkapcsot. A tápfeszültség jellemzően 5 V vagy 12 V (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. A jelkimenetet oszcilloszkóppal mérjük motorjáratás közben. Induktív jelnél a feszültség amplitúdója a fordulatszámmal növekszik, Hall-jelnél közel állandó négyszögjel a jellemző.
5. A jelalakból a fogaskerék hiányzó fogai, foghézagok és a szenzor távolságproblémái is láthatók. A nem megfelelő légrés elnyomja a jelet.

Számítás: jel frekvenciája. A fordulatszám- és kerékfordulatszám-jeladóknál a jel frekvenciáját a fordulatszám és a jelet adó fogaskerék fogszáma határozza meg:

$$f = \frac{n}{60}\, z,$$

ahol `n` a fordulatszám (1/min), `z` a fogaskerék fogszáma.

Kidolgozott példa. Egy kerékfordulatszám-jeladó 48 fogú fogaskerékkel dolgozik, a kerék 1000 1/min fordulatszámmal forog.

- Adott: `n = 1000 1/min`, `z = 48`.
- Keresett: a jel frekvenciája.
- Képlet: `f = (n/60)·z`.
- Behelyettesítés: `f = (1000/60)·48 = 16,67·48 = 800 Hz`.
- Ellenőrzés: 1000 1/min = 16,67 1/s, 48 fog másodpercenként 800 jelet ad, tehát a 800 Hz helyes.

39.3.3.2. Fojtószelep- és gázpedál-érzékelő

A fojtószelep-potenciométer a szívócsőbe jutó levegő fojtószelepállását, a gázpedál-érzékelő a vezető pedál szándékát jelzi. Mindkettő jellemzően 5 V referenciafeszültségről dolgozik, és egy vagy két egymástól eltérő jelkimenetet ad. A redundancia a biztonságot szolgálja: ha az egyik jel hibás, az ECU hibakódot tárol, és a motor biztonsági üzemmódba kapcsol.

Ellenőrzés multiméterrel:

1. A csatlakozó lehúzása nélkül, gyújtás bekapcsolt állapotában mérjük a tápfeszültséget; jó esetben 4,9–5,1 V (ellenőrizendő: gyártói adat).
2. A testkapocs feszültségesése az akkumulátor negatívja felé közel 0 V legyen.
3. A jelkapcson a feszültség alapjáratban a fojtószelep-záróállásnak megfelelő, kissé 0 V feletti érték, teljesen kinyitott fojtószelepnél a referenciafeszültséghez közeli. Például 0,5–4,5 V (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. A gázpedál-érzékelőnél a két egymástól eltérő jel összege jellemzően a referenciafeszültségnek felel meg, vagy egyik jel a másik kétszerese (ellenőrizendő: gyártói adat).

Oszcilloszkópos vizsgálat. A pedál lassú, egyenletes lenyomásakor a jel nem ugorhat, nem lehet rajta tüske vagy ellenállás-törésből adódó szakadás. A hirtelen, rossz érintkezésből adódó letörések a csúszópálya kopását jelzik.

39.3.3.3. Hőmérséklet-érzékelők (NTC)

A hűtőfolyadék- és beszívott levegőhőmérséklet-érzékelő leggyakrabban NTC-ellenállás. Az NTC jellemzője, hogy melegedéskor az ellenállása csökken. A vezérlőegység egy belső vagy külső húzóellenállással feszültségosztót alkot, és a jel feszültségét méri:

$$U_j = U_{\mathrm{ref}} \frac{R_{\mathrm{NTC}}}{R_1 + R_{\mathrm{NTC}}},$$

ahol `U_ref` a referenciafeszültség, `R_1` a sorbakötött húzóellenállás.

Kidolgozott ellenőrzési példa. Egy hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelőt 5 V referenciafeszültségű osztóban 1 kΩ-os húzóellenállással kötnek be. Hidegen az NTC ellenállása 2,5 kΩ.

- Adott: `U_ref = 5,0 V`, `R_1 = 1,0 kΩ`, `R_NTC = 2,5 kΩ`.
- Keresett: a jel feszültsége hidegen.
- Képlet: `U_j = U_ref · R_NTC / (R_1 + R_NTC)`.
- Behelyettesítés: `U_j = 5,0 · 2,5 / (1,0 + 2,5) = 5,0 · 2,5 / 3,5 = 3,57 V`.
- Ellenőrzés: 3,57 V a 0–5 V-os tartományon belül van.

Gyakorlatban a csatlakozó lehúzása után multiméterrel az NTC ellenállását mérjük adott hőmérsékleten, és a mért értéket a gyártói hőmérséklet–ellenállás táblázattal vetjük össze. Bekötött állapotban a jel feszültségét ellenőrizzük. Ha a jel közel 5 V, az NTC szakadt vagy a testvezeték sérült; ha közel 0 V, a jelvezeték testzárlatos vagy az NTC rövidzárlatos.

A hidegindítási gazdagítás és a ventilátorvezérlés is ezen az érzékelőn alapul, ezért a téves hőmérséklet-érték hidegindítási nehézséget, rossz alapjáratot vagy magas fogyasztást okoz.

39.3.3.4. Szívócsőnyomás-érzékelő (MAP) és légtömegmérő (HFM)

A szívócsőnyomás-érzékelő (MAP) a szívócső abszolút nyomását méri, a légtömegmérő (HFM/MAF) a beszívott levegő tényleges tömegét. A MAP-jeladó 5 V referenciafeszültségről dolgozik, és az abszolút nyomással arányos feszültségjelet ad. A HFM hőfilmes mérőeleme gyorsan érzékeli a légáramlás hűtő hatását, és a gyártótól függően feszültségjelet vagy frekvenciát szolgáltat.

Ellenőrzés:

1. A MAP-nál és a HFM-nél is a táp-, test- és jelkapcsok sorrendjét követjük.
2. A MAP esetében a jel feszültsége alapjáraton alacsonyabb, terheléskor emelkedik. A mért abszolút nyomásértékeket a rendszerteszter élő adataival összevetve ellenőrizhetjük.
3. A HFM-jel gyors gázadásra rövid időn belül emelkedni kezd. A szennyezett hőfilm lassú vagy csökkent jelet ad, ami keverékszabályozási hibához vezet.
4. A légtömegmérőt általában csak a gyártó által ajánlott tisztítófolyadékkal szabad tisztítani; a hőfilmet mechanikusan megérinteni tilos.

39.3.3.5. Kopogásérzékelő

A kopogásérzékelő piezo-elvű rezgésérzékelő, amely a gépjármű motorblokkján érzékeli a kopogási frekvenciát. A jel feszültsége kicsi, sávszűrt, ezért multiméterrel nem értékelhető megbízhatóan; oszcilloszkóppal viszont a kopogási tüskék megjelenése figyelhető meg. A gyakorlatban a kopogásérzékelő ellenőrzése két módon történik: a rendszerteszter élő adatában kopogásjelenségkor növekszik a kopogási jel, illetve oszcilloszkóppal a motorblokk megkocogtatásakor rövid, csillapodó tüskék jelennek meg. A kopogásérzékelő rögzítőcsavarját a gyártó által előírt nyomatékkal kell meghúzni, mert a hibás nyomaték megváltoztatja a jel amplitúdóját.

39.3.3.6. Lambdaszonda

A lambdaszonda a kipufogógáz oxigéntartalmát jelzi. A hagyományos ugrószonda feszültségjele szegény keveréknél alacsony (kb. 0,1 V), dús keveréknél magas (kb. 0,8–0,9 V), és a szabályozott üzemben néhányszor másodpercenként vált (ellenőrizendő: gyártói adat). A szélessávú lambdaszonda áramjelet ad, amelyet a vezérlőegység értékel ki.

Diagnosztikai lépések:

- A szonda fűtésköre külön táp- és testkapcsokkal rendelkezik. A fűtés ellenállását hideg, lehúzott csatlakozónál mérjük; jellemzően néhány ohm és 20 ohm között van (ellenőrizendő: gyártói adat).
- A jelvezetéken oszcilloszkóppal ellenőrizzük a váltakozást. A kiöregedett, lassú szonda ritkán vált, és a katalizátor szabályozása is gyenge.

- A lambdaszonda pontos hullámformáját és váltási gyakoriságát a rendszerteszter élő adataiban is nyomon követhetjük, ami a Rendszerteszter-használat alfejezetben tanult élőadat-módszerrel együtt használható.

39.3.4. Beavatkozók vizsgálata

39.3.4.1. Befecskendezőszelep (injektor)

A befecskendezőszelep mágnesszelep, amely a vezérlőegység által kapcsolt árammal nyit. Vizsgálata során először feszültségmentes, lehúzott csatlakozónál mérjük a tekercs ellenállását. A nagy impedanciájú injektor ellenállása 11–16 Ω, a kis impedanciájú injektoré néhány ohm között lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A vezérlőjelet bekötött csatlakozón járatott motornál oszcilloszkóppal mérjük. Testoldalon kapcsolt injektornál a vezérlőkapocs feszültsége a nyitás idejére közel 0 V-ra esik; a zárás pillanatában rövid, kb. 40–80 V-os induktív tüske jelenik meg `(ellenőrizendő: gyártói adat)`. Peak-and-hold vezérlésnél az áramjelen egy nagyobb nyitóáram, majd kisebb tartóáram látszik. A vezérlési időt (ms) az oszcilloszkópon a 0 V-os szakasz hossza adja, és ez összevethető a rendszerteszter élő adatával.

39.3.4.2. Alapjárat-szabályozó és egyéb beavatkozók

Az alapjárat-szabályozó lehet léptetőmotoros vagy PWM-vezérelt forgócsapos szelep. Az ellenőrzés első lépése a tekercsek ellenállásmérése a gyártói értékekkel összevetve. A PWM-vezérelt elemnél oszcilloszkóppal a kitöltési tényezőt mérhetjük:

$$D = \frac{t_{\text{be}}}{T} \cdot 100\%,$$

ahol `t_be` a bekapcsolt idő, `T` a periódusidő. A szelep akkor jó, ha a kitöltési tényező változik a terhelés és a fordulatszám függvényében. Az EGR-, EVAP-, turbó-szabályozó és termosztát-beavatkozók vizsgálata hasonló elvű: először ellenállásmérés, majd aktív teszt a rendszerteszterrel, végül oszcilloszkópos jelvizsgálat.

39.3.4.3. Motorvezérlő egység vizsgálata

A motorvezérlő egységet közvetlenül, ellenállásmérővel mérni **tilos**, mert a mérőáram a bemeneti/kimeneti fokozatokat károsíthatja. Az ECU-t mindig közvetetten, a táp-, test- és jelvezetékek ellenőrzésével vizsgáljuk. Ha minden bemeneti jel és beavatkozói vezeték rendben van, az ECU mégis hibásan működik, a gyártói diagnosztikai eljárás szerint a vezérlőegység csereprogramja következik. A vizsgálat során kitörőboxot, oszcilloszkópot és rendszertesztert használunk; a feszültségméréseket a megfelelő mérési kategóriájú (jellemzően CAT III, ellenőrizendő) műszerrel végezzük.

39.3.5. Minőségellenőrzés

A mérési lánc minden elemét a gyártói javítási adattal, vagy annak hiányában a rendszerteszter által mutatott elvárható értékkel hasonlítjuk össze.

Ellenőrzőlista jeladóvizsgálathoz:

1. A jármű azonosítása és a gyártói áramútrajz beszerzése.

2. A jeladó csatlakozójának ellenőrzése: korrózió, törött csatlakozóretesz, húzási sérülés.
3. Tápfeszültség mérése bekötött csatlakozónál, terhelés alatt.
4. Testkapocs feszültségesése.
5. Jelkimenet mérése multiméterrel, majd oszcilloszkóppal.
6. Aktív teszt futtatása a rendszerteszterrel a beavatkozókhoz.
7. A mért értékek rögzítése a munkalapon, a gyártói adat mellett.

39.3.6. Valós életbeli alkalmazás: hidegindítási hibakeresés

Az ügyfél azt panaszolja, hogy hidegen nehezen indul az autó, melegen is dús, kormos a kipufogó, és magas a fogyasztás. A rendszerteszter P0115 jellegű hibakódot mutat (példakód, ellenőrizendő). A hibafeltételezés az, hogy az NTC hűtőfolyadék-hőmérséklet-jeladó vagy annak vezetéke nem a tényleges hőmérsékletet jelzi, ezért az ECU a valósnál jóval hidegebb motort (vagy szakadt kört) érzékel, és túldúsít.

Mérési lépések:

1. A csatlakozó lehúzása után megmérjük az NTC ellenállását 20 °C-os motorhőmérsékletnél. A mért érték 12,5 kΩ (példaérték), a gyártói táblázat szerint 20 °C-on 2,5 kΩ lenne (ellenőrizendő). Az ellenállás túl magas.
2. Bekötött állapotban a jelvezetéken a feszültség közel 4,9 V, ami a gyártói elvárásnál magasabb.
3. A csatlakozó és a vezeték átvizsgálásakor a jelvezetéken szigeteléssérülést, a csatlakozóban korróziót találunk.
4. Az érzékelőt kicseréljük (az ellenállása 20 °C-on a táblázattól eltér); a korrodált csatlakozót tisztítjuk, a sérült vezetékszakaszt a gyártói utasítás szerint javítjuk, majd a hibakódot töröljük.
5. A próbaút során a hidegindítás és az üzemanyag-korrekció visszaáll a normál tartományba.

Tanulság: a hibakód irányt ad, de a döntő a mért fizikai érték összevetése a gyártói adattal.

39.3.7. Gyakorlati útmutató: Hall-jeladó és hűtőfolyadék-hőmérséklet-érzékelő vizsgálata

Cél: aktív főtengely-jeladó és NTC-hőmérséklet-érzékelő állapotának megállapítása multiméterrel és oszcilloszkóppal.

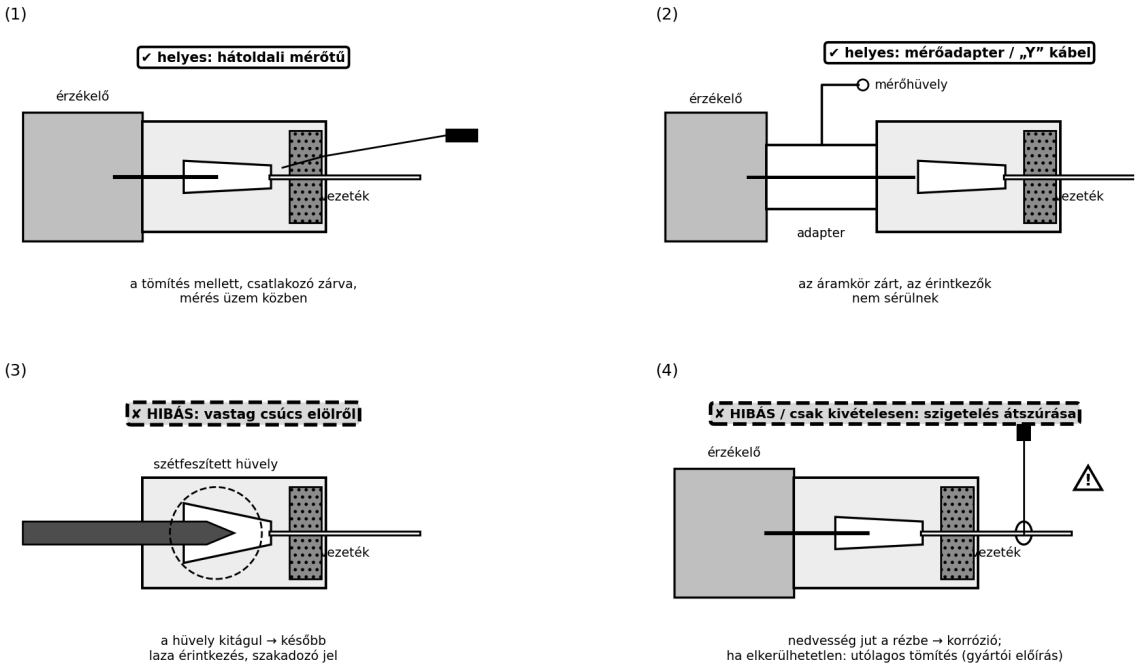
Jármű- és adatazonosítás: rendszám, alvázszám, motorkód, gyártói kapcsolási rajz beszerzése (ellenőrizendő: gyártói adat).

Szükséges eszközök: CAT III multiméter, oszcilloszkóp, hátoldali mérőtűk és mérőadapter (kitörőbox), csatlakozó- és vezetékvizsgáló készlet, munkalap, gyártói hibakeresési folyamatábra.

Anyagok: elektromos érintkezőtisztító, vezeték-javító anyagok a gyártói előírás szerint.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkabiztonsági és környezetvédelmi lépések: a gyújtás kikapcsolása, az akkumulátor lekötésének szükség szerinti gyártói eljárása, a munkaterület tiszta, száraz felülete, a sérült vezetékek hulladékkezelése. Elektromos mérésnél tilos a vezérlőegység kapcsaira ellenállásmérővel mérni.



39.5. ábra. Mérés a csatlakozón: helyes és hibás módszerek (sematikus vonalrajz)

Figyelem – mérés a csatlakozón. Az ábra szerint helyes a vékony hátoldali mérőtű a vezetéktömítés mellett (1) vagy a mérőadapter, „Y" mérőkábel (2). Hibás a vastag mérőcsúcs elölről a hüvelybe (3), mert szétfeszíti az érintkezőt; a vezeték szigetelésének átszúrása (4) nedvességet enged a rézbe, ezért csak kivételesen, a gyártó engedélyével és utólagos tömítéssel alkalmazható – a 3. lépés „átszúrható tűje" ezt a kockázatot hordozza.

Munkalépések:

1. A járművet azonosítjuk, a gyártói rajz alapján bejelöljük a Hall-jeladó táp-, test- és jelkapcsát.
2. A Hall-jeladó csatlakozóját lehúzzuk, ellenőrizzük a csatlakozó reteszelését és az érintkezők korrózióját.
3. Visszakötjük a csatlakozót, hátoldali mérőtűvel vagy mérőadapterrel megmérjük a tápfeszültséget. Gyújtás bekapcsolása után 5 V vagy 12 V jellemző (ellenőrizendő).
4. Megmérjük a testkapocs feszültségesését az akkumulátor negatív pólus felé. Jó esetben 0,1 V alatti (ellenőrizendő).
5. Oszcilloszkóppal motoros járatás közben megmérjük a jelkimenetet. A Hall-jelnek négyszögjelnek kell lennie, a feszültségszint 0,2–4,8 V közötti (példaérték, ellenőrizendő).
6. A hűtőfolyadék-érzékelőnél a csatlakozó lehúzása után megmérjük az NTC ellenállását. Hideg motornál (20 °C) az érték néhány kΩ (példa: 2,5 kΩ), meleg motornál (90 °C) néhány száz Ω (ellenőrizendő: gyártói táblázat).
7. Visszakötjük a csatlakozót, hátoldali mérőtűvel vagy mérőadapterrel megmérjük a jel feszültségét. A jel nem lehet 0 V vagy 5 V, ha a motor hőmérséklete a tartomány közepén van.
8. Ha bármely mért érték eltér, a gyártói hibakeresési folyamatábra szerint a vezetékeket, csatlakozókat és az ECU bemenetét célzottan vizsgáljuk.
9. A javítás után töröljük a hibakódot, és ellenőrizzük a motor hideg- és melegindítását.

Tipikus hibák a munkában:

- A jeladó mérését a csatlakozó lehúzásával végzik, így a hibás csatlakozó nem derül ki.
- A testkapcsot nem ellenőrzik terhelés alatt, így a korrodált testvezeték feszültségesése rejtve marad.
- A Hall-jeladó jelét nem oszcilloszkóppal, hanem csak multiméterrel mérik, így a jelalak hibáját nem veszik észre.
- Az NTC értékét kézzel melegítve becslik, ahelyett, hogy a hőmérséklet–ellenállás táblázatot használnák.

39.3.8. Tipikus hibák

1. **A mérési sorrend megfordítása.** Ha először a jelet mérik, és a jel hibás, de a tápfeszültség vagy a test is hibás, félrevezető következtetést vonnak le. A helyes sorrend: táp, test, jel.
2. **A jelvezetéket ellenállásmérővel mérik bekötött ECU mellett.** Ez a vezérlőegység bemeneti fokozatát károsíthatja. A jelvezetéket csak feszültségmentes, lehúzott ECU és érzékelő mellett szabad ellenállással mérni, vagy a gyártói előírás szerint.
3. **A jelet terheletlen, szabad csatlakozón mérik.** A szakadozott vezeték üresjárásban szépen mutatja a feszültséget, de a gyenge érintkezés terhelés alatt letörik. A mérésnek a működő rendszerben, átszúrt tűvel kell történnie.
4. **A kopogásérzékelőt multiméterrel próbálják ellenőrizni.** A piezo-jel millivoltos, tüskeszerű; a multiméteres mérés nem ad használható képet. A kopogásérzékelő vizsgálata oszcilloszkóppal és rendszerteszteres élő adatokkal történik.
5. **A lambdaszonda fűtését és jelét nem választják szét.** A fűtéskör szakadása miatt a szonda hideg marad, a jel lassú, de a jelvezeték önmagában jónak tűnhet. Mindkét kört külön kell mérni.

39.3.9. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz-e, hogy egy induktív főtengely-jeladó 5 V tápfeszültséget igényel? Indokold.

2. kérdés. Miért kell a jeladó testkapcsát terhelés alatt mérni?

3. kérdés. Egy 60 fogú főtengely-fogaskerék 800 1/min fordulatszámon forog. Mekkora a jel frekvenciája?

4. kérdés. Az NTC hűtőfolyadék-érzékelő jele közel 5 V. Mi a két legvalószínűbb hiba?

5. kérdés. Mi a helyes sorrend egy háromvezetékes aktív jeladó vizsgálatánál?

39.3.10. Az önellenőrzés megoldásai

1. kérdés. Hamis. Az induktív jeladó passzív, saját maga generál váltakozó feszültséget, nincs szüksége tápfeszültségre; a Hall-jeladó aktív, az igényel tápfeszültséget.

2. kérdés. Mert a testvezeték szakadozott vagy korrodált állapotban üresjárásban 0 V-ot mutathat, de terhelés alatt feszültségesés jelenik meg rajta. A bekötött rendszerben, működés közbeni mérés mutatja meg a valódi állapotot.

3. kérdés. `f = n/60 · z = 800/60 · 60 = 800 Hz`.

4. kérdés. Az NTC szakadt (az ellenállása nagyon nagy), vagy a testvezeték szakadt. A jel ilyenkor a referenciafeszültséghez közelít.

5. kérdés. Először a tápfeszültséget, második lépésként a testet, majd a jelet ellenőrizzük. A jelet oszcilloszkóppal, terhelés alatt is mérni kell.

39.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a háromvezetékes aktív jeladó három villamos pontját, és írd le mindegyik funkcióját.

2. feladat (A). Egy főtengely-jeladó fogaskereke 60 fogú, a motor fordulatszáma 2400 1/min. Számítsd ki a jel frekvenciáját hertzben.

3. feladat (B). Egy NTC hőmérséklet-érzékelő húzóellenállása 1,5 kΩ, referenciafeszültsége 5 V. Hidegen az NTC ellenállása 4,5 kΩ. Mekkora a jelfeszültség hidegen? Meleg állapotban az NTC 0,5 kΩ-ra csökken. Mekkora a jelfeszültség melegen? Értelmezd a két értéket.

4. feladat (B). Rajzold le áramútrajz vázlatával egy Hall-jeladó bekötését: 5 V tápfeszültség, test, jel, vezérlőegység, mérési pontok. A rajzolás után írd le, melyik ponton mérnél oszcilloszkóppal, és milyen jelet várnál.

5. feladat (C). Egy technikus a fojtószelep-érzékelő jelvezetékét multiméterrel méri zárt fojtószelepnél, gyújtás bekapcsolt állapotában. A jel 4,9 V, de a tápfeszültség 5,1 V. A technikus szerint az érzékelő hibás. Mi lehet a helyes diagnózis? Milyen további mérést javasolsz?

6. feladat (D). Egy benzinmotoros autó hibakódja a légtömegmérő (HFM) körét jelzi. Az alábbi mérési eredményeket kapod: tápfeszültség 5 V, test 0,1 V, a jel oszcilloszkópon közel vízszintes vonal, csak nagy gázadásra mozdul kissé. Mit ellenőriznél először, és miért? Javasolj javítási lépést.

39.3.12. A feladatok megoldásai

1. feladat megoldása. Tápfeszültség: az érzékelő működési energiáját adja, jellemzően 5 V vagy 12 V. Test: az áram visszavezetése a járműtest felé. Jel: a mért fizikai mennyiséget hordozó feszültség- vagy frekvenciajel, amit az ECU feldolgoz.

2. feladat megoldása. Adott: `n = 2400 1/min`, `z = 60`. Keresett: `f`. `f = n/60 · z = 2400/60 · 60 = 40 · 60 = 2400 Hz`. Ellenőrzés: 2400 1/min = 40 1/s, foganként egy jel: $40 \cdot 60 = 2400$ Hz.

3. feladat megoldása. Adott: `U_ref = 5 V`, `R_1 = 1,5 kΩ`, hideg `R_NTC = 4,5 kΩ`, meleg `R_NTC = 0,5 kΩ`. Képlet: `U_j = U_ref · R_NTC / (R_1 + R_NTC)`.

Hidegen: `U_j = 5 · 4,5 / (1,5 + 4,5) = 5 · 4,5 / 6 = 3,75 V`. Melegen: `U_j = 5 · 0,5 / (1,5 + 0,5) = 5 · 0,5 / 2 = 1,25 V`.

Értelmezés: melegedéskor az NTC ellenállása csökken, ezért a jel feszültsége 3,75 V-ról 1,25 V-ra csökken. Ez az elvárható NTC-irány.

4. feladat megoldása. A rajzon a felső vezeték az 5 V tápfeszültség és a jel, az alsó a test. Az oszcilloszkópot a jel és a test közé kötjük. Motoros járatás közben négyszögjelet várunk, amelynek feszültségszintje 0,2–4,8 V között váltakozik (példaérték, ellenőrizendő: gyártói adat).

5. feladat megoldása. A technikus hibásan csak a jel feszültségét nézte. A jel 4,9 V, a táp 5,1 V, a különbség 0,2 V. Ez lehet érzékelőhiba, de lehet a jelvezeték szakadt vagy nagy ellenállású is. Zárt állásnál a 4,9 V a testkapocs szakadására vagy a jelvezeték 5 V-os zárlatára utal; mérjük a testkapocs feszültségesését. Javasolt mérés: a táp és a test a bekötött rendszerben, majd a jel terhelés alatt. Ha a jelvezetéknél üresjárásban 4,9 V, de bekötött ECU-nél a motor nem reagál,

a vezeték ellenállását feszültségmentes állapotban mérni kell. A fojtószelep-érzékelőt a gyártói diagnosztikai folyamatábra szerint kell ellenőrizni.

6. feladat megoldása. A táp és a test rendben van, de a jel alig mozog, ami a légtömegmérő szennyezett vagy elakadt mérőelemére utal. Először a légtömegmérő hőmérsékleti és légtömegjelét kell élő adatban ellenőrizni, majd a szűrőt és a házat. A hibás légtömegmérőt tisztítani vagy gyártó szerint cserélni kell, majd a hibakódot törölni és a keverékszabályozást próbaúton ellenőrizni.

39.3.13. Rövid összefoglaló

A jeladók és beavatkozók vizsgálatának alapelve az, hogy mindig meghatározott sorrendben, a táp-, test- és jelponton mérünk, lehetőleg terhelés alatt, hátoldali mérőtűvel vagy mérőadapterrel, a gyártói adattal összevetve. Az induktív jeladó passzív, váltakozó jelet ad; a Hall- és aktív érzékelők tápfeszültséget igényelnek, négyszögjelet adnak. Az NTC ellenállása melegedésre csökken, a jel feszültsége ezért csökken. A fojtószelep- és gázpedál-érzékelő 5 V referenciafeszültséggel dolgozik, a jelnek egyenletesen kell változnia. A HFM, a kopogásérzékelő és a lambdaszonda vizsgálatához oszcilloszkóp kell, mert a jel gyors vagy kicsi. A beavatkozók ellenállását először feszültségmentes állapotban mérjük, a vezérlőjelet oszcilloszkóppal és rendszerteszterrel ellenőrizzük. A motorvezérlő egységet közvetlenül ellenállásmérővel mérni **tilos**. **Továbbvitt eredmény.** Az itt kidolgozott mérési sorrendet és döntési logikát a Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése alfejezetben az áramellátó és indítórendszer szerelésénél, valamint az Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezetben a biztonsági és komfortrendszerek jeladóinak vizsgálatánál alkalmazzuk.

39.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet az általános járművillamos méréstechnikai alapokra, a gyártói motorirányítási és diagnosztikai gyakorlatra, az MSZ EN 60617 villamos rajzjelekre, valamint az OBD/EOBD diagnosztikai protokollokra épül (ISO 15031, SAE J1962 – ellenőrizendő: hatályos változat). A konkrét táp- és jelfeszültség-értékek, ellenállás-határok, frekvenciák, csatlakozó-kiosztások és csavarónyomatékok gyártó- és típusfüggők, ezért azokat a gyártói javítási adatból kell ellenőrizni. Ellenőrizendő továbbá a mérőműszer CAT-besorolása, az NTC hőmérséklet-ellenállás táblázatai, valamint a lambdaszonda és a kopogásérzékelő pontos jelalak-adatai.

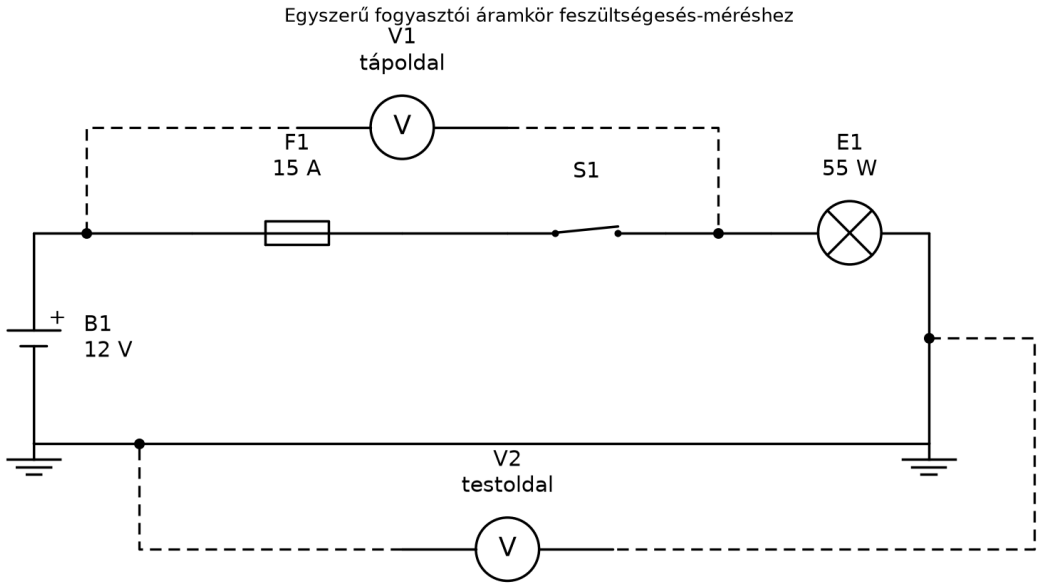
39.4. Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram

39.4.1. Motiváció

A műhelyben az egyik leggyakoribb villamos hiba az, hogy a fogyasztó „nem kap rendesen áramot”: a tompított fény halvány, az ablakemelő lassú, a ventilátor csak alacsony fokozaton forog, vagy a jármű néhány nap állás után nem indul, mert lemerül az akkumulátor. A feladat nem az, hogy alkatrészt cseréljünk találomra, hanem hogy az áramútrajz alapján, feszültségesés- és nyugalmi áram mérésével pontosan megtaláljuk a hibás csatlakozót, szakadást, zárlatot vagy rejtett fogyasztót. Ez az alfejezet a villamos hibakeresés rendszerét foglalja össze, és olyan munkamódszert ad, amelyet a későbbi szerelési gyakorlatban is mindig használni fogsz.

39.4.2. Szemléletes kép

Egy egyszerű fogyasztói áramkört képzelj el: akkumulátor, biztosító, kapcsoló, izzó, majd testpont a karosszérián. A kapcsolási rajzon jól látható a tápoldal és a testoldal. A hibakeresés során a voltmérőt mindig a vizsgált szakasszal párhuzamosan kötjük, és a fogyasztót terheljük, azaz bekapcsoljuk.



39.6. ábra. Egyszerű fogyasztói áramkör feszültségesés-méréshez - Szemléltető tanulási rajz; a valós járművön a gyártói áramútrajz a mérvadó. A kapcsoló zárt állásban látható: a mérés bekapcsolt (terhelt) fogyasztónál történik. V1: tápoldali feszültségesés (akkumulátor + pólus → izzó bal kapcsa), V2: testoldali feszültségesés (izzó jobb kapcsa → akkumulátor − pólus).

A rajzon a felső vízszintes vezeték a tápoldal: az akkumulátor pozitív pólusától a biztosítón és a kapcsolón keresztül az izzó bal kapcsáig tart. Az alsó vízszintes vonal a testoldal: az izzó jobb kapcsától visszavezeti az áramot az akkumulátor negatív pólusához, illetve a jármű karosszériájának testpontjához. A hibát leggyakrabban úgy találjuk meg, ha a fogyasztó bekapcsolt állapotában megmérjük, mekkora feszültség esik a gyanús szakaszokon.

39.4.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **feszültségesés** (voltage drop) az a feszültség, amely a vezeték, csatlakozó, biztosító vagy kapcsoló ellenállásán esik, amikor áram folyik rajta. Az Ohm-törvényből:

$$U_{\text{esés}} = I \cdot R_{\text{szakasz}}$$

ahol I az áramkör árama, R_{szakasz} a vizsgált szakasz ellenállása. Az ideális vezeték csatlakozóval együtt közel $0\,\Omega$, ezért az ideális feszültségesés is közel $0\,\text{V}$. Ha a csatlakozó korrodálódik, ellenállása megnő, és terhelés alatt mérhető feszültségesés jelenik meg.

Definíció. A **szakadás** (open circuit) az áramút megszakadása, például eltört vezeték, kihúzott csatlakozó vagy kioldott biztosító. A **zárlat** (short circuit) két eltérő potenciálú vezető nem kívánt érintkezése, például a tápvezeték testzárlata.

Definíció. A **nyugalmi áram** (quiescent current; „parazita áram”) az az áramfelvétel, amelyet a jármű akkor is fogyaszt, amikor a gyújtás ki van kapcsolva, a jármű le van zárva, és az elektronikus vezérlők alvó üzemmódba léptek. Ez táplálja az órákat, a rádió memóriáját, a riasztót és az egyes vezérlők készenléti funkcióit.

Szabály. A villamos hibakeresés mindig azonos lánc mentén halad: **tünet → áramútrajz-elemzés → hipotézis → mérés → ok → javítás → ellenőrzés → megelőzés**. A mérést mindig a gyártói áramútrajz és a kapocsjelölés (30, 15, 31) alapján tervezzük meg.

Továbbvitt eredmény. A feszültségesés-alapú áramkör-hibakeresés, a nyugalmi áram meghatározása és a mérési eredmények dokumentálása az Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése és a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetekben lesz alapvető.

39.4.4. Felépítés és működés: áramútrajz-elemzés

A hibakeresés első lépése a tünet pontos rögzítése. Például: „a bal tompított fény nem világít, a jobb világít”. Ezután a kapcsolási rajzon követjük az áramutat. A kapcsolási rajz megmutatja, hogy a vizsgált fogyasztó hogyan kap tápellátást, hol van a kapcsolója, melyik biztosíték védi, van-e relé, és hol a testpont.

A leggyakoribb kapocsjelölések: `30` = akkumulátor plusz, közvetlen; `15` = gyújtáskapcsolás utáni táp; `31` = test/negatív; `56b` = tompított fény; `D+`/`B+` = generátor kivezetések (ellenőrizendő a gyártói áramútrajz szerint). Ha egy fogyasztó nem működik, akkor a kérdés: **hiányzik a táp, hiányzik a kapcsolási parancs, vagy rossz a test?**

Az áramútrajz-elemzés lépései:

1. Keresd meg a fogyasztót az áramútrajzon.
2. Azonosítsd a biztosítékát, a kapcsolóját, a relét és a testpontját.
3. Mérj a rajz csomópontjai mentén, ne csak a fogyasztó kapcsán.
4. Ha a hibát tápoldalon gyanítod, akkor feszültségesés-mérést végezz a tápoldalon.
5. Ha a hibát testoldalon gyanítod, akkor a fogyasztó testkapcsa és a járműtest között mérj.

39.4.5. Feszültségesés-mérés terhelés alatt

A feszültségesés-mérés ereje abban van, hogy a hibás csatlakozó ellenállása csak terhelés alatt mutatkozik meg. Ha az áramkörben nincs áram, az Ohm-törvény szerint az ellenálláson nem esik feszültség. A méréshez ezért a fogyasztót be kell kapcsolni.

Eljárás. Feszültségesés-mérés táp- és testoldalon:

1. Kapcsold be a vizsgált fogyasztót.
2. A multimétert állítsd egyenfeszültség mérésre, lehetőleg 2 V vagy 200 mV tartományra.
3. A tápoldali feszültségesést a fogyasztó pozitív kapcsa és az akkumulátor pozitív pólusa között mérd. A feszültségmérőt tehát párhuzamosan kötöd a vizsgált szakasszal.
4. A testoldali feszültségesést a fogyasztó testkapcsa és az akkumulátor negatív pólusa, vagy a jármű testpontja között mérd.
5. Ha a fogyasztó pozitív kapcsa és a testpont közötti feszültséget méred, akkor az a fogyasztó tényleges kapocsfeszültsége.

Előírás. Általános műszaki gyakorlat szerint a feszültségesés egyetlen csatlakozón 12 V-os rendszerben legfeljebb 0,1 V, a táp- és testoldal összesen legfeljebb 0,3 V lehet. Indítókörökben a teljes indítóáramkörön a megengedett esés jellemzően 0,5 V-ig terjedhet, a generátor töltőkörében szigorúbb határok vannak. Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a gyártói javítási adat).

A mérés előnye: nem kell a csatlakozót szétszedni. A feszültségesés közvetlenül megmutatja, hol van a hibás érintkezés. Például ha a biztosító előtt 0,01 V, a biztosító után már 0,25 V esés mérhető, akkor a biztosító vagy annak foglalata hibás.

39.4.6. Szakadás és zárlat keresése

Szakadás esetén az áramkörben nem folyik áram, ezért a fogyasztó nem működik. A keresés történhet feszültségméréssel terhelt áramkörben: ha a szakadás előtt még 12 V, a szakadás után már 0 V van. Ha az áramkör terhelése nélkül mérünk, a szakadt vezeték nyitott vége is teljes feszültséget mutathat, ezért a mérést mindig a fogyasztó felől, lehetőleg terhelés alatt kell értelmezni. Feszültségmentes állapotban a szakadást ellenállásméréssel is igazolhatjuk: a szakadt szakasz két pontja között $\approx \infty\,\Omega$ a mérhető ellenállás.

A zárlatkeresésnél a leggyakoribb jel a kiolvadt biztosító. A zárlatot **sohasem** úgy javítjuk, hogy nagyobb értékű biztosítót teszünk be. Első lépésként az áramútrajzról megállapítjuk, mely fogyasztók és vezetékágak tartoznak a biztosítékhoz. Ezután leválasztjuk a fogyasztót, és megmérjük az ellenállást a biztosíték fogyasztó oldali kapcsa és a test között. Ha az ellenállás közel $0\,\Omega$, akkor a vezeték vagy az egyik csatlakozó testzárlatos. Az ágak szétválasztásával fokozatosan leszűkíthető a hiba helye.

Figyelem. Vezérlőegység kimenetén soha ne mérj ellenállást úgy, hogy közben a kimenet feszültség alatt van. A vezérlő kimeneti tranzisztora zárlatvédett, de a helytelen mérés tönkreteheti a kimenetet. A zárlatos beavatkozó vagy vezetékszakasz leválasztása előtt a gyártói előírás szerint feszültségmentesítsd az áramkört.

Időszakos hibáknál a csatlakozót megmozgatjuk, a kábelköteget meghúzogatjuk, a mérési eredményt közben figyeljük. Ha a feszültségesés ugrál, vagy a fogyasztó időnként működik, akkor a hiba nagy valószínűséggel mozgó csatlakozóban, elvékonyodott vezetékben vagy repedezett forrasztásban van.

39.4.7. Nyugalmi áram mérése

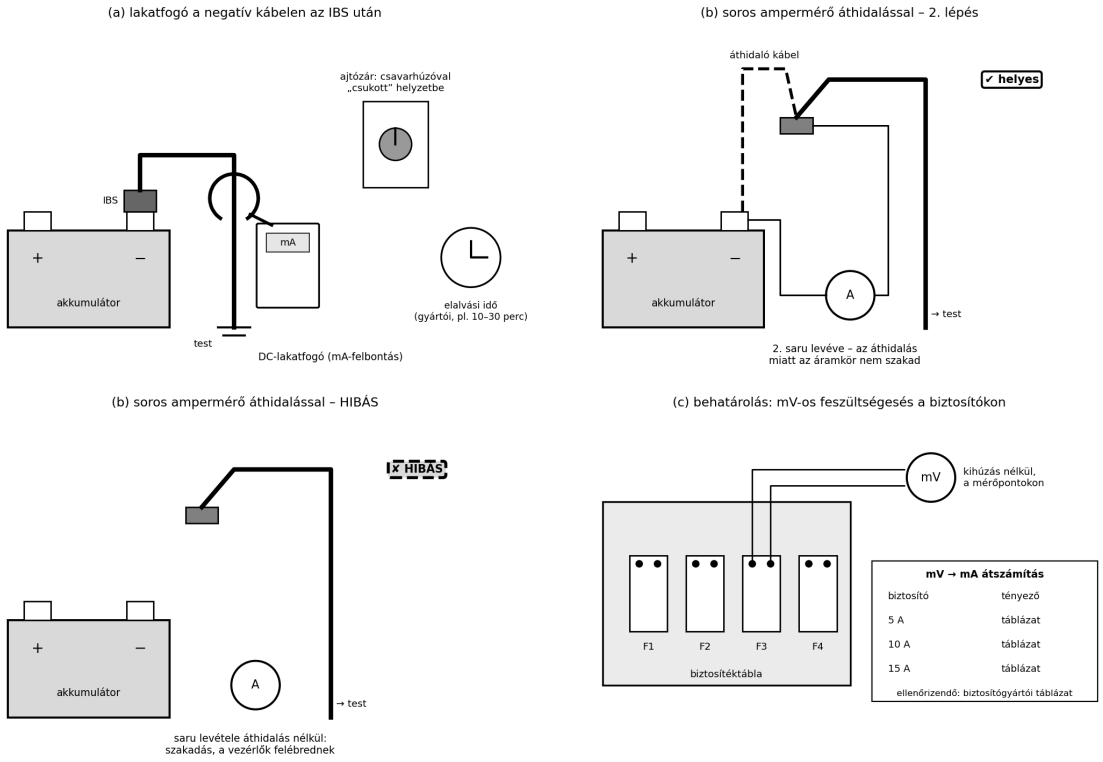
A nyugalmi áram mérését akkor kell elvégezni, ha az akkumulátor néhány nap alatt lemerül. A mért nyugalmi áramnak meg kell egyeznie a gyártó által megadott, járműtípusra jellemző értékkel. A modern járművek nyugalmi árama jellemzően 20–70 mA közé esik, de egyes típusoknál az alvó üzem után rövid ideig magasabb is lehet (ellenőrizendő: a gyártói adat).

A mérés módja:

1. Állítsd le a motort, kapcsold ki a gyújtást, vedd ki a kulcsot.
2. Zárd be az ajtókat, csukd be a csomagtartót, és kapcsold ki a belső világítást. A járművet hagyd nyugodni a gyártói előírás szerinti alvó üzemi időig, jellemzően 10–30 percig (ellenőrizendő).
3. Csatlakoztasd a mA-es DC lakatfogót a negatív akkumulátorkábelre (vagy a gyártói eljárás szerint áthidalóval kösd be a soros ampermérőt, még az elalvás előtt).
4. Várd ki az alvási időt (ellenőrizendő), közben ne nyúlj a járműhöz; ne nyisd ki az ajtót, mert az elektronika felébred.

5. Ha az érték magas, a biztosítékokon mért mV-os feszültségeséssel határold be az ágat (kihúzás nélkül). Soros ampermérővel indítani vagy nagy fogyasztót bekapcsolni tilos, mert a mérőbiztosító kiolvad.

A mérésnél különösen figyeljünk az **utólag beépített fogyasztókra**: rosszul bekötött rádió, fedélzeti kamera, riasztó, vonóhorog-elektronika, hangrendszer-erősítő. Ezek gyakran állandó tápra vannak kötve, és alvó üzemben is áramot fogyasztanak.



39.7. ábra. A nyugalmi áram mérése: lakatfogó, soros ampermérő áthidalással és behatárolás a biztosítókon (sematikus vonalrajz)

Az (a) részábrán a mA-felbontású DC-lakatfogó a negatív kábelen, az akkumulátorszenzor (IBS) után van; a járművet bezárjuk, a nyitott ajtó zárját „csukott" helyzetbe kattintjuk, és kivárjuk az elalvási időt. A (b) részábra a soros ampermérő bekötését mutatja: a saru levétele előtt áthidaló kábelt teszünk fel, így a kör nem szakad meg; áthidalás nélkül (HIBÁS) a vezérlők felébrednek. A (c) részábra szerint a fogyasztót a biztosítók tetején mért millivoltos feszültségeséssel, kihúzás nélkül határoljuk be; az mV→mA átszámítás a biztosítógyártói táblázatból adódik (ellenőrizendő). A HTML-változat a lépéseket képsorként játssza le.

39.4.8. Kidolgozott példák

1. példa. Egy 55 W névleges teljesítményű tompított égő 12 V-os rendszerben üzemel. Az egyik csatlakozó érintkezési ellenállása 0,03 Ω. Mekkora feszültségesés keletkezik a csatlakozón?

Adott: $P = 55\,\mathrm{W}$, $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 0{,}03\,\Omega$.

Keresett: $U_{\text{esés}}$.

Az áram:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{55}{12} \approx 4{,}58\,\mathrm{A}$$

A feszültségesés:

$$U_{\text{esés}} = I \cdot R = 4{,}58 \cdot 0{,}03 \approx 0{,}14\,\mathrm{V}$$

Ellenőrzés: mivel a megengedett csatlakozónkénti esés 0,1 V körül van, ez a csatlakozó már határ felett van, és az égő fényerejét érezhetően csökkentheti. ∎

2. példa. Egy 60 Ah kapacitású indítóakkumulátor nyugalmi árama 80 mA. Mennyi idő alatt veszíti el a kapacitása 30%-át, ha a jármű áll?

Adott: $C = 60\,\mathrm{Ah}$, $I = 80\,\mathrm{mA} = 0{,}08\,\mathrm{A}$.

A lemerülő töltésmennyiség: $Q = 0{,}30 \cdot 60 = 18\,\mathrm{Ah}$.

Az idő:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{18}{0{,}08} = 225\,\mathrm{h} \approx 9{,}4\,\mathrm{nap}$$

Ellenőrzés: a gyakorlatban ezért is nehéz a jármű 1–2 hét állás után indítani, ha a nyugalmi áram magas. ∎

39.4.9. Minőségellenőrzés

A villamos hibakeresés végén ellenőrizd:

- A fogyasztó a javítás után a gyártói előírás szerinti fényerővel, sebességgel vagy teljesítménnyel működik.
- A feszültségesés a táp- és testoldalon a gyártói határ alatt van.
- A biztosíték értéke megfelel a gyártói adatnak.
- A nyugalmi áram a gyártói határérték alatt van.
- A javított csatlakozó tömítése, reteszelése és korrózióvédelme megfelelő.
- A munkalapon a mért értékek, a hiba helye és a javítás lépései dokumentálva vannak.

39.4.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy 8 éves autónál az ügyfél panasza: a jobb első tompított fény halvány, a bal fényerő normális. A tünet alapján első hipotézis a rossz izzó vagy a tápoldali csatlakozó. Az áramútrajz elemzése után a mérést terhelés alatt végezzük el.

A multiméterrel a jobb oldali izzó pozitív kapcsa és az akkumulátor pozitív pólusa között 0,45 V feszültségesést mérünk, miközben az égő be van kapcsolva. A bal oldalon ugyanez az érték 0,08 V. A jobb oldalon a biztosító kapcsain 0,02 V, a fényszóró csatlakozójának tápoldali érintkezőjén 0,38 V esés mutatkozik. Ez korrodált, meglazult érintkezőre utal. A csatlakozót szétszereljük, az érintkezőt megtisztítjuk, szükség esetén cseréljük, majd a mérést megismételjük. Az új érték 0,05 V, az égő fénye egyenletes. A hibát a munkalapon rögzítjük, és a fényszóró-burkolat visszaszerelése előtt a tömítést is ellenőrizzük, hogy a csatlakozó ne korrodálhasson újra.

39.4.11. Gyakorlati útmutató

Cél: rossz testpont vagy korrodált csatlakozó azonosítása feszültségesés-méréssel.

Jármű- és adatazonosítás: alvázszám, motorszám, típus, évjárat rögzítése; az áramútrajz és a gyártói adatok előkészítése.

Szükséges szerszámok: digitális multiméter egyenfeszültség-méréshez, mérőzsinórok, lakatfogó (nyugalmi áram méréséhez), csatlakozó-kiszedő szerszámok, érintkezőtisztító és korrózióvédő anyag (a járműgyártó által jóváhagyott típus).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: a jármű akkumulátorát csak a gyártói előírás szerint kösd le, ügyelj az adatmentésre. A tisztító- és korrózióvédő anyagokat szellőztetett helyen használd. A keletkezett hulladék érintkezőt, csiszolt fémet a veszélyes hulladékok közt gyűjtsd.

Munkalépések:

1. Azonosítsd a panaszos fogyasztót az áramútrajzon.
2. Kapcsold be a fogyasztót, és győződj meg a tünetről.
3. A multimétert állítsd DC V, lehetőleg 200 mV–2 V tartományba.
4. Mérd a tápoldali feszültségesést a fogyasztó pozitív kapcsa és az akkumulátor pozitív pólusa között.
5. Mérd a testoldali feszültségesést a fogyasztó testkapcsa és az akkumulátor negatív pólusa, illetve a járműtest között.
6. Ha az összes esés nagyobb, mint a gyártói határ, akkor csatlakozónként és biztosítónként mérj, hogy behatárolhasd a hibás szakaszt.
7. A hibás csatlakozót szüntesd meg: tisztítsd, cseréld, vagy javítsd a testpontot a gyártói előírás szerint.
8. Szereld vissza, kapcsold be a fogyasztót, és ismételd meg a mérést.
9. Ellenőrizd a nyugalmi áramot, ha a panasz kapcsolódó lemerülést is tartalmazott.
10. Dokumentáld a mérési értékeket és a javítást a munkalapon.

Ellenőrzési pontok: a javítás után a feszültségesés a megengedett példaértékek, illetve a gyártói adat alatt legyen; a csatlakozó reteszelése és tömítése ép legyen.

39.4.12. Tipikus hibák

1. **Üres áramkörben mérnek feszültségesést.** A fogyasztót nem kapcsolják be, így a mérés 0 V-t mutat, pedig a csatlakozó hibás. Helyesen: mindig terhelés alatt mérj.
2. **Feszültség alatt ellenállást mérnek.** A multiméter belső áramforrása és a külső feszültség hamis értéket ad, vagy tönkreteheti a műszert, illetve a vezérlő kimenetét. Helyesen: először feszültségmentesíts.
3. **Nagyobb biztosítékot tesznek be.** A kiolvadt biztosító helyére 20 A-t tesznek a 10 A helyett, így a zárlatos vezeték túlmelegedhet. Helyesen: meg kell keresni a zárlat okát, és a gyártó által előírt értékű biztosítékot szabad beépíteni.
4. **A nyugalmi áram mérésénél nyitva marad az ajtó.** Az elektronika nem alszik el, így a mért áram magas, és téves diagnózist ad. Helyesen: minden ajtót, csomagtartót zárni kell, és a gyártói alvó üzemi időt ki kell várni.
5. **A rossz testpontot pót-testtel megkerülik.** A kiegészítő testkábel rosszul rögzítve, korrózióvédő nélkül újabb meghibásodást okozhat. Helyesen: a gyári testpontot javítsd meg, vagy a gyártói előírás szerint új testpontot alakíts ki.

39.4.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A feszültségesés-mérést kikapcsolt fogyasztónál kell végezni. Indokold.
2. Egy csatlakozó 5 A áramnál 0,05 V esést okoz. Mekkora az érintkező ellenállása?
3. Miért tilos ellenállást mérni feszültség alatt álló áramkörben?
4. Kiolvadt biztosítékot találsz. Mi legyen az első lépés a csere előtt?
5. Nyugalmi áram mérésénél milyen feltételeket kell biztosítani?
6. A fenti kapcsolási rajzon hol mérnéd a testoldali feszültségesést?

39.4.14. Feladatok

1. feladat (A) Fogalmazd meg, mi a feszültségesés, és miért kell terhelés alatt mérni.

2. feladat (A) Egy 21 W-os izzó 12 V-os rendszerben működik. Mekkora az árama? Mekkora feszültségesés keletkezik egy 0,04 Ω ellenállású csatlakozón?

3. feladat (B) Egy fűthető hátsó ablak 10 A áramot vesz fel. A tápoldali esés 0,25 V, a testoldali esés 0,15 V. Mekkora a teljes feszültségesés? Hány watt teljesítményvész lesz a csatlakozókon?

4. feladat (B) A kapcsolási rajz alapján sorold fel a tápoldali áramút elemeit az izzóig, és add meg, hol mérnéd a tápoldali feszültségesést.

5. feladat (C) Egy 70 Ah-s akkumulátor legfeljebb 50%-ig meríthető le úgy, hogy hidegen még indítson. Utólag beszerelt fedélzeti kamera miatt a nyugalmi áram 30 mA-ről 110 mA-re nőtt. Hány nappal rövidül meg a biztonságos állásidő?

6. feladat (D) Egy tolatóradar nem működik. A biztosíték ép, a biztosíték bemenetén 12,2 V mérhető, de a relé bemenetén terhelés alatt már csak 9,5 V. Mi a valószínű hiba? Hogyan keresnéd meg, és hogyan javítanád?

39.4.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A feszültségesés csak áram alatt jön létre, ezért a fogyasztót be kell kapcsolni.
2. $R = U/I = 0{,}05/5 = 0{,}01\,\Omega$.
3. A multiméter ellenállásmérése belső áramforrást használ; külső feszültség alatt hamis érték jöhet létre, és a műszer vagy a vizsgált áramkör károsodhat.
4. Először az áramútrajz alapján le kell választani a fogyasztókat, és megmérni a ágak ellenállását/testzárlatát; a biztosítékot csak a zárlat megszüntetése után szabad a gyártói értékűre cserélni.
5. Gyújtás ki, kulcs eltávolítva, minden ajtó és csomagtartó zárva, belső világítás kikapcsolva, alvó üzemi idő megvárva.
6. A testoldali feszültségesést az izzó testkapcsa és az akkumulátor negatív pólusa, illetve a rajz alsó testvezetéke között mérnénk terhelés alatt.

1. feladat (A) A feszültségesés az áramkör egy szakaszán a szakasz ellenállásán áram hatására létrejövő feszültség, $U_{\text{esés}} = I \cdot R$. Terhelés alatt kell mérni, mert az ellenállás csak akkor okoz mérhető esést, ha áram folyik rajta.

2. feladat (A) Az áram: $I = P/U = 21/12 = 1{,}75\,\text{A}$. A csatlakozó esése: $U_{\text{esés}} = I \cdot R = 1{,}75 \cdot 0{,}04 = 0{,}07\,\text{V}$.

3. feladat (B) Teljes esés: $0{,}25 + 0{,}15 = 0{,}40\,\text{V}$. Veszteségi teljesítmény: $P = I \cdot U_{\text{esés, össz}} = 10 \cdot 0{,}40 = 4{,}0\,\text{W}$.

4. feladat (B) A tápoldali áramút: akkumulátor pozitív pólusa → F1 biztosíték → S1 kapcsoló → E1 izzó bal kapcsa. A tápoldali feszültségesést az izzó bal kapcsa és az akkumulátor pozitív pólusa között, terhelés alatt mérnénk.

5. feladat (C) A felhasználható töltés $Q = 0{,}50 \cdot 70 = 35\,\text{Ah}$. Eredetileg $t_1 = 35/0{,}03 \approx 1167\,\text{h} \approx 48{,}6\,\text{nap}$; a kamerával $t_2 = 35/0{,}11 \approx 318\,\text{h} \approx 13{,}3\,\text{nap}$. A biztonságos állásidő kb. $48{,}6 - 13{,}3 \approx 35\,\text{nap}$-nal rövidül; a magas nyugalmi áram miatt az autó néhány hét állás után nem indul.

6. feladat (D) A tünet valószínűleg korrodált vagy meglazult csatlakozó a biztosíték és a relé közötti tápvezetéken. Keresés: terhelés alatt feszültségesést mérünk a biztosíték kimenete és a relé bemenete között; ha ott 2,7 V körüli esést mérünk, a hiba helye az a szakasz. Javítás: a csatlakozót megtisztítjuk, szükség esetén cseréljük, majd újra mérünk, és gondoskodunk a tömítésről, korrózióvédelemről.

39.4.16. Rövid összefoglaló

A villamos hibakeresés az áramútrajz-elemzésből indul. A tünetet rögzítjük, azonosítjuk a fogyasztó táp-, kapcsoló- és testoldali ágait, majd hipotézist állítunk fel és méréssel ellenőrzünk. A feszültségesés-mérés a leghatékonyabb módszer a korrodált csatlakozók és rossz testpontok kimutatására: a fogyasztót be kell kapcsolni, és a vizsgált szakasszal párhuzamosan kell mérni. Az $U_{\text{esés}} = I \cdot R$ összefüggésből látható, hogy a hiba csak terhelés alatt mutatkozik. A szakadást feszültség- vagy ellenállásméréssel, a zárlatot a biztosíték ágainak leválasztásával keressük. A nyugalmi áramot az ajtók zárása, az alvó üzemi idő letelte után mérjük, és a gyártói határral hasonlítjuk össze. A dokumentálás minden mérési értékre, javításra és ellenőrzésre kiterjed. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a szisztematikus, feszültségesés-alapú áramkör-diagnosztikai módszert használjuk a vezetékjavításnál, a világítás, az áramellátás és az indítás szerelésénél, valamint a gyakorlati vizsga komplex hibakeresési feladatainál.

39.4.17. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a járművillamossági méréstechnika általános gyakorlatára, a DIN 72552 kapocsjelölési rendszerére és a gyártói áramútrajzok elemzésére épül. A feszültségesés-határok, a nyugalmi áram határértékei, a biztosítékértékek, az alvó üzemi időtartamok és a vezérlőegység-védelmi előírások mind gyártó- és típusspecifikusak, ezért a javítás során mindig a gyártói javítási utasítást és áramútrajzot kell használni. A pontos hatályos mérési szabványok, illetve a hazai műszaki vizsgálati határértékek célzott ellenőrzést igényelnek (ellenőrizendő: a járműgyártó adatai, az aktuális szabványok és a hatósági előírások).

X. RÉSZ – Szerelési gyakorlat

40 Motorjavítás

40.1. A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése

40.1.1. Motiváció

Egy 2016-os, 1,6 literes szívó benzinmotoros autó panasszal érkezik: erős olajfogyasztás, kék füst hidegindítás után, járó motornál enyhe kopogó zaj az alsó blokkból, és a kompressziómérés hengerenként a gyártói alsó határ alatt van. A motor mechanikai állapotvizsgálata során a nyomásveszteségmérés erős kartergáz-szivárgást mutat, ami dugattyúgyűrű- vagy hengerfurat-hibára utal. Ilyenkor a pontos okot csak szétszerelés után, mérésekkel lehet megállapítani, és a javítási döntés – felújítás vagy motortömbcsere – a mért kopások függvénye. Ez a fejezet azt tanítja meg, hogyan kell a motort szakszerűen ki- és beszerelni, szétszerelni, a forgattyús hajtómű főbb elemeit (hengerfurat, dugattyú, gyűrűk, hajtórúd, csapágy, főtengely, lendkerék) mérésekkel hibafelvételezni, majd a felújítási lehetőségeket mérlegelni.

40.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy szerelőcsarnokot: az autó orra letámasztva, a gyári emelési pontokon emelőbakokon áll, a motorteret műhelylámpa világítja meg. A motort a szerelő már körbekötötte jelölőcímkékkel: minden elektromos csatlakozón, vákuumcsőn, üzemanyag- és hűtőfolyadék-vezetéken számozott, színes műanyag csipesz van. A motorhoz csatlakoztatott daru emelőlánca a gyári emelőszemen függ, a motortartó bakok csavarjait már kilazították. A munkapadon sorban fekszenek a szétszerelt alkatrészek: hengerfej, hengerfejtömítés, olajteknő, a négy dugattyú hajtórúddal, a főtengely csapágyfedelekkel. A szerelő kezében belső mérőműszer van, és a hengerfuratot három magasságban, két irányban méri; a mérési jegyzőkönyv oszlopai már félig tele vannak. Ez a kép mutatja, hogy a javítás minősége nem a szerszámok számán, hanem a rendszerezett, dokumentált, mérésen alapuló munkán múlik.

40.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **dugattyúhézag** (más néven szerelési hézag) a hengerfurat tényleges átmérője és a dugattyú mért átmérője közötti különbség, amely a hőtágulást és az olajfilm kialakulását teszi lehetővé. Jele $S_{\text{dugattyú}}$, mértékegysége mm.

Definíció. A **csapágyhézag** a csapágycsésze és a csap (fő- vagy hajtórúdcsap) közötti rés, amelyben az olajfilm megbízhatóan kialakul. Jele $S_{\text{csapágy}}$, mm-ben adjuk meg.

Definíció. Az **axiális hézag** a forgattyús tengely hosszirányú elmozdulási lehetősége a beépített helyzetben. Általában a középső főcsapágyon lévő tolócsapágyak határozzák meg. Jele $S_{\text{axiális}}$.

Definíció. A **gyűrűvéghézag** a dugattyúgyűrű zárásának hézaga, amikor a gyűrű a hengerfuratban, a gyártó által előírt mérési magasságban, összenyomott állapotban van. Jele $h_{\text{vég}}$.

Összefüggés. A dugattyúhézagot a mért hengerfurat és a mért dugattyúátmérő különbségéből számítjuk:

$$S_{\text{dugattyú}} = D_{\text{henger}} - D_{\text{dugattyú}},$$

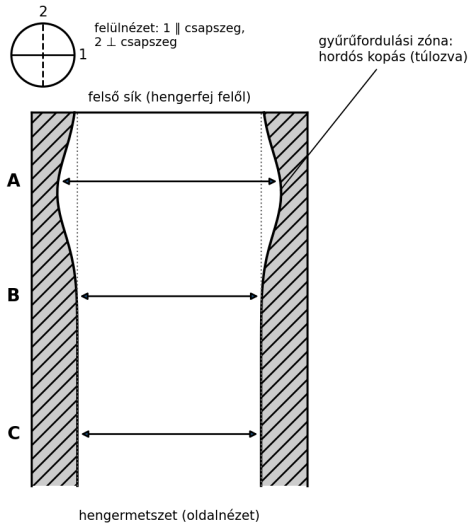
ahol D_{henger} a hengerfurat belső átmérője és $D_{\text{dugattyú}}$ a dugattyú átmérője a gyártó által megadott mérési ponton.

Szabály. A mérethatárokat mindig a gyártói javítási utasítás alapján értékeljük. Az itt megadott számértékek tanulási példák, nem helyettesíthetik a típusra érvényes adattáblázatokat (`ellenőrizendő: a gyártói javítási adat`).

A hengerfurat kopását nem elég egyetlen átmérővel jellemezni. A dugattyúgyűrűk a felső holtpont környékén dolgozzák a legnagyobb munkát, ezért ott a furat jellemzően hordószerűen kopik, és a kopás radiálisan sem egyenletes. A mérés során a furatot általában három mérési magasságban (pl. a gyártó által megadott szinteken) és két, egymásra merőleges irányban mérjük. Az **ellipszis** a két irányban mért átmérő különbsége:

$$\Delta D_{\text{ellipszis}} = D_{\max} - D_{\min}.$$

A **kúposság** pedig a legnagyobb és legkisebb átmérő különbsége a henger hosszirányában vizsgálva.



sík	1. irány	2. irány	ellipszis
A	79,14	79,09	0,05
B	79,08	79,06	0,02
C	79,03	79,02	0,01
kúposság	0,11	0,07	

legnagyobb ellipszis: 0,05 mm (határ 0,05 mm) → határon

kúposság: 0,11 mm > 0,03 mm → fúrás/hónolás szükséges

dugattyúhézag: 79,14 − 78,98 = 0,16 mm > 0,06 mm

(legnagyobb furatátmérővel, szemléltető dugattyúval)

minősítés: FELÚJÍTÁS SZÜKSÉGES

mm; mintaadatok, határok a fejezet táblázatából (tanulási példa, ellenőrizendő)

40.1. ábra. Hengerfurat mérése három magasságban és két irányban, mintajegyzőkönyvvel

Az ábra bal oldalán a hordósan kopott furat (túlozva) és az A (felső), B (középső), C (alsó) mérési sík látható; a felülnézeten az 1. irány a csapszeggel párhuzamos, a 2. arra merőleges. A mintajegyzőkönyv adataival (A: 79,14/79,09; B: 79,08/79,06; C: 79,03/79,02 mm) a legnagyobb ellipszis 0,05 mm (az A síkon), a kúposság az 1. irányban $79{,}14 - 79{,}03 = 0{,}11$ mm, ami a lenti táblázat 0,03 mm-es tanulási határát meghaladja, tehát felújítás szükséges. A HTML-kalkulátorba a hat mért értéket és a dugattyúátmérőt beállítva az ellipszis, a kúposság, a dugattyúhézag és a minősítés azonnal kiszámítódik.

40.1.4. Motor ki- és beszerelése

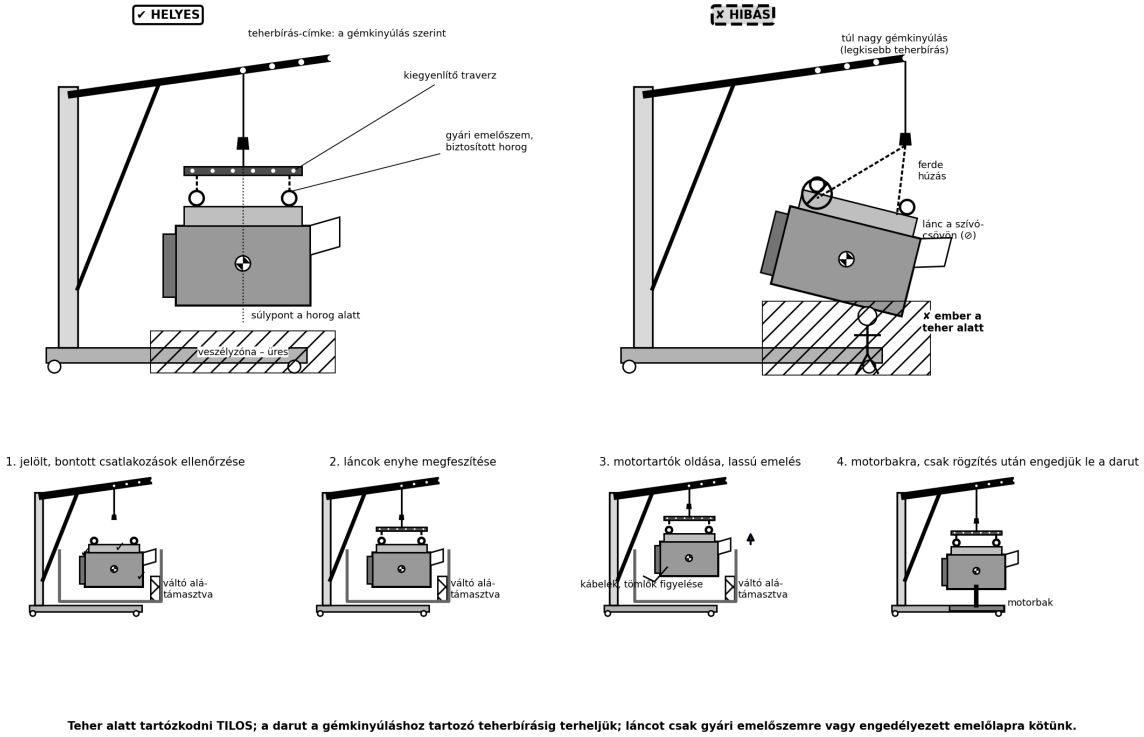
Szabály. A motor kiemelését csak gyári emelőszemekkel vagy engedélyezett emelőlapokkal, megfelelő teherbírású daruval végezzük. Csak kocsiemelővel tartott, bakkal vagy mechanikus retesszel nem alátámasztott jármű alá bemenni tilos. A járművet a gyártó által megjelölt emelési pontokon kell alátámasztani, és a kerekeket elmozdulás ellen ki kell ékelni.

Figyelem. A motor ki- és beszerelése során a legnagyobb kockázatok: leemelt motor megbillenése, beakadt csatlakozó elszakadása, forró hűtőfolyadék vagy olaj kifröccsenése, éles karosszériaelemek okozta vágás, valamint elektromos zárlat az akkumulátor lekötése előtt. A munkát mindig a gyártói munkautasítás lépései szerint végezzük. A hűtőrendszert csak hideg motornál nyomásmentesíthetjük.

HV-biztonság. Hibrid vagy elektromos járműben a belső égésű motor ki- és beszerelése nagyfeszültségű rendszert is érinthet. Munkavégzés előtt a HV-rendszert a gyártó előírása szerint kell feszültségmentesíteni, és csak arra kiképzett, jogosult személy végezheti a munkát. A HV-rendszer elemeit (narancssárga vezetékek, akkumulátor, inverter) mechanikailag sérteni tilos. A munkaterületet le kell zárni és jelölni. Lépései: jogosultság és egyéni védőeszközök ellenőrzése (szigetelő kesztyű légpróbája, arcvédő), munkaterület lezárása és jelölése, gyújtás ki, kulcs/intelligens kulcs a hatótávolságon kívül, 12 V-os akkumulátor lekötése, szervizcsatlakozó eltávolítása és visszakapcsolás elleni biztosítása, a gyártói várakozási idő kivárása, a feszültségmentesség ellenőrzése megfelelő mérési kategóriájú műszerrel (a műszer működését előtte és utána ismert forráson ellenőrizve), majd dokumentálás `(ellenőrizendő: gyártói eljárás, CAT-besorolás)`. A tanuló ezt a munkát csak jogosult oktató felügyeletével, a gyártói eljárás szerint végezheti. Hibridnél a motorhoz csatlakozó HV-kábelek (motor-generátor, villamos klímakompresszor) bontása elkerülhetetlen lehet, ezért a feszültségmentesítés a kiemelés előtt kötelező.

Gyakorlat. A motor kiemelésének ajánlott technológiai sorrendje a következő:

1. Rögzítse a járművet, tegye a sebességváltót üresbe, húzza be a rögzítőféket, és kösse le az akkumulátor negatív pólusát.
2. Nyomásmentesítse az üzemanyag-rendszert a gyártói eljárás szerint (pl. az üzemanyag-szivattyú biztosítékának eltávolítása után a motor leállásig járatása, majd a maradéknyomás leeresztése a mérőcsatlakozón gyűjtőedénybe); a vezetéket rongyba csavarva bontsa, védőszemüvegben, nyílt láng és szikra nélkül, szellőztetett helyen, tűzoltó készülék mellett `(ellenőrizendő: gyártói eljárás)`. Közvetlen befecskendezésnél a nagynyomású oldal leállítás után is nyomás alatt maradhat.
3. Engedje le a hűtőfolyadékot és a motorolajat megfelelő gyűjtőedénybe; a hulladékfolyadékot szelektíven kezelje.
4. Jelölje meg a motor és a hajtáslánc csatlakozásait: elektromos csatlakozók, vákuumcsövek, üzemanyag- és hűtőfolyadék-vezetékek, fojtószelep- és szívócső csatlakozások.
5. Szerelje le a motortérben lévő, a kiemelést akadályozó elemeket: légszűrőház, hűtőventilátor, kipufogó előcső, esetleg a fél-tengelyek vagy kardán a gyártó szerint. A klímakompresszort a csővezetékek bontása nélkül szerelje le és rögzítse félre; ha a kört bontani kell, a hűtőközeget F-gáz-képesítéssel rendelkező személy szívja le (a légkörbe engedni tilos) `(ellenőrizendő: (EU) 2024/573 F-gáz rendelet és hazai végrehajtás)`.
6. Támassza alá a sebességváltót, oldja a motortartó bakok csavarjait és a váltóhoz kapcsolódó csavarokat.
7. Szerelje fel a motor emelőszemét, és óvatosan feszítse meg az emelőláncot.
8. Ellenőrizze, hogy semmilyen kábel vagy cső nem tartja a motort, majd egyenletesen emelje ki a motortérből.
9. Helyezze a motort stabil, kerekes motorbakra, vagy rögzítse a felújításhoz.



40.2. ábra. A motor kiemelése műhelydaruval: helyes és hibás rögzítés, lépések (sematikus vonalrajz)

A helyes képen a műhelydaru a teherbírás-címke szerinti gémkinyúlásban dolgozik, a kiegyenlítő traverz láncai a gyári emelőszemekben, biztosított horgokkal kapaszkodnak, a súlypont a horog alatt van, a motor vízszintes, és a sraffozott veszélyzónában senki sem áll. A hibás képen a lánc a szívócsövön van, a gém túl messzire kinyúlik, a húzás ferde, és ember áll a teher alatt – ez tilos. A képsor a 7–9. lépést követi: csatlakozások ellenőrzése, a láncok enyhe megfeszítése (a váltó alátámasztva), lassú emelés a kábeleket és tömlőket figyelve, végül leengedés motorbakra; a darut csak a motor rögzítése után engedjük le.

A beszerelést fordított sorrendben, új tömítésekkel, megfelelő folyadékokkal és a gyártói meghúzási nyomatékokkal végezzük. A csavarokat mindig a gyártó által előírt sorrendben és nyomatékkal kell meghúzni; a nyomatékkulccsal nem meghúzott, „érzésre” beállított csavarok tipikus hibaforrások.

40.1.5. Szétszerelés a forgattyús hajtóműhöz

Amikor a motor már a munkapadon van, a szétszerelést rendszeresen, a gyártói lépések szerint végezzük. A leggyakoribb sorrend:

1. Szerelje le a segédberendezéseket (generátor, szervokormány-szivattyú, klímakompresszor, indítómotor).
2. Vezérműhajtás le: fogasszíj vagy lánc megjelölése, feszítő oldása, a gyártó szerint végezzen forgatás-ellenőrzést a szétszerelés előtt.
3. Hengerfej le: a hengerfejcsavarokat a gyártó által előírt oldási sorrendben, fokozatosan lazítsa meg; hengerfej felemelésekor ügyeljen a csatlakozókra.
4. Olajteknő le, olajszivattyú- és olajszívócső eltávolítása, ahogy a gyártó előírja.

5. Lendkerék/ hajtott tárcsa rögzítése, a hajtórúdcsapágyfedelek csavarjainak kilazítása; a dugattyúkat hajtórúddal együtt, a gyűrűket óvatosan összenyomva húzza ki a hengerfuraton keresztül.
6. Főcsapágyfedelek le, főtengely kiemelése, tolócsapágyak és csapágycsészék eltávolítása.

Minden csapágycsészét, szeleppoharat, szelepet, rugót, csapágyfedelet jelölni kell, hogy azonos helyre visszaépíthető legyen. A csavarokat az eredeti furat mellé vagy számozott táblára helyezzük.

40.1.6. Hibafelvételezés

Hengertömb és hengerfurat. A hengertömb anyaga általában szürke öntvény, ötvözött alumínium (esetleg száraz vagy nedves hengerperselyekkel). A hibafelvételezés első lépése a repedés- és tömítésvizsgálat: szemrevételezés, festékdiffúziós vizsgálat, víztérnyomáspróba (a gyártó szerint). A hengerfuratot belső mérőműszerrel, három magasságban és két irányban, a gyártó által megadott mérési pontokon mérjük. A kapott értékeket szokásosan egy jegyzőkönyvben rögzítjük, és az ellipszist, kúposságot, valamint a dugattyúhézagot is kiszámítjuk.

A tömbrendszerű furatnál a felújítási határ elérésekor túlfúrást vagy hónolást végzünk, illetve új túlméretes dugattyúkat építünk be. Száraz perselynél a perselyt ki kell venni, majd új persely besajtolása után fúrni, hónolni kell. Nedves perselynél a persely cseréje egyszerűbb: a gyártó szerinti szerelési hézaggal és tömítéssel kerül a blokkba, a felső peremmagasságot be kell mérni.

Dugattyú, gyűrűk, csapszeg, hajtórúd. A dugattyúátmérőt a gyártó által megadott mérési magasságban, a dugattyúszoknya merőleges síkjában mérjük. A dugattyúhézagot a mért furatból és a dugattyúátmérőből kapjuk. A dugattyúkat tömeg szerint is osztályozzák; a hajtórúddal együtt beszerelt szerkezet súlykülönbsége lehetőleg a gyártó által megadott tartományban legyen (pl. ± 2–4 g tanulási példa). A gyűrűhornyok kopását hézagmérővel, a gyűrűvéghézagot a hengerbe tolt gyűrűn ellenőrizzük. A hajtórúd alakhelyességét hajlító- és csavarategységben vagy célműszerrel vizsgáljuk.

Forgattyús tengely. A fő- és hajtórúdcsapokat mikrométerrel, több ponton mérjük; az ellipszis és kúposság határértékét a gyártó adja meg. A repedésvizsgálat (szemrevételezés, festékdiffúzió vagy mágneses repedésvizsgálat) kötelező, különösen hegesztett vagy túlfúrt tengelyeknél. A tengelycsapok köszörülhetők, ha az anyag rétegvastagsága megengedi; a gyártói köszörülési méretlépcsőket be kell tartani, és a hozzá illesztett csapágycsészéket kell választani.

Csapágyhézag mérés (Plastigage). A leggyakoribb módszer a plasztifikáló műanyag szál. A tiszta, száraz, olajmentes csapra, a csapágy szélességében egy Plastigage-szálat helyezünk, a csapágyfedelet a gyártói nyomatékkal meghúzzuk, majd a szál összenyomódott szélességét a mellékelt skálán olvassuk le. A szálmaradékot a mérés után el kell távolítani, és csak ezután szabad olajozni. A hézagot mm-ben kapjuk. A méréshez a forgattyús tengelyt nem szabad elforgatni.

Axiális hézag. A főtengelyt a tolócsapágyak között mérőórával ellenőrizzük: a tengelyt egyik irányba elmozdítjuk, a mérőórát nullázzuk, majd a másik irányba mozdítjuk; a leolvasott érték a hézag.

Lendkerék. A lendkerék futását mérőórával ellenőrizzük; a hibás fogaskoszorú vagy megrepedt felület cserét igényel. A kettős tömegű lendkeréknél a rugósságot és a torziós játékot a gyártó szerinti szögméréssel vizsgáljuk.

Táblázat. Jellemző kopási határértékek tanulási példái személygépkocsi-motorokban (ellenőrizendő: gyártói javítási adatok).

Mérési hely	Jellemző új méret (mm)	Kopási határ / megengedett érték (mm)
Hengerfurat belső átmérő, 1,6 l benzin	79,00–79,05	0,05 ellipszis, 0,03 kúposság felett fúrás szükséges
Dugattyúhézag (szoknya)	0,02–0,04	0,06 felett felújítás
Gyűrűvéghézag (1. kompresszió)	0,20–0,35	0,50 felett csere
Csapágyhézag (főcsapágy)	0,02–0,05	0,07 felett csap köszörülése + javítóméretű (alulméretes) csapágycsésze
Főtengely axiális hézag	0,05–0,15	0,25 felett tolócsapágy csere

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

40.1.7. Felújítási lehetőségek

A hibafelvételezés után három fő döntési út van:

- **Cserés felújítás:** a hengerfuratot túlfúrják és hónolják, új túlméretes dugattyúkat, gyűrűket, csapágyakat és tömítéseket építenek be; a főtengelyt csiszolják (köszörülik), és javítóméretű (alulméretes) csapágycsészéket választanak.
- **Teljes blokkcsere:** ha a hengertömb repedt, a furat túlzottan kopott, vagy a blokk deformálódott, csere indokolt.
- **Motorcsere:** ha a felújítás költsége meghaladja a cseremotorét, vagy a motor belső károsodása kiterjedt, a komplett motorcsere a gazdaságosabb.

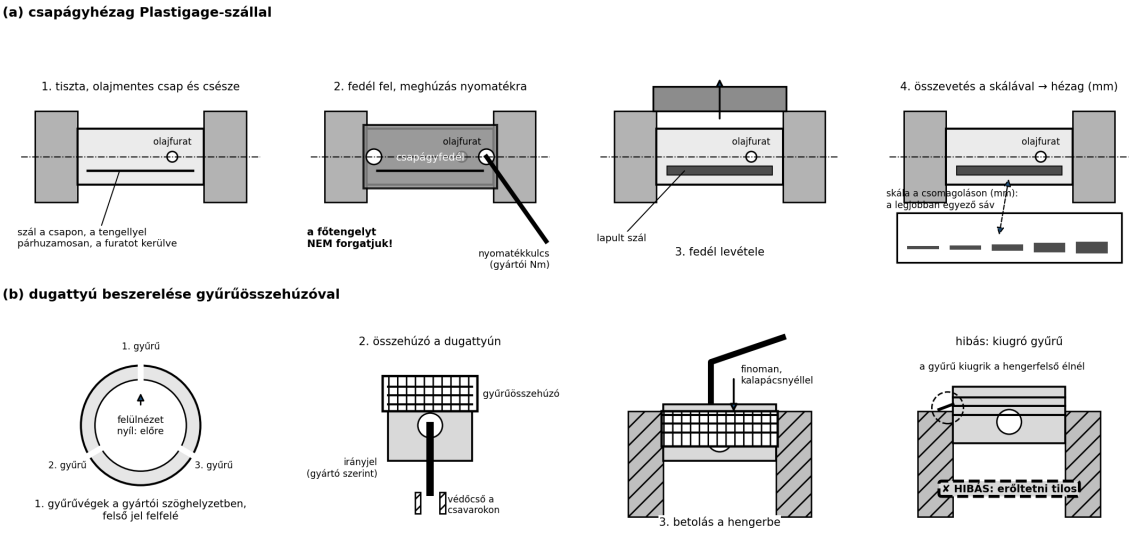
A mindenkori döntés a mért értékek, a gyártói felújítási határok és az alkatrész-árak összehasonlításán alapul.

40.1.8. Összeszerelés

Az összeszerelés a szétszerelés fordítottja, de sokkal szigorúbb tisztasági és mérési követelményekkel:

1. Minden alkatrészt mosóberendezésben vagy oldószerben tisztítsa meg, az olajfuratokat fúvassa át, és vizsgálja át.
2. Helyezze be a száraz, tiszta csapágycsészéket és a főtengelyt.
3. Mérje meg a csapágyhézagot Plastigage-szállal (száraz felületen, a fedelet gyártói nyomatékkal meghúzva, a tengelyt nem forgatva); a szálmaradékot távolítsa el. Ezután olajozza be a csészéket tiszta szerelőolajjal, és végleg húzza meg a csapágyfedeleket a gyártói nyomatékkal.
4. Ellenőrizze az axiális hézagot; ha nem megfelelő, tolócsapágyat cseréljen.
5. Szerelje fel a dugattyúgyűrűket a dugattyúkra a jelzett módon (felső jel, irány), számítsa be a gyűrűvéghézagot a hengerben.
6. Dugattyúgyűrű-összehúzóval, óvatosan tolja a dugattyúkat a hengerekbe a hajtórúd megfelelő irányával.
7. Húzza meg a hajtórúdcsapágy fedeleket előírt nyomatékkal; ellenőrizze a hajtórúd oldalirányú játékát.
8. Szerelje be az olajszivattyút, olajteknőt, hengerfejet, vezérlést, segédberendezéseket.
9. A motort forgassa át kézzel a meghúzás után, hogy ne legyen mechanikus ütközés.

10. Motor beépítés után töltsön be olajat, hűtőfolyadékot, légtelenítse a hűtőrendszert, és végezzen műszeres ellenőrzést (olajnyomás, kompresszió, tömítettség).



40.3. ábra. Csapágyhézag mérése Plastigage-szállal és a dugattyú beszerelése gyűrűösszehúzóval – képsor (sematikus vonalrajz)

Az (a) képsor a 3. lépés Plastigage-mérését mutatja: a szál a tiszta, olajmentes csapon, a tengellyel párhuzamosan fekszik; a fedelet a gyártói nyomatékra húzzuk (a főtengelyt közben nem forgatjuk), majd levesszük, és a lapult szál szélességét a csomagolás skálájával vetjük össze. A (b) képsor a 6. lépést: a gyűrűvégek a gyártói szöghelyzetben, a gyűrűösszehúzó a dugattyún, a hajtórúdcsavarokon védőcső, a dugattyút kalapácsnyéllel finoman toljuk be; ha a gyűrű a hengerfelső élnél kiugrik, erőltetni tilos.

Szabály. A csavarok meghúzási nyomatékát minden esetben a gyártói adatból kell venni, és nyomatékkulccsal kell végrehajtani. Az itt szereplő értékek csak tanulási példák.

A bejáratás után a motort a gyártó szerinti terhelésfokozattal szabad üzemeltetni; általában az első 500–1000 km-en kerüljük a tartós teljes terhelést és a hideg motornál történő magas fordulatszámot `(ellenőrizendő: gyártói útmutató)`.

40.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy 1,6 literes, négyhengeres, szívó benzinmotoros autó ügyfele elmondja, hogy a jármű 1000 km-enként körülbelül 1,5 liter olajat fogyaszt (a gyártói megengedett érték jellemzően ennél jóval kisebb; ellenőrizendő: gyártói adat), hidegindítás után erős kék füst jelenik meg, és a motor alsó blokkja meleg állapotban kopogó hangot ad. A kompressziómérés hengerenként 9,5–10,0 bar értéket mutat, a nyomásveszteségmérésnél 45%-os szivárgást mérnünk, a kartergáz-ellenőrzés jelentős túlnyomást jelez. A hibafelvételezés során kiemeljük a motort, szétszereljük, és a következőket mérjük:

- 3. henger furatának felső tartománya: 79,14 mm (keresztirány) és 79,09 mm (hosszirány) (példa), ellipszis 0,05 mm; a 4. henger hasonló értékeket mutat, tehát túlfúrás szükséges.
- Dugattyúhézag: 0,12 mm, a gyűrűvéghézag 0,62 mm, ami a kopási határ felett van.
- A főtengely főcsapjai kúposak és ellipszisek, a csapágyhézag 0,08 mm, ezért a tengelyt köszörülni, javítóméretű (alulméretes) csapágycsészékre cserélni kell.

- A hengerfejnél repedést nem találunk, de a síkfelületet 0,08 mm-rel egyengetni kell.

A javítási döntés: hengerfúrás + hónolás, új túlméretes dugattyúk és gyűrűk, főtengely-köszörülés, új csapágykészlet, hengerfejsík-egyengetés, valamint új tömítéskészlet és vezérlés. Összeszerelés után a motor tömítettségi próbája jó, kompresszió mindenhol 12,0–12,5 bar, az olajfogyasztás megszűnik. A tanulság: a pontos mérés nélkül a hiba kiújulhat, ezért a kopott motort soha nem csak „gyűrűzni” szabad, ha a furat és a tengely is túl van a határon.

40.1.10. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél. Motor kiemelése, forgattyús hajtómű szétszerelése, méréses hibafelvételezés és összeszerelés.

Jármű- és adatazonosítás. Alvázszám alapján az adott típus javítási utasítása, csavaranyagok és húzási nyomatékok `(ellenőrizendő: gyártói adatbázis)`.

Szerszámok, mérőeszközök, anyagok. Teljes kéziszerszámkészlet, nyomatékkulcs, emelőbakok, motordaru, motorbak, emelőszem, csatlakozó-jelölő címkék, gyűjtőedények, mérőműszerek (belső mérőműszer, külső mikrométer, mérőóra, hézagmérő, Plastigage), tömítéskészlet, szerelőolaj, tömítőanyag, új csavarok a gyártó szerint.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések. Akkumulátor negatív pólus lekötése, jármű alátámasztás, hűtőfolyadék és olaj gyűjtése, kilépő anyagok szelektív kezelése, szem- és bőrvédelem, kesztyű.

Számozott munkalépések:

1. Mérje meg a kompressziót és a nyomásveszteséget a szétszerelés előtt, hogy a hibát dokumentálja (lásd Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata).
2. Rögzítse a járművet, kösse le az akkumulátort, engedje le a folyadékokat.
3. Jelölje meg a csatlakozókat, szerelje le a segédberendezéseket, és emelje ki a motort.
4. Szerelje le a vezérlést, hengerfejet, olajteknőt.
5. Vegye ki a dugattyúkat hajtórúddal, jelölje meg a szerelési irányt.
6. Szerelje le a főcsapágyfedeleket, emelje ki a főtengelyt.
7. Végezze el a furatok, dugattyúk, gyűrűk, hajtórudak és a főtengely mérését; töltse ki a jegyzőkönyvet.
8. Hozza meg a felújítási döntést (fúrás, köszörülés, csere).
9. Felújítás után moss meg minden alkatrészt, fúvassa át az olajfuratokat.
10. Szerelje össze a forgattyús hajtóművet a gyártói nyomatékokkal és mérési ellenőrzésekkel.
11. Szerelje fel a hengerfejet, vezérlést, vezérműfedelet, olajteknőt.
12. Motor beépítése, folyadékok, szűrők cseréje, tömítettség- és funkciópróba.
13. A kezdeti járatás után ellenőrizze az olajnyomást, az esetleges szivárgást, és végezzen rövid ellenőrző próbautat.

Ellenőrzési pontok. A mérési jegyzőkönyvben minden érték a megengedett tartományban van. A csapágyhézag, axiális hézag, dugattyúhézag és gyűrűvéghézag a gyártói határon belül van. A nyomatékkulcs kalibrációja érvényes. A motor kézzel szabadon forgatható.

Tipikus hibák. Hiányzó jelölés miatt rossz helyre szerelt csapágyfedél; a hengerfejcsavar oldási sorrendjének figyelmen kívül hagyása, ami a blokk deformálódását okozhatja; a tömítőfelület karcolása éles szerszámmal; a Plastigage-mérés közben a főtengely elforgatása; olaj és hűtőfolyadék gyűjtésének elmulasztása.

Dokumentálás. Munkalap, mérési jegyzőkönyv, fényképek, alkatrész- és munkadíj elszámolás.

40.1.11. Tipikus hibák

Hiba 1. A szerelő a motor kiemelése előtt nem jelöli meg a csatlakozókat. Összeszereléskor két azonos színű csatlakozó felcserélése lehetséges, ami hibakódot vagy nem induló motort okoz. Helyes gyakorlat: minden csatlakozót számozzon, fényképezzen.

Hiba 2. A hengerfurat mérésénél csak egy átmérőt, egy magasságban mérnek. Ilyenkor az ellipszis vagy a kúposság rejtve marad, és az új dugattyúk rövid idő alatt kopni kezdenek. Helyes gyakorlat: mérjen legalább három magasságban, két irányban, és a legnagyobb értékkel értékeljen.

Hiba 3. A csapágycsavarokat „érzésre” húzzák meg, vagy régi, megnyúlt csavarokat használnak fel. A csapágyhézag nem lesz megfelelő, vagy a csavar elszakad. Helyes gyakorlat: gyártói nyomaték, előírt csavarcsere, esetleg szögmeghúzás.

Hiba 4. A dugattyúgyűrűket nem a hengerben mérik be, így a véghézag túl kicsi lesz, és a gyűrű beszorul. Helyes gyakorlat: minden gyűrűt a saját hengerében, a gyártó által megadott magasságban kell mérni, szükség esetén a zárat óvatosan reszelni.

Hiba 5. Az összeszereléshez nem tiszta szerelőolajat használnak, így a csapágyak a kezdeti indításkor szárazon futnak. Helyes gyakorlat: minden csapágyfelületet kenjen be, és az indítás előtt forgassa át a motort.

40.1.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A dugattyúhézag a hengerfurat és a dugattyú mért átmérőjének különbsége. Indokoljon.
2. Miért mérünk a hengerfuratnál két irányban és három magasságban?
3. Hogyan mérjük a főtengely axiális hézagát?
4. Egy hengerfurat felső tartományában $D_{\max} = 79{,}14\,\text{mm}$ és $D_{\min} = 79{,}09\,\text{mm}$ (példa). Mennyi az ellipszis?
5. Mi a veszélye annak, ha a motor kiemelésekor a járművet csak kocsiemelő tartja?

40.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Határozza meg a dugattyúhézagot, ha a hengerfurat mért átmérője 79,12 mm, a dugattyú átmérője a mérési ponton 79,05 mm (tanulási példa).

2. feladat (A). Sorolja fel a motor ki- és beszereléshez szükséges biztonsági lépéseket.

3. feladat (B). Egy motor főcsapjának átmérője mikrométerrel mérve három ponton: 54,00 mm, 53,98 mm, 53,96 mm. A csapágyfurat (beszerelt csészékkel) 54,02 mm (példa). Mennyi a maximális és minimális csapágyhézag, ha a furat átmérője állandó? Értékelje, ha a gyártói hézagtartomány 0,02–0,05 mm (példa).

4. feladat (B). Írja le a Plastigage-mérés lépéseit.

5. feladat (C). Hibafelvételezés során a hengerfurat ellipszise 0,06 mm, a dugattyúhézag 0,09 mm. Milyen felújítási döntést hozna, és miért? Milyen kockázata van annak, ha csak a dugattyúgyűrűket cserélik?

6. feladat (D). Egy 2,0 literes dízelmotor kopog és erősen fogyasztja az olajat. A kompresszió hengerekenként eltérő, a nyomásveszteségmérés 40% feletti kartergáz-szivárgást mutat. A szétszerelés után a 2. henger furata kúpos, a dugattyúgyűrűk alsó és felső élei fényesre koptak, a főtengely csapjai ellipszisek. Fogalmazza meg a hibafelvételezés lépéseit és a javítási javaslatot.

40.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A dugattyúhézag definíció szerint a hengerfurat belső átmérője és a dugattyú mérési átmérője közötti különbség.
2. Azért, mert a henger kopása radiálisan és hosszirányban is egyenetlen; az ellipszis és a kúposság csak így mutatható ki.
3. Mérőórával: a főtengelyt egyik irányba toljuk, nullázzuk az órát, majd a másik irányba toljuk, és leolvassuk a különbséget.
4. $\Delta D = 79{,}14 - 79{,}09 = 0{,}05\,\text{mm}$.
5. A kocsiemelő meghibásodhat vagy elcsúszhat, a leeső jármű súlyos sérülést okoz; ezért a járművet emelőbakokra kell helyezni a gyári emelési pontokon.

1. feladat megoldása. $S = 79{,}12 - 79{,}05 = 0{,}07\,\text{mm}$. A példaérték szerint ez kopott, felújítást igényel.

2. feladat megoldása. Akkumulátor negatív pólus lekötése, jármű alátámasztás emelőbakokra, kerekek ékelése, folyadékok gyűjtése, csatlakozók jelölése, emelőszem/daru teherbírás ellenőrzése, motor stabil alátámasztása.

3. feladat megoldása. Maximális csapágyhézag: $S_{\max} = 54{,}02 - 53{,}96 = 0{,}06\,\text{mm}$. Minimális csapágyhézag: $S_{\min} = 54{,}02 - 54{,}00 = 0{,}02\,\text{mm}$. A maximális érték meghaladja a példaként megadott 0,05 mm határt, tehát a csapot köszörülni kell, vagy a csapágyat cserélni kell.

4. feladat megoldása. Tiszta csapágyfelület, a műanyag szál elhelyezése a csapon, a fedél meghúzása gyártói nyomatékkal (tengely forgatása nélkül), a fedél lebontása, a szál összenyomott szélességének leolvasása a skálán.

5. feladat megoldása. Az ellipszis és a dugattyúhézag is a megengedett határ felett van, ezért hengerfúrásra, hónolásra és új túlméretes dugattyúkra van szükség. Csak gyűrűcsere esetén az új gyűrűk a kopott, ovális furatban nem tudnak tömíteni, a fogyasztás és a kartergáz-szivárgás megmarad, a dugattyú kopogása is fennmaradhat.

6. feladat megoldása. A tünetekből kiindulva a kompresszió- és nyomásveszteségmérés alapján a hiba a dugattyú- és hengercsoportra lokalizálódik. Szétszerelés után mérni kell a hengerfuratok ellipszisét és kúposságát; itt a 2. henger kúpos, ez fúrást igényel. A dugattyúgyűrűk kopottak, cserélendők. A főtengely csapjai ellipszisek, ezért a tengelyt köszörülni és túlméretes csapágyakat kell beépíteni. A javaslat: blokk túlfúrása, új dugattyúk gyűrűkkel, főtengely-köszörülés, új csapágykészlet, olajszivattyú ellenőrzése, összeszerelés és bejáratás.

40.1.15. Rövid összefoglaló

A motor ki- és beszerelése csak biztonságos alátámasztással, gyári emelőszemekkel, jelölt csatlakozókkal és dokumentált lépésekkel végezhető. A szétszerelés során minden csapágyfedelet, hajtórudat és csapágycsészét jelölni kell. A forgattyús hajtómű hibafelvételezése mérésalapú: a hengerfuratot több szinten és irányban mérjük, az ellipszist és kúposságot értékeljük; a dugattyúhézagot a furat és a dugattyú mért átmérőjének különbségéből számítjuk; a gyűrűvéghézagot

a hengerbe tolt gyűrűn mérjük; a főtengely csapjait ellipszisre és kúposságra ellenőrizzük, a csapágyhézagot jellemzően Plastigage módszerrel, az axiális hézagot mérőórával mérjük. A felújítási döntés a gyártói határértékeken múlik: ha az ellipszis, a dugattyúhézag vagy a csapágyhézag túl nagy, fúrás, hónolás, köszörülés szükséges, nem elég a gyűrűcsere. Az összeszerelés minden tömítőfelületet és csapágyat tiszta szerelőolajjal, előírt nyomatékkal és a gyártói mérési ellenőrzésekkel igényel. **Továbbvitt eredmény.** A hengerfurat- és dugattyúmérési módszert használjuk a Hengerfej, szelepek és a vezérlés javítása alfejezetben a hengerfej-sík és a kompresszió összefüggésénél, a csapágyhézag- és főtengelymérési módszert pedig a Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere alfejezetben a lendkerék- és hajtáslánc-csatlakozás ellenőrzésénél. A gyártói javítási adat elsőbbsége minden értéknél kötelező.

40.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: motor kiemelés és beszerelés lépései, emelőpontok, meghúzási nyomatékok, csavaroldási/szerelési sorrend, csapágyhézag, axiális hézag, dugattyúhézag, gyűrűvéghézag, repedésvizsgálat, fúrási és köszörülési méretlépcsők, bejáratás (ellenőrizendő: típusonként).
- Munkavédelmi törvény (1993. évi XCIII. törvény – ellenőrizendő: hatályos szöveg), a munkahelyi biztonsági előírások, az emelőberendezések vizsgálata (ellenőrizendő: hatályos rendelet).
- Hulladékgazdálkodási jogszabályok: fáradt olaj, hűtőfolyadék, tisztítószerek kezelése (ellenőrizendő: hatályos törvény és rendelet).
- A gépi megmunkálás és a csapágyszerelés szabályai: Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések alfejezet.
- A forgattyús hajtómű alapismeretei: Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés alfejezet.
- A motor mechanikai állapotvizsgálata: Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata alfejezet.

A fenti szabvány- és jogszabályhivatkozások ellenőrzést igényelnek; a műszaki adatokat mindig az adott jármű javítási kézikönyvéből kell venni.

40.2. Hengerfej, szelepek és a vezérlés javítása

40.2.1. Motiváció

Két műhelyi helyzet nagyon gyakran visz hengerfej-javításhoz. Az egyik: az ügyfél azt mondja, hogy a motor forrón leállt, azóta fehér gőz jön a kipufogóból, és a kiegyenlítő tartályban buborékol a hűtőfolyadék. Ekkor a hengerfejtömítés hibája gyanús. A másik: az autó egyenlőtlenül jár, kékes füstöt ereget indításkor, és lassan fogy az olaj – ilyenkor a szelepvezetők, a szelepszártömítések vagy a szelepek tömítettsége kerül gyanúba. A hengerfej a motor legpontosabban összeszerelt részegysége: ha itt nem a gyártói sorrendben és értékekkel dolgozunk, a hiba rövid idő alatt visszatér, vagy a motor súlyosan károsodik.

40.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy négyhengeres, 16 szelepes Otto-motor hengerfejét függőleges metszetben. Alul az égéstér teteje, körben a hűtőköpeny és az olajjáratok. A hengerfejben két szívó- és két kipufogószelep áll ferdén, hegyük a henger felé néz. A szelepszár acél henger, a tányér hátoldala

a szelepüléshez illeszkedik. A szárat a hengerfejbe préselt vagy beszerelt szelepvezető cső vezeti meg. A szár végénél a szeleprugó és a rugótányér, felette a szelepemelő tányér vagy hidraulikus kiegyenlítő, legfelül pedig a vezérműtengely bütyke. A vezérműtengelyt a hengerfej tetején csapágybakok tartják, és fogasszíj, lánc vagy fogaskerék hajtja a főtengely felől.

40.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A hengerfej síksága a tömítőfelület valós síktól való eltérése. A gyártó megengedett maximális eltérést ad meg, például 0,05 mm hosszirányban és 0,03 mm keresztirányban (ellenőrizendő: gyártói adat).

Definíció. A szelep tömítettsége azt jelenti, hogy a zárt szelep tányérja a teljes kerületén egyenletes, keskeny záróperem mentén fekszik fel a szelepülékre, és a rés nem enged át gázt vagy folyadékot.

Definíció. A szelephézag a vezérlésben a szelepemelő (vagy hidraulikus elem) és a szelepszár vége közötti, hideg vagy meleg motorra megadott hézag. Feladata a hőtágulás kiegyenlítése, hogy a szelep minden hőmérsékleten biztosan zárni tudjon.

Összefüggés. Tányéros–csavaros szelepemelőnél az új tányérvastagság:

$$t_{\text{új}} = t_{\text{mért}} + (h_{\text{mért}} - h_{\text{előírt}})$$

ahol t a tányér vastagsága, h a szelephézag. Ha a mért hézag túl kicsi, vékonyabb tányér kell, hogy a hézag növekedjen.

Definíció. A vezérlési idő a szelepek nyitási és zárási szöge a főtengely-szögben kifejezve. A beállítás alapja a főtengely és a vezérműtengely gyártói jelének egybeállítása; a részletes jeleket és rögzítőszerszámokat az Vezérműhajtás alfejezet ismerteti.

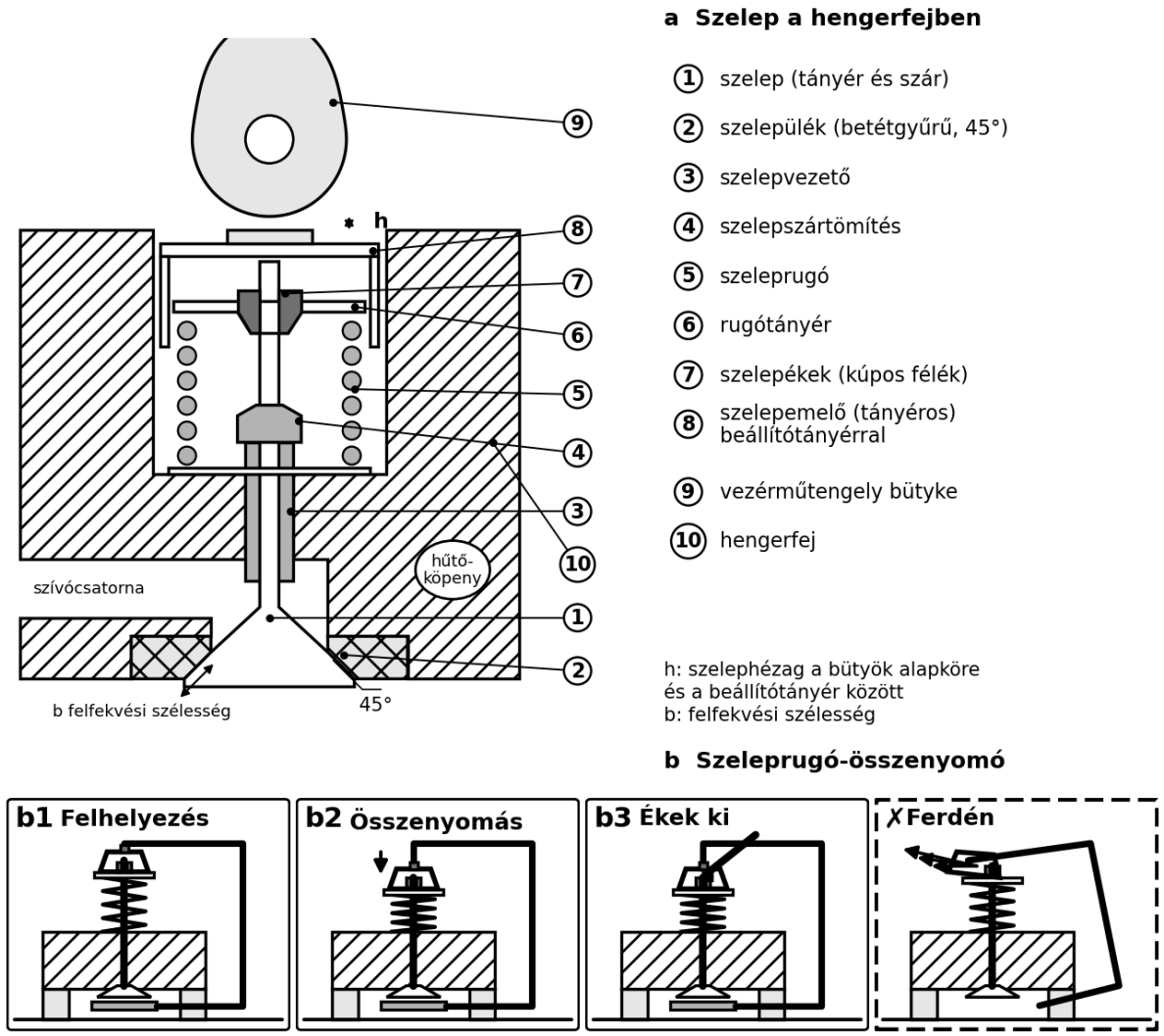
40.2.4. Felépítés és működés

A hengerfej jellemzően könnyűfém öntvény, a motorblokkhoz hosszú, nyúló hengerfejcsavarokkal rögzítik. A csavarokat általában cserélni kell, mert a szögelfordításos meghúzás során a csavar rugalmasan megnyúlik, és másodszori használatra már nem adja a tervezett előfeszítést (ellenőrizendő: gyártói adat). A hengerfejtömítés többrétegű acél vagy hagyományos lágy tömítés, feladata az égésgáz, az olaj és a hűtőfolyadék járatai közötti tömítés.

A szelepmechanizmus részei:

- **Szelep:** szívószelep nagyobb tányérral, kipufogószelep kisebb, de jobb hőálló anyaggal. A tányér szöge gyakran 45°.
- **Szelepülés:** az öntöttvas vagy keményfém gyűrű a hengerfejben, ahová a szelep záráskor felfekszik.
- **Szelepvezető:** a szelepszárat minden löketben pontosan vezető persely, kopófelülettel.
- **Szelepszártömítés:** a vezető fölötti gumielem, amely megakadályozza, hogy az olaj a szár mentén az égéstérbe jusson.
- **Szeleprugó:** a szelepet zárja; gyakran egy vagy két rugó, néha progresszív rugó.
- **Szelepemelő:** mechanikus tányéros, csavaros vagy hidraulikus kiegyenlítő. A hidraulikus emelő olajnyomással automatikusan kiegyenlíti a játékot, így nincs rendszeres hézagbeállítás, de a motor olajminőségére érzékeny.

Az alábbi ábra (a) metszetben mutatja a felsorolt elemek egymáshoz viszonyított helyét – a szelepülék 45°-os felületét és a felfekvési szélességet (b), valamint a szelephézagot (h) a bütyök alapköre és a beállítótányér között –, (b) képsora pedig a szeleprugó-összenyomó használatát: a C-keret fent a rugótányérra, lent a szeleptányérra fekszik, a rugó összenyomása után a szelepékeket mágnessel emeljük ki; a ferdén álló összenyomóról a rugó kiugorhat (védőszemüveg!). A HTML-változatban az alkatrészek egyenként kiemelhetők, névvel és kopási jellel.



40.4. ábra. A szelepszerkezet metszete a hengerfejben (a) és a szeleprugó összenyomása (b); sematikus vonalrajz, a méretek gyártói adatok

A vezérműtengely a hengerfejben csapágyazott, bütykei a szelepemelőket nyomják. A tengely csapágyhézaga, a bütyök kopása és a csapágybakok illeszkedése közvetlenül meghatározza a vezérlés pontosságát. A tengely meghajtása a vezérműhajtás alfejezetben tárgyalt fogasszíjjal, lánccal vagy fogaskerékkel történik, és a feszítőrendszert a hengerfej-szerelés után be kell állítani.

40.2.5. Kidolgozott példák

Példa 1: szelepemelő tányér méretezése.

Adott: egy 1,6 literes szívómotor szívószelepére előírt hideg hézag $h_{\text{előírt}} = 0{,}20\,\text{mm}$. A mért hézag $h_{\text{mért}} = 0{,}10\,\text{mm}$. A kiszerelt tányér vastagsága $t_{\text{mért}} = 3{,}10\,\text{mm}$.

Keresett: a beépítendő új tányér vastagsága $t_{\text{új}}$.

Képlet: a fenti összefüggés.

Behelyettesítés:

$$t_{\text{új}} = 3{,}10 + (0{,}10 - 0{,}20) = 3{,}10 - 0{,}10 = 3{,}00\,\text{mm}$$

Ellenőrzés: a mért hézag 0,10 mm-rel kisebb az előírtnál, ezért 0,10 mm-rel vékonyabb tányér kell. Az eredmény 3,00 mm, tehát a hézag 0,10 mm-rel nő, és megközelíti a 0,20 mm-t. A pontos hézagot beépítés után hézagmérővel újra kell ellenőrizni. ∎

Példa 2: vezérműtengely-csapágyhézag számítása.

Adott: egy vezérműtengely csapjának mért átmérője 27,965 mm, a csapágyfurat átmérője 28,040 mm. A gyártói előírás szerinti megengedett hézag 0,05–0,08 mm (ellenőrizendő).

Keresett: a csapágyhézag és annak minősítése.

Képlet: hézag = furatátmérő − csapátmérő.

Behelyettesítés:

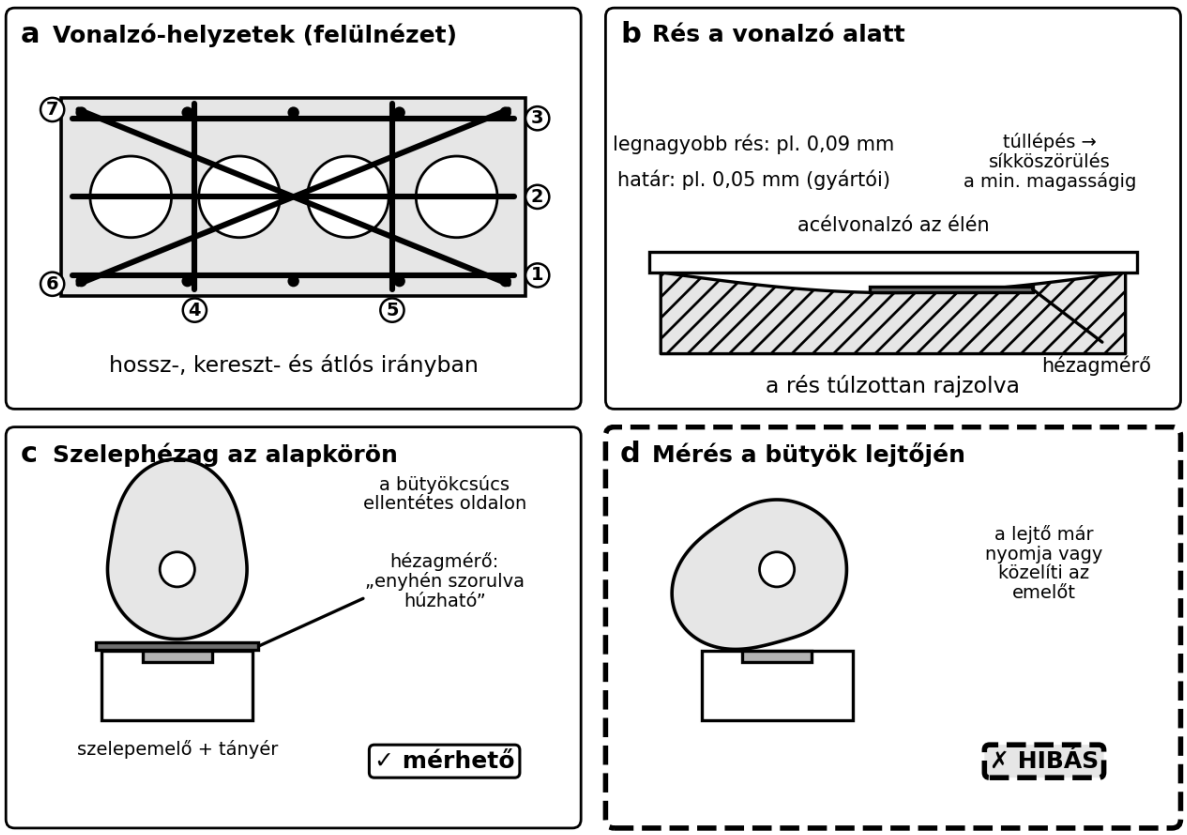
$$h = 28{,}040 - 27{,}965 = 0{,}075\,\text{mm}$$

Ellenőrzés: az érték a 0,05–0,08 mm tartományban van, tehát a csapágy még megfelelő. Ha 0,08 mm fölé nő, a tengely oszcillálni kezdhet, és a szelepvezérlés zajos lesz; a csapágyfuratot vagy a tengelyt felújítani kell. ∎

40.2.6. Minőségellenőrzés

Síkság. A tömítőfelületet tisztítás után acélvonalzóval és hézagmérővel ellenőrizzük hossz-, kereszt- és átlós irányban. A megengedett eltérés jellemzően legfeljebb 0,05 mm (példa). Ha a hengerfej vetemedett, síkköszörüléssel csak a gyártó által megengedett minimális magasságig szabad utánmunkálni.

A két mérőfogást az alábbi ábra mutatja: (a) a vonalzó hét helyzete a tömítőfelületen (hosszirányban két oldalt és középen, keresztben, két átlóban), (b) a legnagyobb rés mérése hézagmérővel a vonalzó alatt, (c) a szelephézag mérése, amikor a bütyök alapköre néz a szelepemelő felé, (d) a bütyök lejtőjén mért – hibás – érték. A HTML-változatban a vonalzó helyzetei egymás után, illetve a bütyök forgatása lépésenként nézhető meg.



40.5. ábra. Hengerfej-síkság mérése vonalzóval és hézagmérővel (a, b); szelephézag-mérés a bütyök alapkörén (c) és a hibás mérés a lejtőn (d)

Repedés. A hengerfej repedéseinek kimutatására nyomáspróbát, festékdiffúziós vizsgálatot vagy vetemedésre gyanús esetben hűtőköpeny-tömítettségi vizsgálatot használnak. Az égéstér körüli hajszálrepedés gyakran hengerfej-cserét indokol.

Szeleptömítettség. A legáttekinthetőbb műhelyi próba: a leszerelt, összeszerelt szelepekkel ellátott hengerfejet égéstérrel felfelé fordítjuk, az égéstérbe petróleumot vagy tesztfolyadékot töltünk, és a szívó- és kipufogócsatornában figyeljük, hogy a szeleptányér körül átszivárog-e. Az enyhe átszivárgás tömítetlenségre utal. Beszerelt motornál a kompressziómérés és a henger szivárgásvizsgálata ad információt.

Szelepvezetők. A vezető belső átmérőjét mérőórás furatmérővel, a szelepszár átmérőjét mikrométerrel mérjük. A hézag megengedett maximumát a gyártó adja meg, például szívóoldalon 0,08 mm, kipufogóoldalon 0,10 mm (példa). Túl nagy hézag olajfogyasztáshoz és szelepzörgéshez vezet.

Szeleprugók. Ellenőrzendő a szabad hossz, a ferdeség és az előírt hosszhoz tartozó rugóerő. A gyengült rugó magas fordulaton szelepúszást, azaz záráskimaradást okoz.

Vezérműtengely. Ellenőrizzük a csapfelületek és a bütyök futófelületének kopását, valamint az ütését mérőórával. A csapágyhézagot számpéldával vagy plasztikus mérőszállal határozzuk meg.

40.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy középkategóriás autót túlmelegedés után vontattak a műhelybe. A motor fehéren füstölt, a hűtőfolyadék szintje csökkent. A kompressziómérés két szomszédos hengeren 8,5 és 9,0 bar értéket mutatott, a többi hengeren 12 bar körül. A hengerfej leszerelése után a tömítés a két henger között átégett volt. A hengerfej síkságát megmérve 0,09 mm eltérést találtunk, ami meghaladta a megengedett 0,05 mm-es példaértéket. A hengerfejet a gyártói minimális magasság betartásával síkköszörültettük, a szelepeket felújíttattuk, majd új tömítéssel és új csavarokkal a gyártói sorrendben szereltük vissza. A javítás után a kompresszió minden hengeren 12 bar felett volt, a hűtőfolyadék szintje stabil maradt.

40.2.8. Gyakorlati útmutató

Munkalap: hengerfej le- és felszerelése, szelepek és vezérlés javítása.

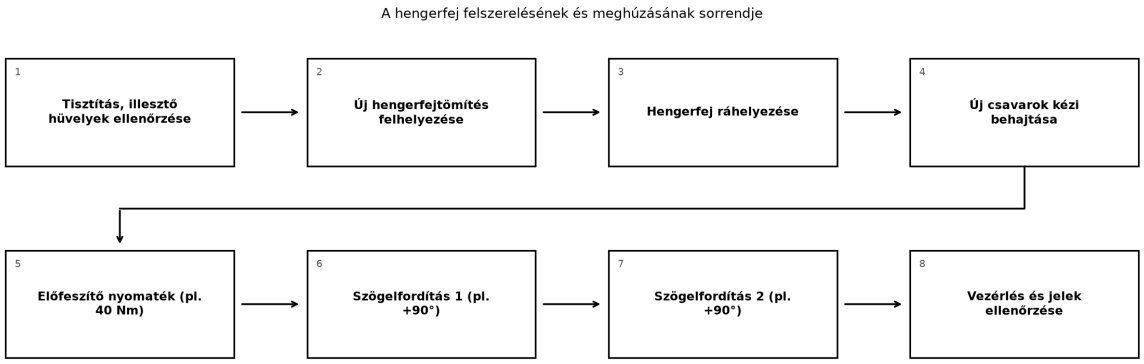
Cél: a hengerfejtömítés, a szelepek, a szelepülések, a vezetők és a rugók ellenőrzése és javítása; a vezérlés beállítása.

Jármű- és adatazonosítás: típus, motorszám, gyártói javítási kézikönyv, előírt nyomatékok és hézagok.

Szerszámok, mérőeszközök: nyomatékkulcs, szögmérő, dugókulcsok, szeleprugó-leszorító, tömítéseltávolító műanyag kaparó, acélvonalzó, hézagmérő, mikrométer, mérőórás furatmérő, festékdiffúziós vagy nyomáspróba-eszköz, csiszolópaszta, reszelő vagy szelepülék-maró, gyártói rögzítőszerszámok. **Biztonsági korlát.** A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: az akkumulátor negatív kapcsának lekötése; a hűtőfolyadék és motorolaj zárt gyűjtőedénybe leeresztése; kesztyű, védőszemüveg használata; a motor forgó részeitől távol tartózkodás. **Környezetvédelem.** A fáradt olajat, hűtőfolyadékot, régi tömítéseket és olajos törlőrongyot veszélyes hulladékként, jelölt gyűjtőedénybe kell gyűjteni.

A hengerfej felszerelésének és meghúzásának sorrendjét az alábbi folyamatábra foglalja össze.



40.6. ábra. A hengerfej felszerelésének és meghúzásának sorrendje - Tanulási szemléltető; a pontos sorrend, nyomaték és szögelfordítás gyártói adat.

Számozott munkalépések:

1. Várd meg, amíg a motor szobahőmérsékletre hűl (a könnyűfém hengerfej csavarjai csak hidegen oldhatók, melegen a fej vetemedhet); gyújtás ki, akkumulátor negatív lekötése; nyomásmentesítsd az üzemanyag-rendszert a gyártó szerint; a hűtőfolyadékot és a motorolajat hideg motornál ereszd le. Hengerfejcsavarhoz ütvecsavarozó nem használható.
2. A gyártói rögzítőszerszámmal rögzítsd a főtengelyt és a vezérműtengelyt, majd a vezérlés meghajtását a gyártói utasítás szerint kösd le.
3. A hengerfejcsavarokat a gyártó oldási sorrendjében, fokozatosan lazítsd meg.
4. Emeld le a hengerfejet, lehetőleg társ segítségével vagy emelővel.
5. Tisztítsd meg a tömítőfelületet műanyag kaparóval; fém kaparó a felületet karcolja.
6. Ellenőrizd a síkságot, repedést és a hengerfej magasságát.
7. Szereld le a szeleprugókat a leszorítóval, jelöld meg a szelepeket, tányérokat és emelőket.
8. Ellenőrizd a szelepeket, üléseket, vezetőket, szártömítéseket és rugókat; csiszold be a szelepüléseket és a tányérokat, ha a kopás indokolja.
9. Cseréld ki a szelepszártömítéseket, szereld vissza a szelepeket és rugókat.
10. Helyezd fel az új hengerfejtömítést, tedd fel a hengerfejet.
11. Az új hengerfejcsavarokat kézzel hajtsd be, majd a gyártói sorrendben húzd meg: előfeszítő nyomaték, utána szögelfordítások. Példa: 40 Nm + 90° + 90° (ellenőrizendő: gyártói adat). **Szabály.** A meghúzási sorrend középről kifelé, spirálisan halad, hogy a tömítés feszültsége egyenletesen épüljön.
12. Építsd vissza a vezérlést, állítsd a feszítőt, majd forgasd kézzel a főtengelyt két teljes fordulatot a gyártói forgásirányban.
13. Ellenőrizd a gyártói jeleket, a szelephézagot és a feszítő beállítását.
14. Töltsd fel olajjal és hűtőfolyadékkal, légtelenítsd a hűtőrendszert, indítsd a motort, és ellenőrizd szivárgásra, zajra és hibakódra.
15. Dokumentáld a munkát a munkalapon.

40.2.9. Recept

Szelephézag beállítása tányéros emelőnél lépésről lépésre.

1. A motort hűtsd le a gyártó által előírt mérési hőmérsékletre (jellemzően hideg motor).
2. Állítsd a főtengelyt a gyártói jel szerint az 1. henger felső holtpontjára.
3. A gyártói táblázat alapján azonosítsd, mely szelepek ellenőrizhetők ebben a helyzetben.
4. Hézagmérővel mérd meg a hézagot a bütyök alapköre és a tányér között.
5. Ha a mért hézag nem az előírt tartományban van, rögzítsd a vezérműtengelyt, és szereld le a megfelelő tányért.
6. Mérd meg a kivett tányér vastagságát mikrométerrel.
7. Számold ki az új tányér vastagságát a fenti képlettel, válaszd ki a legközelebbi gyártói vastagságot.
8. Helyezd be az új tányért a jelöléssel a szelep felé, szereld vissza az emelőt.
9. Hézagmérővel ismét ellenőrizd a hézagot, majd forgasd a főtengelyt a gyártói táblázat szerint a többi szelephez.

Hidraulikus kiegyenlítőnél a játékot a motorolaj-nyomás automatikusan tartja. A kiegyenlítőt benyomva ellenőrizhető: az olajjal feltöltött ép elem kézzel csak nagyon lassan nyomható be. Ha szivacsosan, gyorsan benyomódik (olajvesztés), vagy beragadt, és a játékot nem követi, az elem cserés (ellenőrizendő: gyártói vizsgálati mód).

40.2.10. Hibakeresési eset: alacsony kompresszió

Tünet: egy négyhengeres motor hidegen egyenetlenül jár, alapjáraton ráz, és a 2. henger kompressziója 5,5 bar, míg a többi hengeré 11,8–12,2 bar. A 2. henger száraz kompressziója 5,5 bar, nedves kompressziómérés után 5,7 bar.

Hipotézis: a nedves mérés alig javított, ami nem gyűrűkopásra, hanem szeleptömítetlenségre vagy szelepvezérlési hibára utal. A gyűrűkopásnál az olajbevonat jelentősen megemelné a kompressziót.

Mérés és ok: a szelephézag ellenőrzésekor a 2. henger kipufogószelepénél a hézag majdnem nulla volt. A szeleptányér a nem megfelelően záródó szelep miatt nem tömített, az égéstérből gáz szökött. A szelep leszerelése után a tányér záróperemén korom és helyi kiégés látszott.

Javítás: a kiégett kipufogószelepet kicseréltük, a szelepülést ülékmaróval felújítottuk, az új szelepet beillesztettük (becsiszoltuk), a vezetőhézagot ellenőriztük, a szelephézagot az előírt példaértékre állítottuk. Összeszerelés után a 2. henger kompressziója 11,5 bar lett, a motor egyenletesen járt.

Megelőzés: időszakos szelephézag-ellenőrzés a gyártó intervalluma szerint, jó minőségű olaj és a túlmelegedés elkerülése.

40.2.11. Tipikus hibák

1. **A hengerfejcsavarokat rossz sorrendben, teljes nyomatékkal húzzák meg.** Ekkor a tömítés hullámosan ül, és először a két szélső henger közötti híd tömítetlen lesz. Helyes: a gyártói sorrend, előfeszítés, majd szögelfordítás.
2. **A régi hengerfejcsavarok újrahasznosítása.** A már megnyúlt csavar nem adja a tervezett szorítást, a tömítés hamar átfúj. Helyes: a gyártó által előírt esetekben mindig új csavart használjunk.
3. **A szelepülék durva csiszolása házilag, például fúrógépre tett szerszámmal.** Ezzel a záróperem széles, nem koncentrikus lesz, a szelep tömítetlen marad. Helyes: a szelepülék-marót és a gyártói szögértékeket használni, szükség esetén gépi felújítás.
4. **A vezérlés szerelése után a főtengelyt csak egy irányban, vagy nem kézzel forgatják.** Ha a szerelő indítóval forgatja a motort, szelep–dugattyú ütközés lehet. Helyes: kézi forgatás két fordulatig, gyártói forgásirányban.

40.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A hengerfejcsavarok meghúzási sorrendje lényegtelen, mert a tömítés úgyis kiegyenlítődik.
2. Mi a különbség a szelephézag és a szelepkésés között?
3. A nedves kompressziómérés a 3. hengeren 8,0 bar-ról 11,5 bar-ra nő. Milyen hibára utal ez?
4. Mért szelephézag 0,15 mm, előírt 0,25 mm, a tányér vastagsága 2,85 mm. Mekkora új tányér szükséges?
5. Mi a hiba ebben a leírásban? „A szeleptányért durva csiszolóvászonnal addig csiszoljuk, amíg a felület tükörfényes lesz.”
6. Miért kell a vezérlés szerelése után a főtengelyt kézzel, kétszer körbeforgatni?

40.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a szelephézagot, és írd le, miért van rá szükség a motorban.

2. feladat (A). Egy motoron a szívószelep előírt hézaga 0,20 mm. A mért hézag 0,08 mm. A kivett tányér vastagsága 3,10 mm. Számítsd ki az új tányér vastagságát.

3. feladat (B). Egy hengerfejcsavar-meghúzásnál a gyártó lépése: 40 Nm + 90° + 90°. Magyarázd el, miért nem elegendő csak a 40 Nm-es nyomaték, és miért van szükség szögekkel megadott további fordításra.

4. feladat (B). A vezérműtengely csap átmérője 28,020 mm, a csapágyfurat átmérője 28,100 mm. Az előírt legnagyobb hézag 0,08 mm. Ítéld meg, használható-e a csapágy.

5. feladat (C). Hasonlítsd össze a hengerfejtömítés-hiba és a kipufogószelep-tömítetlenség tüneteit és diagnosztikai mérési eredményeit. Milyen két méréssel különböztethetők meg?

6. feladat (D). Egy négyhengeres motor hidegen egyenetlenül jár. Kompressziómérés: 1. henger 12,0 bar, 2. henger 5,5 bar, 3. henger 11,6 bar, 4. henger 11,9 bar. A 2. henger nedves kompressziója 5,8 bar. A hűtőfolyadék szintje stabil, olajban víz nem látható. Mi a legvalószínűbb hiba, és milyen sorrendben vizsgálnád a hengerfejet és a szelepeket?

40.2.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A meghúzási sorrend középről kifelé halad, hogy a tömítés feszültsége egyenletes legyen.
2. A szelephézag a szelepemelő és a szelepszár közötti mechanikai játék, a szelepkésés a zárás szöghelyzete a holtponthoz képest (a szívószelep zárása az AHP után, a kipufogószelep zárása az FHP után, főtengely-fokban); a szelephézag mm-ben, a szelepkésés °-ban adható meg.
3. A nedves mérés jelentős javulása gyűrűkopásra utal.
4. $t_{\text{új}} = 2{,}85 + (0{,}15 - 0{,}25) = 2{,}75\,\text{mm}$.
5. A durva csiszolás tönkreteszi a záróperemet és a geometriát; csak finom csiszolópaszta és ülékmegmunkálás használható.
6. A kézi forgatással ellenőrizhető, hogy a vezérlés jelei helyesek, és nincs szelep–dugattyú ütközés.

1. feladat megoldása. A szelephézag a szelepemelő és a szelepszár vége közötti, hideg vagy meleg motorra előírt játék. A hőtágulás miatt záráskor a hézag biztosítja, hogy a szelep teljesen a szelepülékre feküdjön.

2. feladat megoldása.

Adott: $h_{\text{előírt}} = 0{,}20\,\text{mm}$, $h_{\text{mért}} = 0{,}08\,\text{mm}$, $t_{\text{mért}} = 3{,}10\,\text{mm}$.

Képlet: $t_{\text{új}} = t_{\text{mért}} + (h_{\text{mért}} - h_{\text{előírt}})$.

Behelyettesítés: $t_{\text{új}} = 3{,}10 + (0{,}08 - 0{,}20) = 3{,}10 - 0{,}12 = 2{,}98\,\text{mm}$.

Ellenőrzés: a hézag 0,12 mm-rel kicsi, ezért 0,12 mm-rel vékonyabb tányér kell; az eredmény 2,98 mm. ∎

3. feladat megoldása. A hengerfejcsavar rugalmas nyúlását a nyomaték csak hozzávetőlegesen állítja be, mert a menet súrlódása és a felületi állapot nagyban befolyásolja. A szögelfordítás a csavar meghatározott megnyúlását, így az előfeszítő erőt pontosabban állítja be.

4. feladat megoldása.

Hézag: $28{,}100 - 28{,}020 = 0{,}080\,\text{mm}$ = a megengedett legnagyobb érték, tehát még éppen megfelel; kopásnyomok esetén a cserét mérlegelni kell. (Az értékek példák.)

5. feladat megoldása.

Tünetek: a hengerfejtömítés-hibánál gyakran fehér füst, hűtőfolyadék-vesztés, a kiegyenlítő tartályban buborékolás, olaj–víz emulzió. A kipufogószelep-tömítetlenség inkább kompresszió-csökkenés, egyenlőtlen járás, kipufogó oldali sziszegés, olajfogyasztás lehet. Mérések: a kompressziómérés és a henger szivárgásvizsgálata. A szivárgásvizsgálatnál a tömítetlen kipufogószelep esetén a levegő a kipufogó felé hallható; a hengerfejtömítés-hibánál a hűtőfolyadék buborékol, vagy a szomszédos henger felé szökik.

6. feladat megoldása.

A 2. henger nedves kompressziója alig változik, ezért nem gyűrűkopás, hanem szeleptömítetlenség vagy vezérlési hiba valószínű. A hűtőfolyadék stabil, tehát a hengerfejtömítés valószínűleg nem érintett. Sorrend: szelephézag ellenőrzés, vezérlési jelek ellenőrzése, henger szivárgásvizsgálata a 2. hengeren, majd a hengerfej leszerelése és a szelepek, ülések ellenőrzése.

40.2.15. Rövid összefoglaló

A hengerfej-javítás a tömítőfelület, a hűtőköpeny, az olajjáratok és az égéstér együttes ellenőrzésével kezdődik. A síkságot hossz-, kereszt- és átlós irányban vonalzóval és hézagmérővel mérjük; a megengedett eltérés jellemzően 0,05 mm alatti (ellenőrizendő). A repedést nyomáspróbával vagy festékdiffúzióval mutatjuk ki. A szelepek tömítettségét leszerelt hengerfejen petróleumpróbával, a beszerelt motornál kompresszióméréssel és szivárgásvizsgálattal ellenőrizzük. A szelepvezetők, szár tömítések és rugók kopását mikrométerrel, furatmérővel és hosszméréssel minősítjük. A hengerfejcsavarok meghúzása mindig gyártói sorrendben, középről kifelé haladva, előfeszítő nyomatékkal és szögelfordítással történik. A tányéros szelepemelőnél az új tányér vastagságát a mért és előírt hézag különbségével számítjuk. A vezérműtengelyt és feszítőit a gyártói jelek szerint állítjuk, majd a főtengelyt kézzel két fordulatig forgatva ellenőrizzük a vezérlési időt. **Továbbvitt eredmény.** Az itt ellenőrzött hengerfej, szelepek és vezérlés állapota a kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása alfejezetben a motor összeszerelése utáni próba és diagnosztika alapja.

40.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fizikai és gépészeti alapelvek – hőtágulás, előfeszítés, csapágyhézag, tömítettség – az általános gépészeti ismeretekből következnek. A megadott síkság-eltérés, szelephézag, hengerfejcsavar-meghúzási nyomaték és szögelfordítás, csapágyhézag-határ, tányérvastagság, valamint a szelepülék- és rugóadatok **gyártói javítási adatok**, ezért a javítás előtt mindig az adott típus gyári dokumentációját kell ellenőrizni. A munkavédelmi és hulladékgazdálkodási lépések a hatályos magyar munkavédelmi törvény és veszélyeshulladék-szabályozás szerint ellenőrizendők.

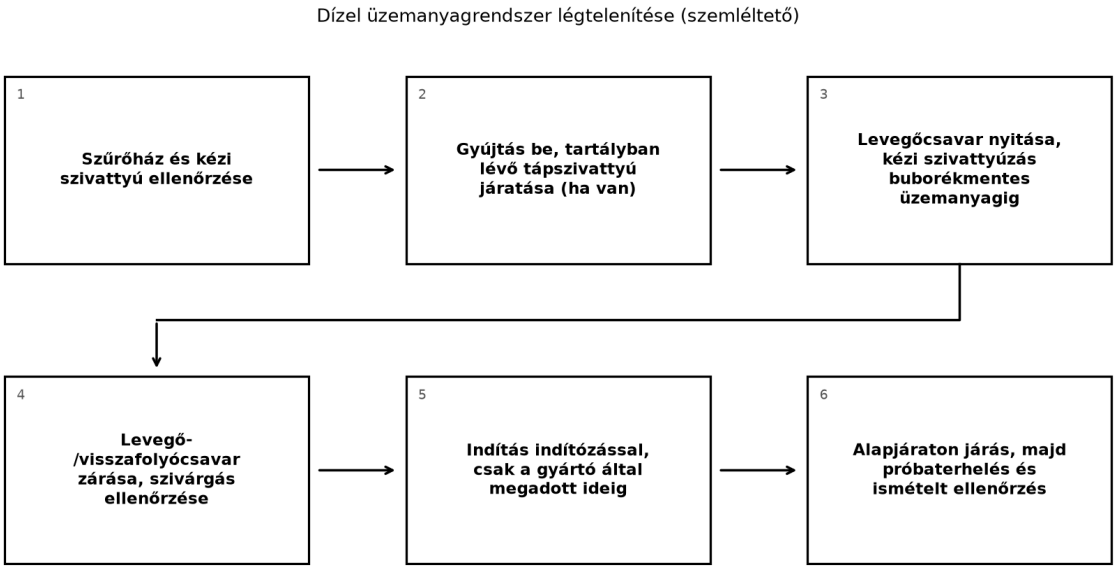
40.3. A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása

40.3.1. Motiváció

A műhelyben gyakran érkezik olyan jármű, amelynek ügyfélpanasza látszólag egymástól független: az olajnyomás-visszajelző lámpa felvillan alapjáraton, a motor hűtőfolyadékot fogyaszt, hideg időben a dízel nehezen indul, vagy bemelegedés után rángat, füstöl. A háttérben rendszerint a kenő-, a hűtő- vagy a tüzelőanyag-rendszer hibája áll. Ilyenkor a hibakód-kiolvasás önmagában ritkán ad teljes megoldást: a diagnosztikához nyomásmérés, tömítettségi próba, áramlásvizsgálat és a gyártói javítási utasítás szerinti bontás, előírt szerszámozás és ellenőrzés szükséges. Ez az alfejezet a motorkörüli folyadékrendszerek gyakorlati javítását tanítja, a Motor kenése, olajszűrés, olajhűtés és a levegő- és tüzelőanyag-szűrők, a Motor hűtése és a Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés alfejezetekben megszerzett ismeretekre építve.

40.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy emelőn álló, rögzített járművet a tanműhelyben. A motor alatt olajfelfogó kád, a hűtőrendszer kiegyenlítőtartályán nyomáspróbázó kéziszivattyú és manométer, a mérőkocsiban mechanikus olajnyomásmérő, dízel kézi légtelenítő szivattyú, injektor-célszerszám és izzítógyertya-csavarhúzó készlet. A szerelő a gyártói javítási kézikönyv adatait ellenőrzi, mielőtt egy csavart is meglazítana. Az alábbi folyamatábra a dízel üzemanyagrendszer légtelenítésének fontos lépéseit mutatja, amelyet a gyakorlati útmutatóban részletezünk.



40.7. ábra. Dízel üzemanyagrendszer légtelenítése (szemléltető) - Tanulási folyamat; a gyártói javítási utasítás az irányadó.

40.3.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **dinamikus olajnyomás** a motor üzemi hőmérsékletén, meghatározott fordulatszámokon mért olajnyomás. A statikus méréssel szemben a csapágyhézagok, a szivattyú és a nyomásszabályozás teher alatti állapotát jellemzi.

Definíció. A **hűtőrendszer próbanyomása** az a vizsgálati nyomás, amelyet hideg hűtőkörön, a kiegyenlítőtartály vagy a zárósapka leszerelése után adunk a rendszerre, hogy a tömítettséget ellenőrizzük.

Definíció. A **légtelenítés** a tüzelőanyagrendszerből a levegő, gőz vagy gázbuborékok eltávolítása; a levegő jelenléte a gyakorlatban nehéz indítást, egyenetlen járást és a befecskendezőrendszer károsodását okozhatja.

Összefüggés. A nyomásváltozás értékelése a folyadékrendszer-tömítettségnél:

$$\Delta p = p_{\text{kezdeti}} - p_{\text{vége}},$$

ahol Δp a próbaidő alatti nyomásesés, p_{kezdeti} a felnyomott kezdő nyomás, $p_{\text{vége}}$ a próbaidő végén mért nyomás. Az egység bar vagy kPa: $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa}$. A nyomásesést a gyártói vagy az eljárási határral hasonlítjuk össze.

Szabály. A motor hűtő- és kenőrendszerének vizsgálata előtt a motornak hidegnek vagy legfeljebb kézmelegnek kell lennie, ha a hűtőrendszert nyitjuk; az olajnyomás-mérés viszont üzemi hőmérsékleten, a gyártó fordulatszám-előírásaival történik.

Előírás. A nagynyomású, például common rail dízelrendszeren a munkákat csak a rendszer nyomásmentesítése után, a gyártói javítási utasítás lépései szerint szabad végezni. A nyomás alatt lévő üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos, maradandó sérülést okoz. **(Ellenőrizendő: a gyártó által előírt nyomásmentesítési mód és várakozási idő.)**

40.3.4. Felépítés és működés

40.3.4.1. Kenőrendszer javítása

Az **olajszivattyút** leggyakrabban fogaskerekes vagy rotoros kivitelben építik be; korszerű motorokon változó térfogatáramú, szabályozott szivattyú is előfordul. A szivattyú le- és felszereléséhez általában az olajteknőt kell leereszteni és leszerelni; a szivattyút lánc, fogaskerék vagy közvetlen hajtás kapcsolja a motorhoz. **Ellenőrzés:** foghézag, a fogaskerék és a ház közötti radiális játék, a ház belső felületének karcosodása, a szívócső tömítettsége és a hajtóelem kopása. A gyártói szerelési előírás szerint új tömítéseket és adott esetben új hajtócsavart kell beépíteni. **Megjegyzés.** A szivattyú szívóoldalán beszívott levegő habzást, nyomáslengést és elégtelen kenést okoz; a hibát gyakran a szívócső repedése vagy a rosszul tömítő olajszűrő-adaptáció okozza.

A **nyomáshatároló szelep** rugós dugattyúja a kenőrendszer nyomását korlátozza. Ha a dugattyú nyitva ragad, a nyomás alacsony marad; ha szorul, a nyomás túlzottan megnőhet. **Ellenőrzés:** a szelep szétszerelése, rugóhossz, rugóerő, karcmentes mozgás a furatban.

Az **olajszűrőt** a gyártó előírása szerint cseréljük; a csere előtt a tömítőfelületet meg kell tisztítani, az új tömítést vékony olajfilmmel kell bekenni, és a rögzítést csak kézzel vagy a megadott nyomatékkal szabad meghúzni. A szűrőházon lévő megkerülő és visszafolyás-gátló szelepek meghibásodása hidegindítási kopogáshoz és lassú nyomásfelépüléshez vezet.

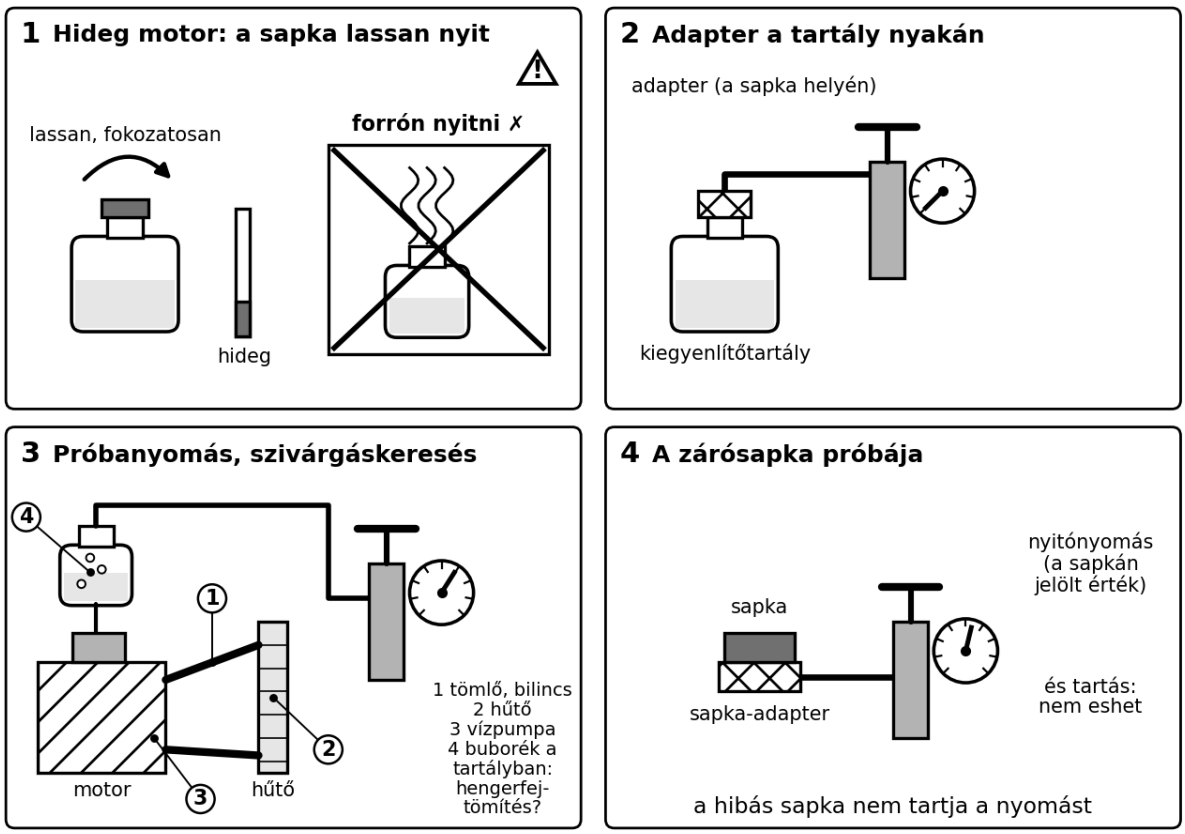
Az **olajnyomás-kapcsoló** általában alaphelyzetben záró érintkező, amely a megengedett minimális nyomás alatt a lámpát földeli. Az **olajnyomás-jeladó** lineáris, feszültség- vagy áramjelet ad a motorvezérlőnek; ellenőrzése multiméterrel vagy diagnosztikai műszerrel, a gyártó kapcsolási pontjai alapján történik. A dinamikus olajnyomás-mérésnél a kapcsoló vagy jeladó helyére mechanikus mérőórát kötünk, a motort üzemi hőmérsékletre melegítjük, és a gyártó által előírt fordulatszámokon mérünk. A kapott értéket a motor hőmérséklete és az olaj viszkozitása is befolyásolja. **Jellemző hibák:** hígult olaj, kopott fő- és hajtókarcsapágy, kopott szivattyú, ragadt nyomáshatároló, eltömődött szűrő vagy szívószál.

40.3.4.2. Hűtőrendszer javítása

A **termosztát** ellenőrzése leggyakrabban meleg vizes edényben, hőmérővel végzett nyitási próbával történik; a nyitási kezdet és a teljes nyitási hőfok a gyártó adata. A fűtött termosztátnál a fűtőellenállást és a vezérlőjelet is ellenőrizni kell. A **vízszivattyú** hibájára utal a csapágyzaj, a tengelyjáték, a tömítőgyűrű szivárgása vagy a járókerék kopása. A szivattyú cseréje gyakran együtt jár a vezérműszíj vagy a segédberendezés-szíj cseréjével, ezért a munkát a gyártói csomag szerint kell végezni. A **hűtő** belső eltömődése csökkenti a hőátadást, a külső bordasérülés pedig a légáramot rontja. A **ventilátorok** közül a viszko-kuplungos ventilátor meleg motornál a fordulatszám növekedésével együtt kapcsolódik; az elektromos ventilátor a relé, a hőmérséklet-kapcsoló, a ventilátormotor, a biztosíték és a vezérlőegység áramútján keresztül ellenőrizhető. A hidraulikus ventilátorok a szervoszivattyú-nyomással hajtanak; itt a nyomáscsökkentő szelepet és a tömítettséget kell mérni.

A hűtőkör **tömítettségi nyomáspróbáját** hideg rendszeren végezzük: a kiegyenlítőtartály zárósapkáját leszereljük, a nyomáspróbázó készüléket feltöltjük hűtőfolyadékkal, és a rendszerre a gyártó által megadott próbanyomást adjuk. A nyomást a próbaidő alatt figyeljük; ha a nyomás gyorsan esik, szivárgási helyet kell keresni. Ha hideg rendszeren a nyomás külső szivárgás nélkül esik, belső szivárgás gyanítható (fűtőradiátor, hengerfejtömítés a henger vagy az olajtér felé). Égésgáz-bejutás gyanújakor a nyomáspróbázót járó motornál figyeljük: ha a nyomás a próbanyomás fölé emelkedik, vagy a mutató a motor ütemével lüktet, és a kiegyenlítőtartályban a CO-teszt (vagy szénhidrogén-jelenlét-vizsgálat) pozitív, a hengerfejtömítés hibás. **Megjegyzés.** A hibás zárósapka nem tartja a rendszer nyomását, és forráspontcsökkenést vagy folyadékvesztést okoz.

Az alábbi képsor a nyomáspróba fogásait mutatja: (1) a sapkát csak hideg motoron, lassan nyitjuk; (2) a sapka helyére a nyomáspróbázó adaptere kerül; (3) a próbanyomásig pumpálunk, és a manométert figyeljük – a jellemző szivárgási pontok a tömlőbilincsek, a hűtő, a vízpumpa, a tartályban megjelenő buborék pedig hengerfejtömítés-hibára utal; (4) a zárósapkát külön adapterrel vizsgáljuk. A HTML-változatban a 3. lépés „tömör” és „szivárog” állapota is megnézhető.



40.8. ábra. A hűtőrendszer nyomáspróbája kézi pumpával és a zárósapka vizsgálata (sematikus; a próbanyomás és a próbaidő gyártói adat, ellenőrizendő)

40.3.4.3. Benzin tüzelőanyag-rendszer

Az **elektromos tüzelőanyag-szivattyú** ellenőrzése több lépésből áll: a relé és a biztosíték ellenőrzése, a tartályban lévő szivattyú nyomás- és szállítási próbája. A rendszer típusától függően a szivattyú egy beépített nyomásszabályozóval vagy a befecskendezési elosztócsőnél lévő visszafolyó ági szabályozóval dolgozik. **Jellemző értékek:** az MPI-rendszerek mérőnyomása például 3,0–4,0 bar (ellenőrizendő); a közvetlen befecskendezésű Otto-motorok esetében a nyomást a diagnosztikai műszeren keresztül, a nagynyomású érzékelő jeléből követjük. A **befecskendezési nyomás mérése** az elosztócsőre csatlakoztatott mérőműszerrel történik; a zárási nyomás hosszabb idő utáni fenntartása az injektorok tömítettségét is jellemzi. A **karburátoros** rendszereknél a szintellenőrzés, az úszószint, az alapjárat- és CO-beállítás, valamint a fúvókák tisztítása a feladat; ez régi járművön fordul elő.

Az **injektorok** vizsgálata magában foglalja az elektromos tekercs ellenállásának, a permetképének, a csepegésének és az egyenlő szállítási mennyiségnek az ellenőrzését. A beszabályozás után a motorvezérlő adaptációs értékei és a lambdaszonda jele igazolja a keverékképzés helyességét. A benzinnyomást, a szivattyú áramfelvételét és a szivárgást mindig a gyártói javítási adatokkal hasonlítjuk össze.

40.3.4.4. Dízel tüzelőanyag-rendszer

A dízel **tüzelőanyag-szűrő** cseréjekor a szűrőházat, a vízleválasztót és az előmelegítő elemet is ellenőrizni kell; a szűrőcsere után a rendszert a gyártói módon légtelenítjük. A **légtelenítés**

klasszikus módszere a kézi szivattyús szűrőfedél vagy a befecskendezőszivattyún lévő levegőcsavar; modern rendszerekben az elektromos tápszivattyú a gyújtás ráadásakor önlégtelenítést végez. A **common rail** rendszereken a nagynyomású oldalt tilos megnyitni a nyomásmentesítés előtt; a légtelenítés a kisnyomású oldalon, a szűrőnél vagy a gyártó által megadott visszafolyó ágon történik.

Az **izzítógyertyák** ellenőrzése történhet ellenállásméréssel, áramfelvételi próbával vagy a diagnosztikai műszer izzítási adatainak megfigyelésével. A csere előtt a hengerfej furatát és a menetet át kell nézni; a gyertyát megfelelő nyomatékkal, a gyártói kenőanyaggal vagy szárazon kell beszerelni. A törékeny izzócsúcs letörése esetén a motort nem szabad indítani, amíg a törmeléket el nem távolították.

A hagyományos, soros vagy elosztós adagolós motoroknál a **porlasztók** nyitási nyomása, permetképzése és csepegése mérőpadon ellenőrizhető. A **szállításkezdet beállítását** a gyártói jelölésekhez képest mérőórával vagy a befecskendező csőre csatlakoztatott érzékelővel végezzük. A **common rail, PDE és radiáldugattyús adagoló** rendszerekben a nyomásszabályozó- és mennyiségszabályozó-szelepek, a rail-nyomásérzékelő, a magasnyomású szivattyú és az injektor visszafolyási mennyisége a fő diagnosztikai pontok. A CR-injektorok cseréjekor rögzíteni kell az injektor kalibrációs kódját a motorvezérlőben; ellenkező esetben az adagolási pontosság romlik.

40.3.4.5. Kipufogó-berendezés

A **katalizátor** belső állapotát a be- és kilépő hőmérsékletkülönbséggel, a nyomáseséssel vagy a lambdaszonda szabályozási jellemzőivel ellenőrizhetjük. A **lambdaszonda** fűtőellenállása, jelválasza és reakcióideje a diagnosztikai vagy oszcilloszkópos vizsgálat része. A **EGR-szelep** kormozódás miatt letapadhat; tisztítás után a motorvezérlőben az EGR-adaptációt a gyártó előírása szerint újra kell tanítani. A **turbófeltöltő** tengelyirányú és radiális játéka, olajszivárgása, a wastegate- vagy változó geometriájú szabályozó működése és a töltőnyomás-értékek ellenőrzésével együtt adja a teljes képet.

40.3.5. Kidolgozott példák

Példa 1: dinamikus olajnyomás-mérés.
Adott: meleg motor, hűtőfolyadék-hőmérséklet 90 °C, alapjárati fordulatszám 850 1/min; mechanikus mérővel mért nyomás 1,8 bar, majd 3000 1/min fordulaton 4,5 bar. A gyártói példaadat szerint alapjáraton legalább 1,0 bar, 3000 1/min-en 3,5–5,5 bar szükséges.
Keresett: megfelel-e a motor, és mennyi a nyomás kPa-ban?
Megoldás:

$$p_{\text{alapjárat}} = 1{,}8\,\text{bar} \times 100\,\text{kPa/bar} = 180\,\text{kPa},$$

$$p_{3000} = 4{,}5\,\text{bar} \times 100\,\text{kPa/bar} = 450\,\text{kPa}.$$

Az alapjárati érték $1{,}8 > 1{,}0$, a 3000 1/min-es érték $3{,}5 \le 4{,}5 \le 5{,}5$, tehát a mérés a példaértékek szerint megfelel. ∎

Példa 2: hűtőrendszer nyomáspróbája.
Adott: hideg hűtőrendszer, a gyártói próbanyomás példaadatként 1,2 bar; a nyomáspróbázóval felnyomott kezdeti nyomás 1,20 bar, majd 10 perc elteltével mért nyomás 1,15 bar. A megengedett esés 0,10 bar a próbaidő alatt.
Keresett: a nyomásesés és a minősítés.

Megoldás:

$$\Delta p = 1{,}20\,\text{bar} - 1{,}15\,\text{bar} = 0{,}05\,\text{bar},$$

$$\Delta p = 0{,}05\,\text{bar} \times 100\,\text{kPa/bar} = 5\,\text{kPa}.$$

Mivel $0{,}05 < 0{,}10$, a rendszer a példaértékek szerint tömör; a nyomásesésből nem látszik jelentős külső szivárgás. ∎

Példa 3: benzin-leállási nyomás.
Adott: elektronikus MPI-rendszer, kulcs bekapcsolása után a szivattyú előfut, a mérőnyomás 3,6 bar; majd 20 perc múlva 2,8 bar. A gyártói példaadat szerint az üzemi nyomás $3{,}5 \pm 0{,}2$ bar, a 20 perc utáni zárási nyomáspont legalább 2,5 bar.
Keresett: elfogadható-e a rendszer?
Megoldás: az üzemi nyomás 3,6 bar a 3,3–3,7 bar tartományban van, a zárási nyomás $2{,}8 > 2{,}5$ bar. A példa szerint elfogadható, de ha a nyomás gyorsan esne, az injektor vagy a visszafolyó ági szabályozó szivárgását kellene keresni. ∎

40.3.6. Minőségellenőrzés

A munka befejezése előtt a gyártói adatokhoz viszonyítva ellenőrizzük az alábbiakat:

Vizsgált elem	Módszer, műszer	Példaérték	Értékelés
Dinamikus olajnyomás	mechanikus mérőóra, meleg motor	alapjárat 1,0–2,0 bar; 3000 1/min 3,5–5,5 bar	híg olaj, kopott szivattyú/csapágy gyanúja alacsony értéknél
Hűtőkör tömítettség	nyomáspróbázó	1,0–1,2 bar; esés max. 0,1 bar/10 perc	szivárgáskeresés, CO-teszt
Hűtőfolyadék fagyáspont	refraktométer	50% glikol mellett kb. −35 °C	téli üzemben legalább −30 °C alatt
Benzin üzemi nyomás	nyomásmérő	$3{,}5 \pm 0{,}2$ bar MPI	szivattyú-, szabályozó-, injektorhiba
Dízel szűrő/légtelenítés	kézi szivattyú, gyártói menet	buborékmentes, ellenállást adó szivattyúzás	levegős rendszer indítási nehézséget okoz
Izzítógyertya ellenállás	ohmmérő	0,5–1,5 Ω	szakadt vagy zárlatos gyertya
Lambdaszonda jel	oszcilloszkóp/diagnosztika	0,1–0,9 V periodikus váltakozás	öreg, lassú szonda
Turbófeltöltő tengelyjáték	mérőműszer, kézi ellenőrzés	radiális játék max. a gyártó szerint	kopott csapágy, szivattyúkár

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás). A mérés befejezése után a motorvezérlő hibakódjait töröljük, és a lehető legrövidebb próbautat vagy üzemi járatást végezzük, hogy a rendszer readiness-vizsgálata és az adaptáció lefusson.

40.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy 1,9 literes, elosztós adagolós dízelmotoros autó tulajdonosa azt panaszolja, hogy a motor hidegben több másodpercig indítózik, és az első percben csonkán jár. A javítási munkalapon először a hidegindítási rendszert és a tüzelőanyag-rendszert vizsgáljuk.

Tünet: hideg motornál hosszú indítózás, fehér füst, erős gázolajszag.
Első hipotézis: az izzítógyertyák egy része hibás vagy gyenge, a befecskendezési szállításkezdet késik, esetleg levegős a rendszer.
Mérések: az izzítógyertyák ellenállása 1,2 Ω, 0,9 Ω, 1,3 Ω és 24 Ω; a negyedik gyertya ellenállása erősen megnőtt (hibás, kiégőben lévő gyertya; szakadásnál a műszer OL-t mutatna). A szűrőháznál a kézi szivattyúzás kezdetben puha, majd buborékos üzemanyag jön, ami enyhe levegősségre utal. A szivattyúzás után az indítás javul, de az elosztós adagolós motor teljesítménye hidegen még gyenge; a szállításkezdetet mérőórával ellenőriztük, az a gyártói tűrésen belül volt (ellenőrizendő: gyártói adat). **Ok:** két hiba együtt – hibás izzítógyertya és a szűrőnél beszívott levegő. **Javítás:** izzítógyertya-csere a gyártó nyomatékával, az előírt kenőanyaggal; a szűrőház tömítésének és a szívócső bilincsének javítása, a teljes tüzelőanyag-rendszer gyártó szerinti légtelenítése. **Ellenőrzés:** hideg motoron a gyertyák izzítási áramfelvétele egyenletes, a motor 2–3 másodpercen belül indul, alapjárat stabil, a fehér füst eltűnik. A tanulság: hidegindítási panasznál a dízelrendszer légtelenítését és az izzítógyertyákat együtt kell ellenőrizni, nem csak a gyertyákat cserélni.

40.3.8. Gyakorlati útmutató

Munkalap: Kenő-, hűtő- és dízel tüzelőanyag-rendszer ellenőrzése és javítása

Cél: a motor kenő- és hűtőrendszerének diagnosztikai ellenőrzése, a dízel tüzelőanyag-rendszer légtelenítése, izzítógyertya-csere és adott esetben injektorcsere a gyártó szerint.

Jármű- és adatazonosítás: rendszám, alvázszám, motorszám, a gyártói javítási adatbázis verziója, a folyadékok specifikációja (olaj, hűtőfolyadék, gázolaj minőség) és a meghúzási nyomatékok listája.

Szükséges szerszámok, célszerszámok és mérőeszközök: emelő és alátámasztó bak, záródugó-készlet, olajnyomásmérő, hűtőrendszer-nyomáspróbázó, refraktométer, multiméter, nyomatékkulcs, nyomásmérő, kézi légtelenítő szivattyú vagy gyári tápszivattyú-tesztelő, izzítógyertya-célszerszám, injektor-célszerszám, visszafolyásmérő készlet, gyűjtőedények.

Anyagok: gyártói előírás szerinti olaj, hűtőfolyadék, tömítések, szűrők, izzítógyertyák, injektor-tömítőgyűrűk, kenőanyag.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A járművet emelőn, a gyártói emelési pontokon, és bakkal biztosítva kell alátámasztani; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.

Figyelem. Zárt térben a motort csak kipufogógáz-elszívással szabad járatni. A kipufogógáz szén-monoxidot és egyéb mérgező anyagokat tartalmaz. A benzint és a gázolajat nyílt lángtól, forró felülettől és szikrától távol kell tartani. A common rail rendszer nagynyomású oldalát tilos a nyomásmentesítés előtt bontani. A hűtőrendszert forró motoron nem nyitjuk; a zárósapkát hagyni kell előbb lehűlni.

Környezetvédelem. A fáradt olajat, hűtőfolyadékot, üzemanyagot, szűrőket, tömítéseket és az izzítógyertyákat munkahelyi gyűjtőbe, veszélyes hulladékként kell kezelni, a hulladékos nyilvántartás szerint. A hűtőfolyadékot nem szabad a csatornába engedni; a szennyezett törlőrongyot

külön, zárható edényben gyűjtjük. **(Ellenőrizendő: a veszélyes hulladékokra vonatkozó hatályos rendeletek és a hulladékkezelési gyakorlat.)**

Munkalépések:

1. **Előkészítés és azonosítás:** a járművet vízszintes helyen, emelőn biztosítsd; a gyújtást kapcsold ki, a kulcsot vedd ki; a motorra szerelt burkolatokat a gyártói módon távolítsd el. Az akkumulátort csak akkor kösd le, ha a gyártói javítási folyamat előírja (adatmentés, ablakemelő-adaptáció).
2. **Olajszint és -állapot ellenőrzés:** a mérőpálcát töröld le, majd olvasd le a szintet; sötét, sűrű, híg vagy gyanús szagú olaj esetén rögzítsd a tünetet. A szintet mindig a gyártó jelöléseihez igazítsd.
3. **Dinamikus olajnyomás-mérés:** a motort üzemi hőmérsékletre melegítsd; a kapcsoló helyére szereld a mechanikus mérőt. Indítsd a motort, ellenőrizd a szivárgást. Mérd az alapjárati és a gyártó által megadott emelt fordulatszámú nyomást, jegyzőkönyvezd. A példaértékek a táblázatban találhatók (ellenőrizendő).
4. **Hűtőrendszer nyomáspróbája:** hideg motoron szereld le a zárósapkát; csatlakoztasd a nyomáspróbázót a kiegyenlítőtartályhoz. Töltsd ki a rendszerből a levegőt, állítsd be a próbanyomást, és figyeld a nyomást a gyártói próbaidő alatt. Keress szivárgást, ha az esés meghaladja a határértéket; ellenőrizd a zárósapkát is külön.
5. **A dízel tüzelőanyag-rendszer előkészítése:** csere szűrőt, ha a karbantartási terv előírja; a szűrőházat ellenőrizd, a vízleválasztót ürítsd. A rendszer légtelenítését az alábbi **recipe** szerint végezd.
6. **Izzítógyertya-ellenőrzés és csere:** a motorvezérlő diagnosztikai adataiból és multiméterrel ellenőrizd az izzítógyertyákat; a cserénél a furatokat tisztítsd, a régi tömítéseket távolítsd el, a gyertyákat a gyártói nyomatékkal, előírt kenőanyaggal vagy szárazon szereld. **Tilos** a törött izzítócsúcsot a hengerben hagyni.
7. **Injektorcsere (ha szükséges):** common rail rendszeren először végezd el a nyomásmentesítést a gyártói módon; a nagynyomású csöveket és injektorokat kizárólag az előírt sorrendben, a megadott nyomatékkal, új tömítésekkel és adott esetben új rögzítőelemekkel szereld vissza. A CR-injektor kalibrációs kódját a vezérlőben rögzítsd.
8. **Visszaszerelés és ellenőrzés:** minden rendszert tölts fel a gyártói specifikációjú folyadékkal; járó motorral ellenőrizd a szivárgást, a ventilátor bekapcsolását, az olajnyomást, a tüzelőanyag-nyomást és a kipufogógáz-értékeket. Töröld a hibakódokat, és végeztess próbautat.

Dokumentálás: a munkalapon rögzítsd a mérési eredményeket, a beépített alkatrészeket, a folyadékok típusát, a meghúzási nyomatékokat és a kalibrációs kódokat; a jármű szervizkönyvében a karbantartást a gyártói előírás szerint igazold.

Kiemelt eljárás: dízelrendszer légtelenítése

1. Ellenőrizd a szűrőházat és a kézi szivattyút szivárgásra.
2. Kapcsold be a gyújtást, hogy az elektromos tápszivattyú a rendszert feltöltse (ha van).
3. Nyisd ki a levegő- vagy visszafolyócsavart, és a kézi szivattyúval pumpálj, amíg a kar ellenállása nő, és a csavarnál buborékmentes üzemanyag jelenik meg.
4. Zárd vissza a levegő- vagy visszafolyócsavart, töröld le a kifolyó üzemanyagot.
5. Indítsd a motort; indítózással csak a gyártó által megadott ideig terheld az önindítót.
6. Miután a motor jár, hagyd stabilizálódni az alapjáratot, majd ellenőrizd a gyorsítási viselkedést és a szivárgást. Ha a motor leáll, ismételd a légtelenítési lépéseket.

Tipikus hibák a gyakorlatban: a gyújtás bekapcsolása nélkül indítózás, a levegőcsavar nyitva felejtése, a szűrőház tömítésének elhagyása, a common rail nyomásmentesítés elmulasztása.

40.3.9. Tipikus hibák

Hiba. Hideg motornál mérik az olajnyomást, mert így gyorsabb a mérés. A hideg olaj viszkozitása nagy, ezért az érték irreálisan magas, és a kopott csapágyak hibája rejtve marad. Helyes gyakorlat: a mérés előtt a motort üzemi hőmérsékletre melegítjük, és a gyártói fordulatszámokon mérünk.

Hiba. A common rail rendszer nagynyomású csövét a motor leállítása után azonnal, nyomásmentesítés nélkül lazítják meg, mert „a motor úgysem jár”. A rendszerben visszamaradt akár több száz bar nyomású üzemanyagsugár bőrbe hatolva súlyos, maradandó sérülést okoz. Helyes gyakorlat: a gyártói nyomásmentesítési eljárást követjük, és a nagynyomású szerelvényeket csak ezután bontjuk.

Hiba. A hűtőrendszer zárósapkáját forró motornál nyitják fel, mert a szintet sürgősen ellenőrizni akarják. A túlnyomás alatt kiáramló forró hűtőfolyadék leforrázást okoz. Helyes gyakorlat: a motort lehűlni hagyjuk, vastag ronggyal, fokozatosan engedjük le a nyomást.

Hiba. A dízel járművet a légtelenítés során hosszan indítóztatják, mert „legalább átmossa a rendszert”. Az önindító túlmelegszik, a befecskendezőrendszer kenése rossz lehet, és a sikertelen indítás a hibát elfedi. Helyes gyakorlat: rövid indítási ciklusok, a légtelenítést a gyártói módszerrel, kézi szivattyúval vagy tápszivattyúval végezzük.

Hiba. A hűtőrendszert csapvízzel töltik fel, mert „az olcsóbb”. A csapvíz vízkövet, rozsdát és fagyáskárosodást okoz; a glikolos hűtőfolyadék korróziógátló és fagyvédő adalékai nélkül a motor hűtőrendszere károsodik. Helyes gyakorlat: a gyártó specifikációja szerinti, megfelelő keverési arányú hűtőfolyadékot használunk.

40.3.10. Önellenőrzés

1. **Igaz-e:** az olajnyomást hideg motoron mérve kapjuk a legpontosabb értéket. Válasz: hamis, mert a hideg olaj viszkozitása megnöveli a mért nyomást, és a csapágykopás rejtve marad.
2. **Gyors számolás:** a hűtőrendszer nyomáspróbája során 1,20 bar kezdeti nyomás után 10 perc múlva 1,08 bar a mért érték. Mekkora a nyomásesés, és ha a megengedett esés 0,10 bar, megfelel-e? Válasz: 0,12 bar, ami meghaladja a határt, tehát nem felel meg.
3. **Mi a hiba ebben az eljárásban?** „A common rail befecskendező csövet a motor leállítása után azonnal lecsavarozom, hogy ellenőrizzem a rail-nyomást.” Válasz: a nyomásmentesítés elmaradt, a nagynyomású sugár bőrbe hatolhat.
4. **Melyik izzítógyertya hibás?** Mért ellenállások: 0,8 Ω, 1,1 Ω, 0,9 Ω, 18 Ω. Válasz: a 18 Ω értékű, mert az ellenállása erősen megnőtt (szakadásnál a műszer OL-t mutatna).
5. **Mit jelent a hűtőrendszer nyomáspróbája során a lassú, folyamatos nyomásesés?** Válasz: szivárgás vagy a tömítések nem megfelelő zárása; a pontos helyet szivárgáskeresővel kell megtalálni.

40.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Egy mechanikus olajnyomásmérő alapjáraton 1,6 bar-t, 3000 1/min-en 4,8 bar-t mutat. A példaértékek szerint az alapjárati minimum 1,0 bar, a 3000 1/min-hez tartozó tartomány 3,5–5,5 bar. Feleljen meg a motor? Válaszát kPa-ban is adja meg.

2. feladat (A). A hűtőrendszer próbanyomása 1,10 bar, a próbaidő végén 1,02 bar. A megengedett esés 0,10 bar. Minősítse a mérést.

3. feladat (B). Egy MPI-befecskendezésű benzinmotor leállítása után a nyomás 3,7 bar-ról 20 perc alatt 2,4 bar-ra csökken. A példaértékek szerint az üzemi nyomás $3{,}5 \pm 0{,}2$ bar, a zárási nyomáspont legalább 2,5 bar. Milyen hibát gyanít, és mit mérne először?

4. feladat (B). Rendezze helyes sorrendbe a dízel common rail rendszer injektorcseréjének fő lépéseit: (a) kalibrációs kód rögzítése a vezérlőben, (b) nyomásmentesítés, (c) motor leállítása, kulcselvétel, (d) injektor kiszerelése, (e) új tömítések behelyezése és visszaszerelés, (f) visszafolyásmérés. Indokolja a sorrendet.

5. feladat (C). Egy hűtőkör nyomáspróbája során hideg rendszeren a nyomás 1,20 bar-ra felnyomva 2 perc alatt 0,95 bar-ra csökken, de külső szivárgás sehol sem látható. Milyen további vizsgálatokat végezne, és mi lehet a hiba?

6. feladat (D). Egy dízelmotor hidegben nehezen indul, alapjáraton fehér füstöt ereszt. A diagnosztika szerint az izzítási idő normális, az akkumulátor feszültsége 10,8 V indítás közben, a szűrőházban a kézi szivattyúzás buborékos üzemanyagot hoz. Ismertesse a hibakeresés lépéseit, a várható okot és a javítást.

40.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis, a hideg motoron mért érték irreálisan magas; az olajnyomást üzemi hőmérsékleten mérjük.
2. $\Delta p = 1{,}20 - 1{,}08 = 0{,}12$ bar; ez nagyobb, mint 0,10 bar, tehát nem felel meg.
3. A common rail cső megbontása a nyomásmentesítés előtt tilos; a nagynyomású sugár bőrbe hatolhat.
4. A 18 Ω ellenállású izzítógyertya hibás, mert az ellenállása erősen megnőtt (szakadásnál a műszer OL-t mutatna).
5. A nyomásesés szivárgásra utal; a hűtőrendszer nyomáspróbáját követően a tömítések, csatlakozók, a fűtőradiátor, a vízszivattyú-tömítés és a hengerfejtömítés szivárgását kell keresni.

1. feladat (A). A motor megfelel, mert $1{,}6 > 1{,}0$ és $3{,}5 \le 4{,}8 \le 5{,}5$. Átszámítás: 1,6 bar = 160 kPa, 4,8 bar = 480 kPa.

2. feladat (A). $\Delta p = 1{,}10 - 1{,}02 = 0{,}08$ bar. Mivel $0{,}08 < 0{,}10$, a példaérték szerint a hűtőkör megfelel.

3. feladat (B). A zárási nyomás 2,4 bar, ami a 2,5 bar határ alatt van; az injektor vagy a visszafolyó ági szabályozó szivárgását, esetleg a tüzelőanyag-szivattyú visszacsapó szelepének hibáját kell gyanítani. Először a nyomásmérővel a zárási nyomást, majd a visszafolyó ág tömítettségét és az injektorok csepegését ellenőriznénk.

4. feladat (B). Helyes sorrend: (f) visszafolyásmérés a hibás injektor azonosítására (járó motornál, a gyártó szerint); (c) motor leállítása, kulcselvétel; (b) nyomásmentesítés; (d) injektor kiszerelése; (e) új tömítések behelyezése és visszaszerelés előírt nyomatékkal (új nagynyomású cső, ha a gyártó előírja); (a) kalibrációs kód rögzítése a vezérlőben; végül légtelenítés és szivárgásellenőrzés járó motornál. A visszafolyásmérés diagnosztikai lépés: a hibás injektort a nyomás alatt álló, működő rendszeren kell kiválasztani, a leállítás és nyomásmentesítés után már nem végezhető el. A nyomásmentesítés nélküli bontás életveszélyes, a kód elhagyása pedig befecskendezési pontatlanságot okoz.

5. feladat (C). A gyors nyomásesés és külső szivárgás hiánya rejtett szivárgásra utalhat: a fűtőradiátor, a vízszivattyú-tömítés, a hengerfejtömítés meghibásodása, esetleg a motortérben

lévő hűtőfolyadék-nyom nélküli égésgáz-bejutás. Továbbá ellenőrizzük a zárósapkát és a kiegyenlítőtartály repedéseit. Ha járó motornál a nyomás emelkedik, vagy a CO-teszt pozitív, a hengerfejtömítés hibája valószínű; hideg rendszeren, külső szivárgás nélkül eső nyomásnál belső szivárgás (fűtőradiátor, hengerfejtömítés) gyanítható. A javítás a motor gyártói előírás szerinti szétszerelését és a tömítés cseréjét igényli.

6. feladat (D). A tünet hidegindítási nehézség, fehér füst; az indítás közbeni feszültség 10,8 V elfogadható, az izzítási idő normális, de a szűrőház buborékos üzemanyagot ad. A hiba a tüzelőanyagrendszer levegőssége. Hibakeresési sorrend: a szűrőház, a kézi szivattyú, a tüzelőanyag-szívócső és a csatlakozók ellenőrzése; a szűrőcsere; a szűrőház tömítésének cseréje; a rendszer kézi szivattyús légtelenítése buborékmentes üzemanyagig; majd rövid indítózás. Ha a motor továbbra is füstöl, az izzítógyertyák és a szállításkezdet ellenőrzése következik. A javítás a levegőbeszívás megszüntetése és légtelenítés; az önindítót rövid ciklusokban terheljük.

40.3.13. Rövid összefoglaló

A kenőrendszer javításakor az olajszivattyút, a nyomáshatárolót, a szűrőt, a nyomáskapcsolót vagy -jeladót és a dinamikus olajnyomást egyaránt ellenőrizni kell. A hűtőrendszer vizsgálata a termosztátra, a vízszivattyúra, a hűtőre, a ventilátorokra és a tömítettségre terjed ki; a nyomáspróba hideg rendszeren, a gyártói próbanyomással történik. A tüzelőanyag-rendszerek közül a benzinoldalon a szivattyúnyomás, a zárási nyomás, a szabályozó és az injektorok tömítettsége, dízelen a szűrő, a légtelenítés, az izzítógyertyák és a befecskendezőrendszer működése a fő elem. A common rail rendszert kizárólag a nyomásmentesítés után szabad bontani. A kipufogóoldalon a katalizátor, a lambdaszonda, az EGR-szelep és a turbófeltöltő ellenőrzése zárja a diagnosztikát.

Továbbvitt eredmény. A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítási módszerei, a nyomásmérés, a tömítettségpróba és a légtelenítés lépései a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben a több rendszerre kiterjedő, összetett hibakeresési feladatok alapját adják.

40.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások és diagnosztikai adatok – ellenőrizendő: a pontos olajnyomásértékek, a hűtőrendszer próbanyomása, a befecskendezési nyomás, a zárási nyomáspont, az injektor-kalibrációs eljárás, a szűrőcsere- és légtelenítési lépések, a meghúzási nyomatékok.
- A common rail rendszer nyomásmentesítési eljárása – ellenőrizendő: a gyártó által előírt lépések és várakozási idő.
- A veszélyes hulladékok kezelésére vonatkozó hazai és uniós szabályozás – ellenőrizendő: a hulladékokról szóló törvény és a veszélyes hulladék kezelésére vonatkozó rendeletek aktuális előírásai.
- A hűtőfolyadék- és kenőanyag-specifikációk – ellenőrizendő: a gyártói engedélyek és viszkozitási osztályok a konkrét járműre.
- A járműgyártói adatbázisok (javítási idő, alkatrészkód, adaptációs értékek) használata – ellenőrizendő: a mindenkori adatbázis és a gyártói hozzáférések követelményei.

41 Erőátvitel, futómű, kormány, fék és kerék szerelése

41.1. Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere

41.1.1. Motiváció

A műhelyben az egyik leggyakoribb panasz, hogy az autó „kuplungja csúszik”, a váltó „nehezen veszi a fokozatot”, vagy az automata váltó „rángat, és megcsúszik” meleg üzemben. A tulajdonos sokszor csak annyit érez, hogy a motor fordul, de az autó nem gyorsul. A szerelőnek ilyenkor nem elég a tünetet rögzítenie: meg kell állapítania, hogy a tengelykapcsoló tárcsája kopott-e el, a kinyomómű hidraulikája levegős-e, a kettős tömegű lendkerék (DMF) meghibásodott-e, vagy éppen a váltó olajszintje és állapota okozza a hibát. Ebben az alfejezetben a tengelykapcsoló, a kézi kapcsolású nyomatékváltó és az automata váltó szerelését, ellenőrzését és olajcseréjét tanuljuk meg úgy, hogy a munkavégzés a gyártói javítási utasítás szerint, biztonságosan és ellenőrizhetően történjen.

41.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy elsőkerék-hajtású, kézi váltós személyautót emelőn. A szerelő levette az akkumulátor negatív pólusát, leengedte a váltóolajat, kihúzta a féltengelyeket a váltóból, és a motortartó bakot megtámasztva leengedte a váltót az emelővel. A kuplungszerkezet most láthatóvá válik: a lendkerékhez csavarozott szorítótárcsa (tányérrugós kuplung) közepén a bordázott kuplungtárcsa, mögötte a kinyomócsapágy. A szerelő csillagkulccsal, keresztben oldja a kuplungszerkezet csavarjait, majd kiemeli a tárcsát. Látszik, hogy a tárcsa súrlódóbetétje a szegecsekig kopott, a lendkerék felülete pedig enyhén kékes színű, túlmelegedésre utal. Később, az automata váltós autónál a szerelő a diagnosztikai műszerrel figyeli az olajhőmérsékletet, mert az ATF-szintet csak a gyártó által előírt hőmérsékleten szabad ellenőrizni.

Definíció. A tengelykapcsoló (kuplung) a motor és a sebességváltó közötti oldható, súrlódó nyomatékátvivő kapcsolat; a kézi nyomatékváltó fogaskerékpárokkal és szinkronszerkezettel váltja az áttételt; az automata váltó hidrodinamikus nyomatékváltót, bolygóműveket és hidraulikus/elektrohidraulikus vezérlésű tengelykapcsolókat, fékeket használ.

Szabály. Minden itt leírt szerelési lépés tanulási példa. Meghúzási nyomatékot, hézagot, olajtöltet-mennyiséget, hőmérsékletet és kopási határértéket mindig a gyártó aktuális javítási adata alapján kell végrehajtani (ellenőrizendő: a gyártói adat).

41.1.3. Felépítés és működés, valamint a szerelés technológiája

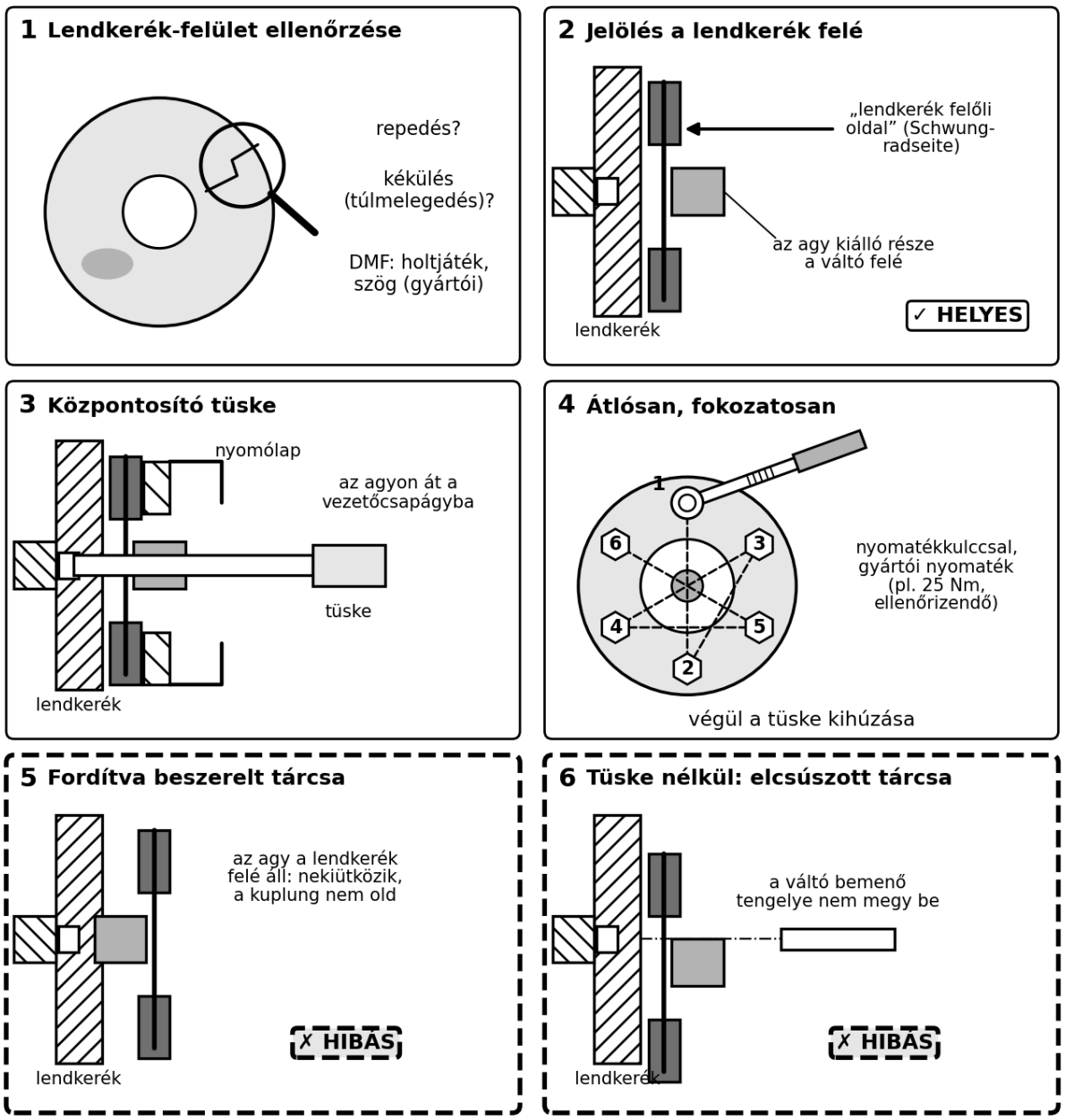
41.1.3.1. Tengelykapcsoló ki- és beszerelése

A száraz súrlódó tengelykapcsoló elemeit és működését a Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus alfejezet mutatta be. A szerelés során a következő fő lépéseket kell biztonságos sorrendben végrehajtani.

Gyakorlati lépések – tengelykapcsoló csere

1. Azonosítsa a járművet, olvassa ki a gyártói javítási adatot: meghúzási nyomatékok, tárcsa kopási határa, hidraulika folyadék fajtája, DMF ellenőrzési szög (ellenőrizendő).
2. Kösse le az akkumulátor negatív pólusát (először a negatívot).
3. Emelje a járművet a gyártói emelési pontokon, támassza ki bakkal. Csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos.
4. Engedje le a váltóolajat (ha a váltót le kell venni, vagy ha olajcsere is esedékes).
5. Szerelje le a váltóhoz csatlakozó részegységeket: féltengelyek, kardán, sebességváltó-tartók, indítómotor, elektromos csatlakozók, váltókar-mechanizmus, kinyomóhenger.
6. Támassza meg a motort megfelelő tartóval, majd csavarozza le a váltót a motorhoz rögzítő csavarokat, és a váltót váltóemelőre (hidraulikus váltótartóra) rögzítve engedje le; a 30–60 kg-os váltó súlya nem terhelheti a bemenő tengelyt és a tárcsát.
7. Keresztben oldja a kuplungszerkezet csavarjait, jelölje be az eredeti helyzetét, ha kiegyensúlyozás miatt szükséges.
8. Emelje ki a nyomólapot és a kuplungtárcsát. A harangházban és a szerkezeten lévő súrlódóanyag-port (régi járművön azbeszttartalmú is lehet) sűrített levegővel kifújni tilos; nedves törléssel vagy porelszívóval távolítsa el, és viseljen porvédő maszkot (pl. FFP2/FFP3; ellenőrizendő) és kesztyűt.
9. Ellenőrizze a lendkerék futófelületét: repedés, beszíneződés, hőfutás barázdái. A DMF-et ellenőrizze a gyártó szerint (forgási szög, holtjáték, rugóerő), mert a kopott DMF gyakran „kuplungcsúszás-érzést” okoz.
10. Tisztítsa meg a lendkerék felületét és a tárcsaborda agyát zsírtalanítóval.
11. Helyezze fel az új kuplungtárcsát a bordázott tengelyre, és központosítsa célszerszámmal vagy használt váltó bemenő tengellyel.
12. Szerelje fel az új vagy ellenőrzött nyomólapot, a csavarokat keresztben, fokozatosan húzza meg nyomatékkulccsal a gyártói nyomatékra (például 25 Nm, tanulási példa).
13. Szerelje be az új kinyomócsapágyat a vezetőhüvelyre, és kenje meg a gyártó által előírt pontokon, ha szükséges (a túlzott kenés a tárcsa szennyezéséhez vezet).
14. Emelje vissza a váltót, igazítsa a bemenő tengelyt a tárcsába; ne erőltesse. Húzza meg a váltó csavarjait.
15. Csatlakoztassa a kinyomóművet, légtelenítse a hidraulikát, és állítsa be a pedál holtjátékát (ha az adott rendszer állítható; önutánálló rendszernél a gyártó szerint).
16. Töltse fel a váltóolajat, csatlakoztassa az akkumulátort, végezzen próbautat: a kuplung ne csússzon, a fokozatokat nehézség nélkül kapcsolja.

A beszerelés három jellegzetes hibája – fordítva behelyezett tárcsa, központosítás nélküli szerelés, egyenetlen meghúzás – az alábbi képsoron látható: (1) a lendkerék felületének ellenőrzése, (2) a tárcsa a „lendkerék felőli oldal” jelöléssel a lendkerék felé, (3) a központosító tüske a tárcsaagyon át a vezetőcsapágyba, (4) a nyomólap csavarjai átlós sorrendben, fokozatosan, nyomatékkulccsal; (5) és (6) a két hibás szerelés. A HTML-változatban a meghúzási sorrend lépésenként lejátszható.



41.1. ábra. Tengelykapcsoló beszerelése: felület-ellenőrzés, a tárcsa iránya, központosító tüske, átlós meghúzás (1–4), valamint két hibás szerelés (5–6); sematikus rajz

Hidraulikus kinyomóműű légtelenítése

A hidraulikus kinyomóműű (főfékhenger, cső, munkahenger) levegőssége puha pedált és tökéletlen oldást okoz. Légtelenítés előtt a fékfolyadék-tartály szintjét a MAX-jelig töltjük, és folyamatosan pótoljuk, mert ha a tartály leürül, újabb levegő kerül a rendszerbe.

Eljárás. Hidraulikus kuplung légtelenítése:

1. A tartály szintjét ellenőrizze, a légtelenítő csavarra szereljen átlátszó tömlőt.
2. A segítő nyomja le és tartsa lenyomva a kuplungpedált.
3. Nyissa a légtelenítő csavart rövid időre, figyelje a levegőbuborékokat.
4. Zárja a csavart, majd engedje fel a pedált.
5. Ismételje mindaddig, amíg buborékmentes, friss folyadék nem jön.

6. Közben pótolja a tartályt; a légtelenítő csavart a gyártói nyomatékkal zárja (például 8–10 Nm, tanulási példa).
7. Végezze el a pedál-játék ellenőrzését és próbát.

Hibatáblázat – tengelykapcsoló

Tünet	Lehetséges ok	Ellenőrzés/javítás
Kuplung csúszik	Kopott tárcsa, olajos tárcsa, DMF hiba, elfogyott holtjáték, elfáradt tányérrugó	Tárcsavastagság, DMF szög, holtjáték mérése; olajfolyás keresése; szükség szerint csere
Kuplung nem old ki	Levegős hidraulika, kopott kinyomócsapágy, beragadt (letapadt) tárcsa, rosszul beszerelt tárcsa	Légtelenítés, pedálút mérés, szét- és visszaszerelés ellenőrzése
Rángat induláskor	DMF kopott, tárcsa felülete egyenetlen, szennyezett bordák	DMF ellenőrzés, tárcsacsere, bordázat tisztítás
Pedál puha vagy leesik	Fő-/munkahenger tömítés, levegő, fékfolyadék folyás	Szivárgás keresés, légtelenítés, henger felújítás

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

41.1.3.2. Nyomatékváltó (kézi váltó) ki- és visszaszerelése, szét- és összeszerelése

A kézi kapcsolású váltó ki- és beszerelése hasonló a tengelykapcsoló cseréjéhez, de itt nem bontjuk a kuplungot, hanem a váltót emeljük le. A szét- és összeszerelés már komolyabb, műhelyi gyakorlatot igénylő munka.

Kiszerelés lépései

1. Kösse le az akkumulátort, emelje a járművet.
2. Engedje le a váltóolajat; a leeresztőcsavaron lévő mágnesen gyűjtse össze a fémreszeléket.
3. Szerelje le a váltókar-rudazatot, a sebességváltó-tartókat, a kardánt vagy féltengelyeket, az elektromos csatlakozókat és a sebességmérő jeladót.
4. Támassza meg a motort, csavarozza le a váltó csavarjait, és engedje le a váltót.

Szét- és összeszerelés

A váltó szétbontását mindig tiszta munkapadon, részegységenként, jelöléssel végezzük.

- A váltóház fedelének levétele után megvizsgáljuk a kapcsolóvillákat és -rudakat: repedés, kopás, hajlott villa.
- A tengelyek kiemelése után ellenőrizzük a fokozatkerekek fogfelületeit, a szinkrongyűrűket és a csapágyakat.
- A szinkrongyűrű ellenőrzése: a gyűrűt a fogaskerék kúpjára nyomva mérjük a hézagot (például 0,5–1,0 mm, tanulási példa). Ha a gyűrű hézag nélkül felfekszik, a szinkron kopott.
- A csapágyaknál hézagot, zajt, elszíneződést vizsgálunk; a hibás csapágyat cseréljük.
- Az összeszereléskor új tömítéseket, szimeringeket és rögzítőelemeket használunk, ahol a gyártó előírja.
- A csapágy előfeszítését a gyártó szerint, mérőórával vagy nyomatékméréssel állítjuk be (ellenőrizendő).

Hibatáblázat – kézi váltó

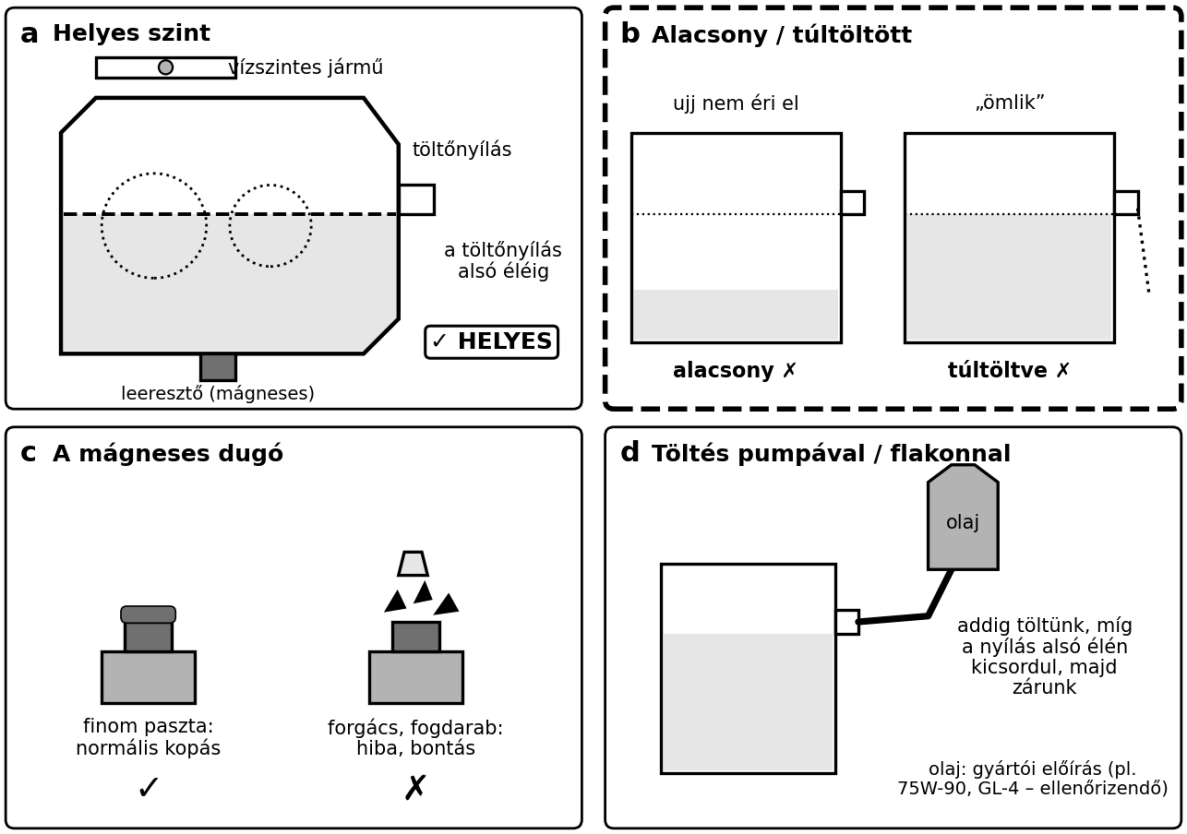
Tünet	Lehetséges ok	Ellenőrzés/javítás
Fokozat nehezen kapcsolható	Kopott szinkron, hajlott villa, levegős kuplung	Szinkronhézag, villaállás, kuplung ellenőrzése
Váltó zúg terhelés alatt	Kopott csapágy, fogaskerék-törés, alacsony olajszint	Olajszint, csapágyhézag, fogfelület vizsgálat
Kiugrik a fokozat	Kopott rögzítőgolyó/rugó, villa, fogaskerék kúposság	Rögzítő elemek, villa, fogaskerék ellenőrzése
Olajfolyás	Szimering, tömítés, hajszálrepedés	Szivárgó hely azonosítása, tömítéscsere

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

41.1.3.3. Olajcsere, olajszint-ellenőrzés (kézi váltó)

A kézi váltó olaját általában a gyártó által előírt időközönként cserélik. Az olajszint a töltőcsavar alsó éléhez igazodik: ha az ujjunk benyúl a töltőnyíláson, a szintnek éppen el kell érnie. A pontos szintet a gyártói adat adja meg.

Az alábbi ábra a szintellenőrzés feltételeit mutatja: (a) vízszintesen álló járművön a helyes szint a töltőnyílás alsó éléig ér, (b) alacsony szintnél az ujj nem éri el az olajat, túltöltéskor a többlet kifolyik; (c) a leeresztőcsavar mágnesén a finom, pasztaszerű fémpor normális kopás, a nagyobb forgács vagy fogdarab hibára utal; (d) a töltés kézi pumpával vagy tömlős flakonnal történik. A HTML-változatban a töltött mennyiség csúszkával állítható.



41.2. ábra. Kézi váltó olajszintje és a mágneses leeresztőcsavar (sematikus; a szintellenőrzés módja gyártói előírás, ellenőrizendő)

Olajcsere lépései

1. Melegítse be a váltót (rövid próbaút).
2. Helyezzen gyűjtőedényt a leeresztőcsavar alá, oldja a leeresztőcsavart. A meleg olaj égési sérülést okozhat: viseljen kesztyűt és védőszemüveget, és ne nyúljon a kifolyó olajsugárba.
3. Engedje le az olajat; vizsgálja meg a mágneses dugón gyűlt fémport.
4. Cserélje ki a tömítőgyűrűt, tegye vissza a leeresztőcsavart a gyártói nyomatékkal (például 30 Nm, tanulási példa).
5. Töltse fel a váltót a gyártói specifikációnak megfelelő olajjal (például SAE 75W-90, API GL-4; ellenőrizendő).
6. Ellenőrizze a szintet, zárja a töltőcsavart.

41.1.3.4. Automata váltó ATF-csere és szintellenőrzés

Az automata váltó folyadékszintjét **mindig a gyártó által megadott hőmérsékleten**, járó motor mellett (a legtöbb típusnál) kell ellenőrizni. A hidegen mért szint hamis képet ad, mert az ATF hőtágulása jelentős. A hőmérsékletet diagnosztikai műszerrel, vagy a váltóra tett hőmérővel ellenőrizzük.

ATF-csere lépései

1. Kösse le az akkumulátort, emelje a járművet.
2. Helyezzen gyűjtőedényt, oldja a leeresztőcsavart vagy a serpenyő csavarjait.

3. Engedje le az ATF-et, szerelje le a serpenyőt, cserélje ki a szűrőt (ha van), tisztítsa meg a serpenyőt és a mágneseket.
4. Helyezzen fel új tömítést, rögzítse a serpenyőt előírt nyomatékkal.
5. Töltsön be a gyártói specifikációnak megfelelő ATF-et (például Dexron VI, Mercon LV, DSG-olaj, CVT-olaj; ellenőrizendő).
6. Indítsa be a motort, kapcsolja végig a váltót a P–R–N–D állásokon, melegítse a váltót az ellenőrzési hőmérsékletre (például 40–50 °C, tanulási példa).
7. Ellenőrizze a szintet a gyártói eljárás szerint (gyakran a szintcsőből kifolyó olajmennyiség vagy nívópálca).
8. Törölje a hibakódokat, végezzen adaptációt/readiness ellenőrzést, ha a gyártó előírja.

Hibatáblázat – automata váltó

Tünet	Lehetséges ok	Ellenőrzés/javítás
Rángat váltáskor	Alacsony vagy magas ATF-szint, rossz olaj, adaptáció szükséges	Szint hőmérsékleten, olajminőség, diagnosztika
Csúszik a váltó	Kopott lemezek, alacsony olajnyomás, szennyezett szűrő	Nyomásmérés, szűrő- és olajcsere, lemezcsomag ellenőrzés
Nem kapcsolja a fokozatot	Hibás vezérlőegység, mágnesszelep, szint	Hibakód, szelepellenőrzés, hidraulikanyomás
Furcsa zaj P/N-ben	Szivattyú, fogaskerék, csapágy	Zajforrás azonosítás, nyomás

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat).

41.1.4. Kidolgozott példák

1. példa – Tengelykapcsoló átvihető nyomatékának ellenőrzése

Adott: egy 2,0 literes dízelmotor maximális nyomatéka $M_{\max} = 280\,\mathrm{Nm}$. A tengelykapcsoló tárcsa két oldala súrlódik ($z = 2$), a súrlódási tényező $\mu = 0{,}35$, a rugó leszorítóereje $F_{\mathrm{n}} = 4200\,\mathrm{N}$, a súrlódófelületek közepes sugara $r_{\mathrm{m}} = 0{,}105\,\mathrm{m}$. A gyártó $\beta = 1{,}2$ biztonsági tényezőt ír elő.

Keresett: átvihető-e a motor nyomatéka?

Képlet: $M_{\mathrm{K}} = z\,\mu\,F_{\mathrm{n}}\,r_{\mathrm{m}}$.

Behelyettesítés:

$$M_{\mathrm{K}} = 2 \cdot 0{,}35 \cdot 4200\,\mathrm{N} \cdot 0{,}105\,\mathrm{m} = 308{,}7\,\mathrm{Nm}.$$

Ellenőrzés: az átvihető nyomaték és a motor nyomaték hányadosa:

$$\frac{M_{\mathrm{K}}}{M_{\max}} = \frac{308{,}7}{280} = 1{,}10.$$

Ez kisebb, mint $\beta = 1{,}2$, tehát a tengelykapcsoló már nem elég biztonságos; csere szükséges. ∎

2. példa – Hidraulikus kuplung légtelenítéséhez szükséges folyadék mennyiségének becslése

Adott: a fékfolyadék-tartálytól a munkahengerig a cső hossza $l = 4{,}0\,\mathrm{m}$, belső átmérője $d = 6\,\mathrm{mm} = 0{,}006\,\mathrm{m}$. A tartály térfogata $V_{\mathrm{tart}} = 0{,}5\,\mathrm{l}$.

Keresett: mennyi friss fékfolyadékot kell legalább átnyomni a légtelenítéshez?

A cső keresztmetszete:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0{,}006)^2}{4} = 2{,}827 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^2.$$

A cső térfogata:

$$V_{\mathrm{cs}} = A \cdot l = 2{,}827 \times 10^{-5} \cdot 4{,}0 = 1{,}13 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^3 = 0{,}113\,\mathrm{l}.$$

A levegő eltávolításához a cső térfogatánál több folyadékot kell átnyomni, mert a buborékok keveredtek a folyadékban, és a tartályból is fogy. A gyakorlatban legalább 0,3–0,5 l friss folyadékra lehet szükség, a tartály feltöltésével együtt. Ellenőrzés: a cső térfogata nagyságrendileg 0,1 l; a becslés reális. ∎

41.1.5. Minőségellenőrzés

A szerelés közben az alábbi értékeket mérjük és hasonlítjuk a gyártói adathoz:

- Kuplungtárcsa vastagság: például új 8,2 mm, kopási határ 6,4 mm (tanulási példa).
- DMF forgási szöge: például 3°–7° (tanulási példa; a gyártó adja meg).
- Szinkrongyűrű hézag: például 0,5–1,0 mm (tanulási példa).
- Váltóolaj-szint: töltőnyílás alsó éléig, a jármű vízszintes állapotában.
- ATF-szint: járó motor mellett, a megadott hőmérsékleten (például 40–50 °C, tanulási példa).
- Csavarok: nyomatékkulccsal, a gyártói nyomatékra húzva.

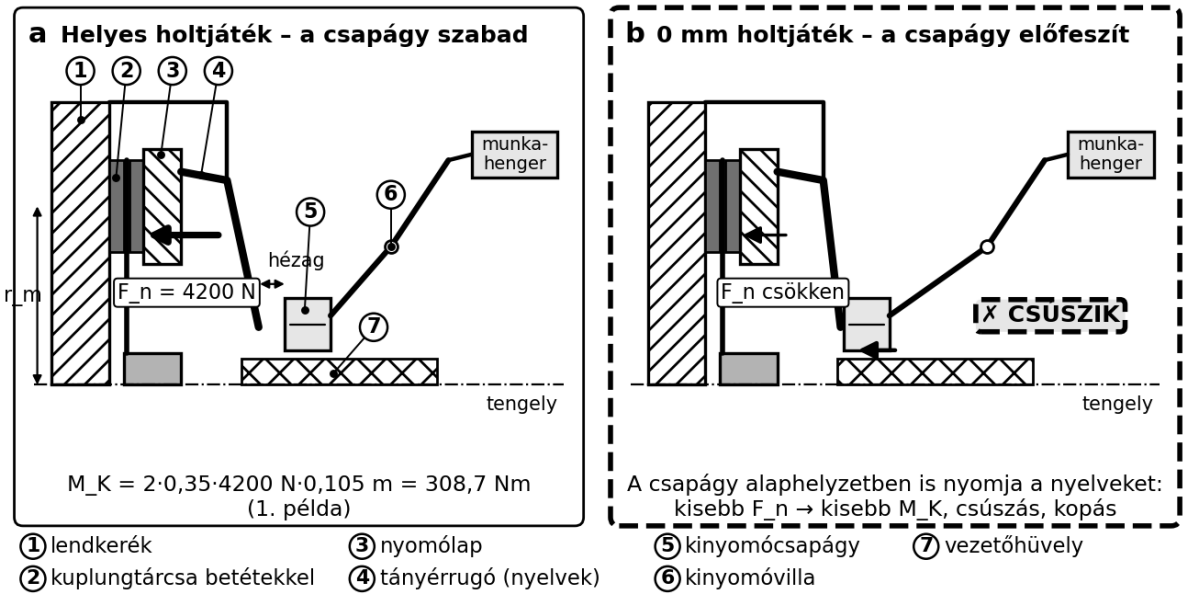
Figyelem. A jármű alatt csak megfelelő alátámasztással dolgozzunk; csak kocsiemelővel tartott jármű alá bemenni tilos. A leengedett olajat, ATF-et, fékfolyadékot és tömítőket a hulladékkezelési előírások szerint gyűjtsük.

Környezetvédelem. A fáradt olaj, ATF, fékfolyadék és az olajos rongy veszélyes hulladék. Szelektíven gyűjtsük, a gyűjtőedényeket jelöljük, és csak hulladékkezelési engedéllyel rendelkező átvevőnek adjuk át (ellenőrizendő: hatályos hulladékgazdálkodási jogszabály).

41.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy az autója magasabb fokozatban, nagy gázadásnál „megcsúszik”, a fordulatszám emelkedik, de a sebesség nem követi. A szerelő először ellenőrzi a kuplungpedál holtjátékát: 0 mm, az előírt 10–15 mm (tanulási példa) helyett. A kuplung kinyomócsapágya így alaphelyzetben is nyomja a tányérrugót, ezért a szorítóerő csökken. A hiba oka: egy korábbi kuplungcsere után a munkahenger dugattyúrúdját túl hosszúra állították. A szerelő visszaállítja a holtjátékot, légteleníti a hidraulikát, majd próbaúton ellenőrzi: a csúszás megszűnt. Tanulság: a kuplungcsere után mindig be kell állítani a működtetést; a folyamatosan feszített kinyomócsapágy nemcsak csúszást, hanem idő előtti csapágy- és tányérrugó-kopást is okoz.

Az alábbi ábra a tengelykapcsoló félmetszetén mutatja a két állapotot: helyes holtjátéknál a kinyomócsapágy és a tányérrugó nyelvei között hézag van, a teljes F_{n} szorítja a tárcsát; 0 mm holtjátéknál a csapágy alaphelyzetben is nyomja a nyelveket, a szorítóerő és vele az átvihető $M_{\mathrm{K}} = z\,\mu\,F_{\mathrm{n}}\,r_{\mathrm{m}}$ nyomaték csökken. A HTML-kiadásban a holtjáték csúszkájával kipróbálható, hogyan esik az $M_{\mathrm{K}}/M_{\max}$ arány 1,2, majd 1 alá.



41.3. ábra. Tengelykapcsoló félmetszete helyes (a) és nulla (b) holtjátékkal; a számpélda az 1. kidolgozott példáé, a 0 mm-es állapot szorítóerő-csökkenése szemléltető

41.1.7. Gyakorlati útmutató

Cél: tengelykapcsoló ki- és beszerelése, a működtetés ellenőrzése és beállítása.

Jármű- és adatazonosítás: alvázszám, motorszám, gyártói javítási adatlap, előírt nyomatékok, folyadékspecifikáció.

Szükséges szerszámok, célszerszámok, mérőeszközök, anyagok:

- emelő, bakok, motor- és váltóemelő tartó;
- kézi- és csillagszerszámkészlet, nyomatékkulcs;
- kuplungtárcsa-központosító célszerszám;
- mérőóra, tolómérő, hézagmérő;
- fékfolyadék, zsírtalanító, tömítőanyag, új rögzítőelemek (ha a gyártó előírja);
- váltóolaj, ATF, tömítőgyűrűk, szűrő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések:

- emelési pontok, bakok használata;
- olajfelfogó edény, olajos rongy elkülönítése;
- a leengedett folyadékok gyűjtése.

Számozott munkalépések ellenőrzési pontokkal:

1. Akkumulátor negatív pólus lekötése – ellenőrizni: feszültségmentes.
2. Jármű emelés és alátámasztás – ellenőrizni: stabil, nem inog.
3. Váltóolaj leengedése – ellenőrizni: olajmennyiség, fémreszelék.
4. Féltengelyek, kardán, indító, csatlakozók szerelése le – ellenőrizni: minden elemet jelöljünk meg.

5. Váltó leengedése – ellenőrizni: a bemenő tengely ne feszüljön.
6. Kuplungszerkezet csavarjainak oldása keresztben – ellenőrizni: a lendkerék ne sérüljön.
7. Tárcsa, nyomólap, kinyomócsapágy ellenőrzése – mérni: tárcsavastagság, DMF szög, csapágyhézag.
8. Lendkerék tisztítása, tárcsa központosítása – ellenőrizni: a tárcsa szabadon elfordul, de nem lötyög.
9. Nyomólap felszerelése, csavarok meghúzása nyomatékkulccsal – ellenőrizni: gyártói nyomaték (például 25 Nm).
10. Váltó visszaemelése, csavarok meghúzása – ellenőrizni: rések egyenletesek.
11. Hidraulika légtelenítése – ellenőrizni: buborékmentes folyadék.
12. Pedál holtjáték beállítása – ellenőrizni: előírt érték (például 10–15 mm).
13. Váltóolaj feltöltés – ellenőrizni: szint.
14. Próbautat: kuplung nem csúszik, váltás könnyű – ellenőrizni: nincs rendellenes zaj.
15. Dokumentálás: munkalap, szervizkönyv, használt anyagok listája.

Tipikus hibák a gyakorlatban: a tárcsa nem központosított, ezért a váltó nem megy fel; a csavarokat nem keresztben húzták meg, a nyomólap megfeszül; a hidraulikát nem légtelenítették.

41.1.8. Tipikus hibák

1. **A kuplungtárcsát nem központosítják.** A váltó bemenő tengelye nem tud beilleszkedni a bordázatba, a szerelő erőlteti, és elgörbíti a tárcsát. Helyes: használjunk központosító célszerszámot.
2. **Az ATF-szintet hidegen ellenőrzik.** A hideg olaj szintje alacsonyabbnak mutatkozik, ezért túltöltik; melegen túl magas lesz a szint, habzik az olaj, váltóhibát okoz. Helyes: a gyártó által előírt hőmérsékletre melegíteni.
3. **A leeresztőcsavart túlhúzzák.** A menet megsérül, a következő olajcserénél szivárog. Helyes: nyomatékkulccsal, előírt nyomatékkal húzni.
4. **A DMF ellenőrzését elhagyják.** A csúszásért a tárcsát cserélik, de a kopott DMF miatt a rezonancia megmarad. Helyes: mindig mérni a DMF szögét és holtjátékát.

41.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kuplungpedál holtjátéka azért kell, hogy a kinyomócsapágy ne nyomja a tányérrugót alaphelyzetben? Indokolja.
2. Mekkora a cső térfogata, ha $d = 8\,\text{mm}$ és $l = 3\,\text{m}$? (Képlet, behelyettesítés, eredmény.)
3. Mi a teendő, ha a hidraulikus kuplung légtelenítése után a pedál továbbra is puha?
4. Miért kell az automata váltó ATF-szintjét járó motor mellett, megadott hőmérsékleten ellenőrizni?
5. Milyen hiba jele, ha a váltó fokozata kiugrik terhelés alatt?

41.1.10. Feladatok

1. feladat (A) Írja le a tengelykapcsoló ki- és beszerelésének fő lépéseit 8–10 pontban.

2. feladat (A) Számítsa ki egy tengelykapcsoló átvihető nyomatékát, ha $z = 2$, $\mu = 0{,}33$, $F_\text{n} = 4500\,\text{N}$ és $r_\text{m} = 0{,}110\,\text{m}$. Adja meg a biztonsági tényezőt, ha a motor maximális nyomatéka $320\,\text{Nm}$.

3. feladat (B) Rendezze helyes sorrendbe az ATF-csere lépéseit: (a) szintellenőrzés; (b) leeresztés; (c) szűrőcsere; (d) feltöltés; (e) jármű emelés; (f) próbatétel. Indokolja.

4. feladat (B) Egy kézi váltó olajcseréjénél a leeresztőcsavaron 0,5 g fémreszelék gyűlt. Elemezze, milyen további vizsgálatot végezne, és mi lehet a hiba.

5. feladat (C) Miért nem elegendő a kuplungcsúszás panaszánál csak a tárcsát cserélni? Soroljon fel legalább három másik lehetséges okot, és adja meg a hozzájuk tartozó mérést.

6. feladat (D) Egy automata váltós jármű hideg indítás után rángat, meleg motornál a tünet enyhül. Milyen diagnosztikai lépéseket végez? Írja le a hibakeresési láncot.

41.1.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A holtjáték biztosítja, hogy a kinyomócsapágy ne érjen hozzá a tányérrugóhoz, így a nyomólap teljes szorítóerőt ad a tárcsára.
2. $A = \frac{\pi \cdot (0{,}008)^2}{4} = 5{,}027 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^2$; $V = A \cdot l = 5{,}027 \times 10^{-5} \cdot 3{,}0 = 1{,}51 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^3 = 0{,}151\,\mathrm{l}$.
3. A puha pedál levegőt jelent; újra légteleníteni, ellenőrizni a tartályszintet és a hengertömítéseket.
4. Az ATF térfogata hőmérsékletfüggő; hidegen más szintet mutat, ezért a gyártói hőmérsékleten, járó motor mellett kell mérni.
5. Kiugrik a fokozat: kopott rögzítőgolyó, rugó, villa vagy fogaskerék.

Feladatok megoldásai

1. feladat megoldás (vázlatos, 9 pont): akkumulátor lekötés; emelés; olajleeresztés; féltengelyek/kardán le; váltó le; kuplungszerkezet megbontás; tárcsa ellenőrzés; központosítás és beszerelés; hidraulika légtelenítés és beállítás.

2. feladat megoldás

$$M_{\mathrm{K}} = 2 \cdot 0{,}33 \cdot 4500 \cdot 0{,}110 = 326{,}7\,\mathrm{Nm}.$$

A biztonsági tényező: $\beta = 326{,}7/320 = 1{,}021$, ami a jellemzően előírt 1,2 (tanulási példa) alatt van; a tengelykapcsoló gyenge, csere szükséges.

3. feladat megoldás Helyes sorrend: e, b, c, d, a, f. Indoklás: először a járművet kell emelni, leereszteni, majd szűrőt cserélni, utána feltölteni, szintet ellenőrizni, végül próbát tenni.

4. feladat megoldás A fémreszelék fogaskerék- vagy csapágykopásra utal. Ellenőrizni kell az olaj állapotát, a váltó működését, szükség esetén szétbontás, fogfelületek és csapágyak vizsgálata.

5. feladat megoldás A tárcsacsere önmagában nem oldja meg, ha: DMF kopott (szögmérés), hidraulika levegős (légtelenítés), holtjáték hibás (pedálállítás), olajszennyezés (szivárgás keresése), tányérrugó elfáradt (nyomólap ellenőrzés).

6. feladat megoldás Hibakeresési lánc: tünet – hidegindítási rángatás; hipotézis – alacsony ATF-szint, szennyezett szűrő, adaptáció; mérés – hibakód kiolvasás, ATF-szint hőmérsékleten, olajnyomás; ok – alacsony szint vagy rossz olaj; javítás – olaj- és szűrőcsere, szint beállítás; ellenőrzés – próbaút, hibakód törlés; megelőzés – rendszeres ATF-csere.

41.1.12. Rövid összefoglaló

A tengelykapcsoló ki- és beszerelésekor a járművet a gyártói pontokon emeljük, az akkumulátort lekötjük, a váltót leengedjük, a kuplungtárcsát központosító célszerszámmal szereljük vissza, a csavarokat keresztben, nyomatékra húzzuk. A hidraulikus kinyomóművet légteleníteni kell, és a pedál holtjátékát be kell állítani. A kézi váltó ki- és szétszerelésekor ellenőrizzük a fokaskerekeket, szinkronokat, csapágyakat és kapcsolóvillákat. Az olajcserénél a leeresztett olajat, a mágnesen gyűlt fémport vizsgáljuk, és a gyártói olajat töltjük. Az automata váltó ATF-szintjét járó motor mellett, meghatározott hőmérsékleten ellenőrizzük; a cserénél a szűrőt és a serpenyőt is karbantartjuk. **Továbbvitt eredmény.** A tengelykapcsoló- és váltójavítás itt bemutatott lépéseit a Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése alfejezet használja fel, ahol a hajtáslánc további elemeit szereljük össze a járművel.

41.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási kézikönyvek és adatbázisok (tengelykapcsoló-, váltó- és ATF-eljárások), általános gépjármű-szerkezettani ismeretek. Konkrét webes forrás nem került felhasználásra. **Ellenőrizendő:** minden meghúzási nyomaték (pl. 25 Nm, 30 Nm), kopási határ (tárcsavastagság, DMF-szög, szinkronhézag), hőmérséklet-értékek (ATF-szint), olaj- és ATF-specifikációk, a gyártói légtelenítési és adaptációs lépések. A hivatkozott képletek általános mechanikai összefüggések; a konkrét értékek tanulási példák.

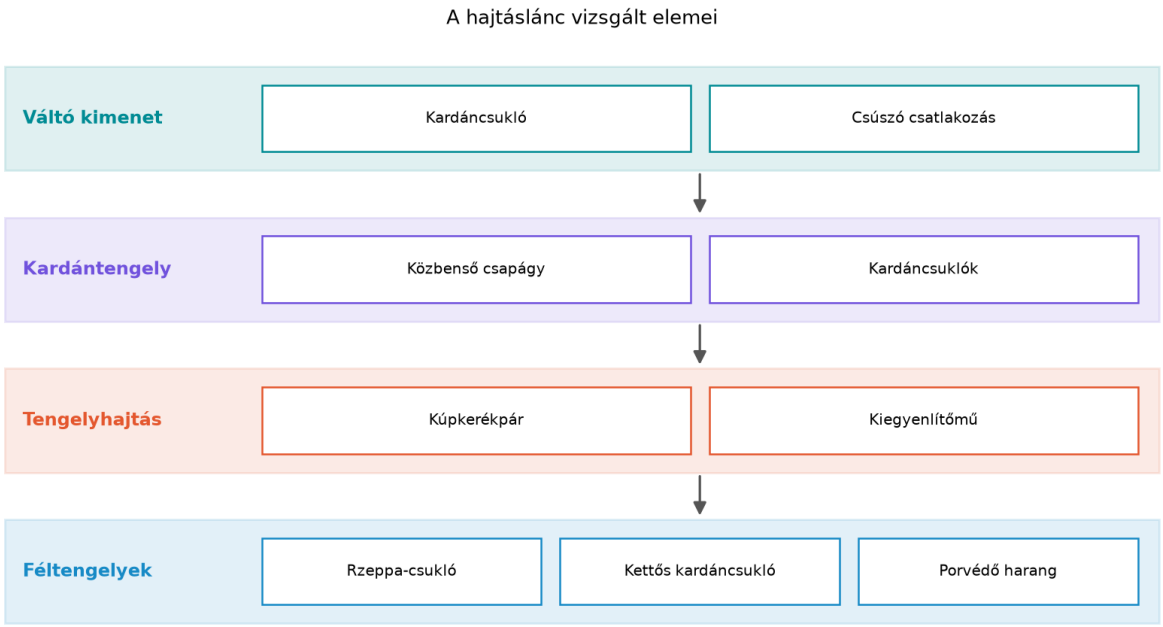
41.2. Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése

41.2.1. Motiváció

A műhelyben gyakori panasz a kanyarban jelentkező kattogó, ropogó zaj, a gyorsításkor fellépő vibráció, vagy a hajtómű környékén észlelt olajszivárgás. A jármű alá nézve a szerelőnek el kell döntenie, hogy a kardántengely csuklója kopott-e, a féltengelycsukló porvédő harangja elszakadt-e, vagy maga a kiegyenlítőmű sérült. Ezek az alkatrészek pontosan illesztett, nagy igénybevételnek kitett szerkezeti egységek, ahol a hibás szerelés nemcsak további meghibásodáshoz, hanem biztonsági kockázathoz is vezethet, például kirepülő féltengely vagy hirtelen blokkoló hajtáslánc formájában. Ezért minden javításnál a gyártói javítási utasítás, a megfelelő szerszámok és az ellenőrzött értékek az irányadók.

41.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hosszirányú motorral szerelt, hátsókerék-hajtású járművet. A váltó kimenő tengelyétől egy csőből és két csuklóból álló kardántengely fut hátra, középen egy gumibakkal felfüggesztett közbenső csapággyal, hogy a hosszú tengelyt megtámassza és a hajlító rezgéseket csillapítsa. A tengely hátul a tengelyhajtás házához csatlakozik, ahol a kúpkerékpár a nyomatékot a kerekek irányába fordítja, a kiegyenlítőmű pedig szétosztja a bal és jobb féltengelyre. Elsőkerék-hajtású járműnél a váltó közvetlenül a hajtóműházban lévő kiegyenlítőműre dolgozik, onnan a féltengelyek a kerékagyhoz vezetnek; a külső csukló rendszerint állandó szögsebességű Rzeppa-csukló, a belső pedig gyakran csúszó tulajdonságú tripod vagy kettős kardáncsukló. A következő rétegábra a hajtáslánc elemeit mutatja, ahogy a javítás során sorra vesszük őket.



41.4. ábra. A hajtáslánc vizsgált elemei - Szemléltető felépítés; a gyártói kialakítás ettől eltérhet.

41.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. A **kardántengely** olyan, rendszerint csőből, csuklókból és csúszó csatlakozásból álló hajtáselem, amely a váltó és a tengelyhajtás között viszi át a nyomatékot változó szög és hosszváltozás mellett. A **féltengely** a kiegyenlítőműtől a kerékagyig viszi a nyomatékot, és legalább egy, a kerék felőli oldalon állandó szögsebességű csuklót tartalmaz, hogy a kormányzott kerék elfordulása alatt is egyenletes legyen az erőátvitel.

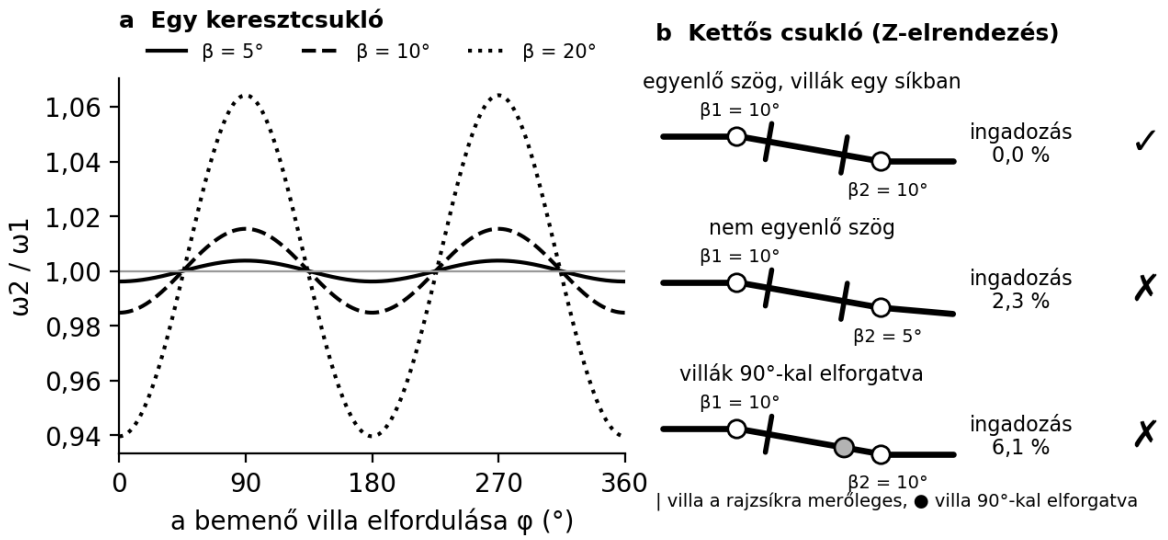
Összefüggés. A kiegyenlítőmű fordulatszám- és nyomatékmegosztása a Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak alfejezetben bemutatottak szerint:

$$n_{\mathrm{be}} = \frac{n_{\mathrm{bal}} + n_{\mathrm{jobb}}}{2}, \qquad M_{\mathrm{bal}} = M_{\mathrm{jobb}} = \frac{M_{\mathrm{be}}}{2},$$

ahol n_{be} a kiegyenlítőmű háza (a tányérkerék) fordulatszáma, n_{bal} és n_{jobb} a féltengelyek fordulatszáma, M_{be} a bemenő nyomaték, M_{bal}, M_{jobb} pedig az egyes féltengelyekre jutó nyomaték. Ez nyitott differenciálműre érvényes; a differenciálzár vagy önzáró változat ettől eltérően viselkedik.

Szabály. A kardántengely csuklóinak egyenlő hajlásszögűeknek kell lenniük, és a közbenső tengely két villájának egy síkban kell állnia (fázishelyes szerelés), ahhoz, hogy a kimenő és bemenő tengely szögsebessége egyenlő legyen; ellenkező esetben periodikus sebességingadozás és vibráció lép fel. Ezt a szerelés során a gyártói beállítási szögek betartásával biztosítják.

Az alábbi ábra a jelenséget mutatja: egy keresztcsukló kimenő szögsebessége fordulatonként kétszer ingadozik, és az ingadozás a hajlásszöggel nő ($\omega_2/\omega_1 = \cos\beta/(1-\sin^2\beta\,\sin^2\varphi)$). Kettős csuklónál az ingadozás csak egyenlő hajlásszög és egy síkban álló (fázishelyes) villák mellett oltódik ki. A HTML-változatban a két hajlásszög és a villák fázisa állítható, a forgó tárcsák a szögeltérést mutatják.



41.5. ábra. A keresztcsukló szögsebesség-ingadozása (a) és kioltása kettős csuklóval (b); ideális csuklókkal számolt, szemléltető görbék

41.2.4. Felépítés és működés

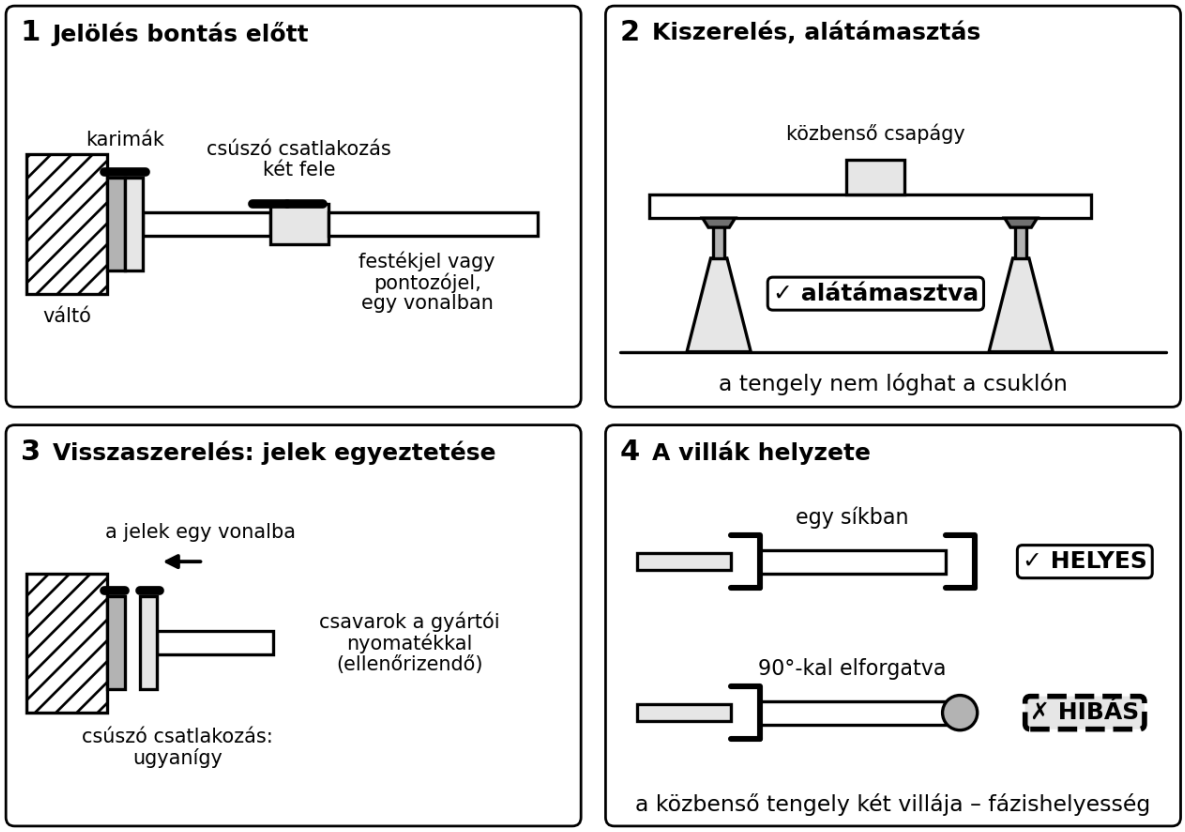
41.2.4.1. Kardántengely és csuklói

A hosszirányú hajtásláncú járművek kardántengelye jellemzően:

- **cső:** könnyű, merev, jól kiegyensúlyozott acél- vagy alumíniumcső;
- **csuklók:** keresztszemes (Hooke-) kardáncsukló vagy állandó szögsebességű csukló; a keresztszemes csukló egyszerű, de hajlásszög alatt szögsebesség-ingadozást okoz;
- **csúszó csatlakozás:** a tengely hosszváltozását hivatott felvenni, amikor a futómű mozog;
- **közbenső csapágy:** hosszú tengelyeknél a középső támaszt gumibakkal, amely a hajlító rezgéseket szigeteli.

A kardántengely **jellemző hibái**: kopott csukló (tűgörgők, keresztdarab), elfáradt csúszó fogazat, elöregedett közbenső csapágy gumi, hajlott vagy kiegyensúlyozatlan cső, sérült hajtótárcsa, illetve a csuklók nem megfelelő hajlásszöge. A tünetek: gyorsításkor vagy lassításkor fellépő dübörgés, vibráció, kanyarban csikorgás.

Bontás előtt a csúszó csatlakozás és a karimák fázis- és kiegyensúlyozási helyzetét meg kell jelölni, különben visszaszerelés után rezgés lép fel. Az alábbi ábra a műhelyi fogást mutatja: (1) festék- vagy pontozójel a karimákon és a csúszó csatlakozás két felén, (2) kiszerelés, a tengely alátámasztása, (3) visszaszerelés a jelek egyeztetésével, (4) a közbenső tengely két villája egy síkban (helyes) és 90°-kal elforgatva (hibás). A HTML-változatban a helyes és a hibás villaállás gombbal váltható.



41.6. ábra. A kardántengely jelölése bontás előtt, alátámasztása és visszaszerelése; a villák fázishelyes és hibás állása (sematikus rajz)

41.2.4.2. Féltengelycsuklók

Az elsőkerék-hajtású és független felfüggesztésű járművek féltengelycsuklói:

- **Rzeppa-csukló:** golyós, állandó szögsebességű, a kerék oldalán használják, nagy szögkitérésre képes.
- **Kettős kardáncsukló:** két keresztszemes csukló összekapcsolva, a belső oldalon vagy régebbi hajtásokon.
- **Tripod csukló:** görgős, csúszó tulajdonságú, a belső oldalon alkalmazzák, mert a hosszirányú elmozdulást is felveszi.

A porvédő harang (gumiharang) feladata a kenőzsír megtartása és a szennyeződés távoltartása. Ha elszakad, a zsír kifolyik, a csukló vízzel és porral szennyeződik, gyorsan kopik, és kattogó hangot ad kanyarban.

41.2.4.3. Kiegyenlítőművek

A kiegyenlítőmű típusai:

- **Kúpkerekes kiegyenlítőmű:** klasszikus, a hajtóműházban a tányérkerékkel együtt forog; a ház két-két bolygókereket és féltengely-kereket tartalmaz.
- **Homlokkerekes kiegyenlítőmű:** ritkább, néhány gyártó alkalmazza; a működési elv ugyanaz, de a fogazat hengeres.

- **Differenciálzár:** mechanikusan vagy elektronikusan zárható, ilyenkor a kiegyenlítőmű merevítve van.
- **Önzáró kiegyenlítőmű:** lemezes, viszkozitáskuplungos vagy Torsen típusú; csúszáskor automatikusan növeli a záró hatást.

A kiegyenlítőmű jellemző hibái: kopott fogazat, törött fogak, csapágykopás, holtjáték növekedése, szivárgó szimmeringek, zaj terhelés alatt, fémreszelék az olajban.

41.2.4.4. Összkerékhajtás

Az összkerékhajtási rendszerek szerelésekor a Összkerékhajtás alfejezetben ismertetett típusokat kell figyelembe venni: állandó, kapcsolható és automatikusan kapcsolódó rendszerek. Itt a kardán, a féltengely és a differenciálmű javítási műveletei hasonlóak, de emellett osztómű, középső differenciál vagy lamellás tengelykapcsoló is található; ezek olajcseréje, szivárgásmentessége és vezérlése is kritikus. Elektromos hátsó tengely esetén a HV-rendszerre vonatkozó biztonsági előírások lépnek életbe.

41.2.5. Kidolgozott példák

Számítás. Egy hátsókerék-hajtású jármű váltójának kimenő fordulatszáma $n_{\text{váltó}} = 1800\,1/\text{min}$. A tengelyhajtás áttétele $i_0 = 3{,}73$. Mekkora a kiegyenlítőmű házának (a tányérkeréknek) fordulatszáma és a féltengelyek fordulatszáma egyenesben, ha a kerék csúszásmentesen gördül?

A kardántengely (kúpkerék) fordulatszáma 1800 1/min, a tányérkeréké, vagyis a kiegyenlítőmű házáé ennek az i_0-ad része:

$$n_{\text{be}} = \frac{n_{\text{váltó}}}{i_0} = \frac{1800}{3{,}73} = 482{,}6\,1/\text{min}.$$

Egyenesben a bal és jobb féltengely fordulatszáma egyenlő, ezért:

$$n_{\text{bal}} = n_{\text{jobb}} = n_{\text{be}} = 482{,}6\,1/\text{min}.$$

Számítás. Ugyanez a jármű kanyarodik. A bal kerék $n_{\text{bal}} = 510\,1/\text{min}$, a jobb kerék $n_{\text{jobb}} = 450\,1/\text{min}$ fordulatszámon gördül. Mekkora a kiegyenlítőmű házának fordulatszáma? Ellenőrizze, hogy a nyomatékmegosztás egyenlő-e.

A képlet alapján:

$$n_{\text{be}} = \frac{n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}}}{2} = \frac{510 + 450}{2} = 480\,1/\text{min}.$$

A nyitott kiegyenlítőmű a nyomatékot egyenlően osztja, tehát $M_{\text{bal}} = M_{\text{jobb}} = M_{\text{be}}/2$, függetlenül a fordulatszám-különbségtől. Ez a példa mutatja, miért pörög ki könnyen az egyik kerék jégen: a másik csak ugyanakkora nyomatékot kap, ami nem elegendő a tapadáshoz.

Hibás példa. A szerelő a kardántengelyt úgy szereli vissza, hogy a csuklók hajlásszöge nem egyenlő, mert elhagyta a hátsó híd alátétjét. Az autó gyorsuláskor rezgést mutat. A rezgés oka a keresztszemes csukló szögsebesség-ingadozása; a megoldás a gyártói hajlásszög visszaállítása.

41.2.6. Minőségellenőrzés

A munkák után mindig ellenőrizni kell:

- **Csuklók holtjátéka:** a kardáncsukló kézzel, feszítve nem mutathat érezhető axiális vagy radiális játékot (ellenőrizendő: gyártói megengedett határérték, jellemzően $< 0{,}2$ mm).
- **Kiegyensúlyozottság:** a kardántengely kiegyensúlyozó súlyai meglétének, a cső deformációjának ellenőrzése; dinamikus kiegyensúlyozás gépen a gyártói egyensúlytalanság-tűrés szerint.
- **Hajlásszögek:** hajlásszögmérővel minden csuklónál, a gyártói szögértékekhez viszonyítva.
- **Porvédő harang:** repedés, szivárgás nélkül, megfelelően rögzített szorítóbilincs.
- **Olajszint és tömítettség:** axiális hajtómű olajszintje a gyártói alsó-felső jel között; lefolyató és szellőző szabad.
- **Próbaút:** terhelésváltáskor, kanyarban nincs rendellenes zaj vagy rezgés.

41.2.7. Gyakorlati útmutató

Javítási munkalap: féltengelycsukló porvédő harang cseréje

Cél: a külső Rzeppa-csukló sérült porvédő harangjának cseréje, a csukló tisztítása és újrazsírozása, majd a féltengely visszaszerelése.

Jármű- és adatazonosítás: az adott jármű típusa, rendszáma, futómű-kialakítása, gyártói nyomatékok és kenőanyag-specifikációk (ellenőrizendő: gyártói adat).

Szükséges szerszámok: kerékkulcs, emelő és biztosító bakok, nyomatékkulcs, csavarhúzó, fogó, hézagmérő, csiszolóvászon, tisztítókendő, új porvédő harang, kenőzsír (a csuklóhoz előírt típus), bilincs, új tengelyanya (ha előírt).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

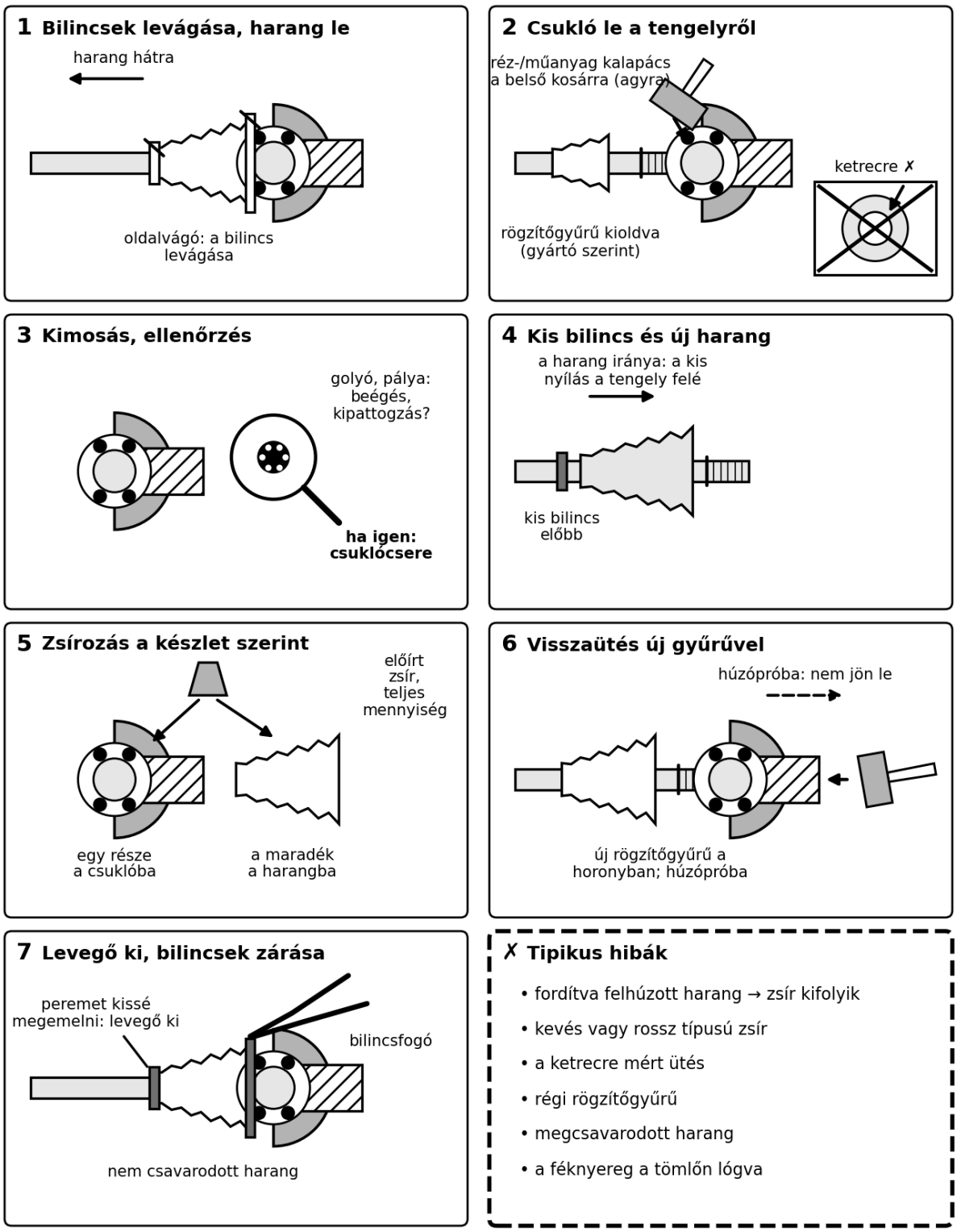
Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: viselj védőkesztyűt a forró alkatrészek és éles fémrészek miatt; a járművet emelőn emeld, és bakra támaszd, mielőtt alámennél; a kiürült kenőzsírt és a szennyezett rongyot tedd zárt, címkézett veszélyes hulladék gyűjtőbe; a régi porvédő harangot ne égesd el.

Munkalépések:

1. A jármű a földön áll, rögzítőfék behúzva, sebesség kapcsolva: lazítsd meg a kerékcsavarokat és a féltengely központi anyáját (a biztosítást előbb oldd ki). Ezután emeld a járművet, támaszd bakra, és szereld le a kereket.
2. Rögzítsd a féknyerget és a féktárcsát a gyártói módon, hogy ne lógjon a féktömlőn.
3. Válaszd le a felső gömbcsuklót vagy a lengőkart, hogy a kerékagy kihajtható legyen; kövesd a gyártói eljárást.
4. Húzd ki a féltengely külső csuklóját a kerékagyból; szükség esetén csúszó kalapáccsal, de a menetet védő kupakkal.
5. A belső csuklót is oldd a váltó felől a gyártói rögzítések oldásával; a féltengelyt óvatosan vedd ki.
6. Rögzítsd a féltengelyt satu puha pofái közé; a külső csuklót a gyártói pozíciójelölés szerint távolítsd el: ütközőre húzd, vagy a biztosító gyűrűt nyisd.
7. Tisztítsd meg a csukló alkatrészeit (golyók, kosár) oldószerrel, és vizsgáld meg kopás, berágódás vagy pitting szempontjából. Ha a csukló károsodott, a teljes csuklót cseréld.

8. Húzd fel az új porvédő harangot a tengelyre, töltsd meg a csuklót az előírt kenőzsírral (általában a zsír felét a csuklóba, felét a harangba), majd szereld össze a gyártói sorrendben.
9. Rögzítsd a harangot a szorító bilincsekkel a gyártói nyomatékkal; ellenőrizd, hogy a harang nem csavarodott-e.
10. Helyezd vissza a féltengelyt, és húzd meg a csavarokat. Új központi anyát használj, ha a gyártó előírja; az anyát az agy rögzítésével vagy a földre engedett, fékezett járművön húzd meg a gyártói nyomatékra (példa 180–240 Nm, ellenőrizendő), majd biztosítsd.
11. Szereld vissza a kereket, engedd le a járművet, és végezz próbautat: kanyarban nem szabad kattogó hangot hallani.

A munkalap kézi műveleteit az alábbi képsor mutatja: a bilincsek levágása, a csukló lehúzása (a ketrecre ütni tilos), a csukló kimosása és ellenőrzése, az új kis bilincs és harang felhúzása, a zsír elosztása, a csukló visszaütése új rögzítőgyűrűvel és húzópróba, végül a levegő kiengedése és a bilincsek zárása. A HTML-változatban a képsor lépésenként lejátszható.



41.7. ábra. A féltengelycsukló porvédő harangjának cseréje hét lépésben és a tipikus hibák (sematikus vonalrajz)

Tipikus hibák:

- A porvédő harang rossz irányú felhúzása, ami a zsír kifolyásához vezet.
- A csukló nem megfelelő mennyiségű vagy rossz típusú zsírral történő feltöltése.

- A központi tengelyanya rossz nyomatékkal való meghúzása, ami kerékcsapágy-károsodást okoz.
- A féknyereg féktömlőn lógva hagyása, ami a csatlakozó sérüléséhez vezet.

41.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset: egy elsőkerék-hajtású ferdehátú autó tulajdonosa kanyarban kattogó, gyorsuláskor erősödő zajra panaszkodik. A szerelő a járművet emelőre teszi, és ellenőrzi a féltengelycsuklókat: a bal külső csukló porvédő harangja elszakadt, a zsír kiszóródott, a csukló fémfelülete korróziós kopást mutat. A belső oldal ép, a jobb oldal is jó. A diagnózis: a porvédő harang sérülése miatt a csukló tönkrement. A javítás a fenti munkalap szerint a teljes külső csukló cseréje új porvédő haranggal és kenőzsírral. A próbaút után a zaj megszűnt. A tanulság: a porvédő harang apró sérülését is azonnal javítani kell, mert a csukló cseréje sokkal drágább.

41.2.9. Tipikus hibák

1. **A kardántengelyt jelölés nélkül szerelik szét.** Ha a kiegyensúlyozott tengelyt elforgatva szerelik vissza az agyhoz vagy a hajtótárcsához, az egyensúlytalanság rezgést okoz. Helyes gyakorlat: szétszerelés előtt az összes csatlakozást (a tengely és a tárcsa viszonylagos helyzetét) lemosható festékkel vagy beütéssel megjelölni.
2. **A közbenső csapágy gumi bakot túl sokáig terhelve szerelik.** A felfüggesztő csavart a jármű saját tömegével terhelt állapotban kell meghúzni a gyártói nyomatékra; ha kiakasztott kerékkel húzzák meg, a gumi elcsavarodik, és a csapágy idő előtt tönkremegy.
3. **A kiegyenlítőmű holtjátékát nem a hajtóműházra szerelt állapotban mérik.** A helytelen mérés rossz beállításhoz és fogazati zajhoz vezet. Mindig a gyártói mérési ponton, a gyártói előfeszítéssel kell mérni, és a mért értékeket dokumentálni.
4. **A féltengelycsukló porvédőjét olcsó, nem a járműhöz előírt zsírral töltik.** A rossz kenőanyag magas hőmérsékleten elfolyik, a csukló kopni kezd. Csak a gyártói specifikációjú CS-zsírt szabad használni.
5. **A hajtóműolajat a megfelelő típus nélkül cserélik.** A hipoid hajtómű speciális fogfelületű kúpkerekei EP- (extra nyomású) adalékos olajat igényelnek; a téves töltés fogazati kopást okoz. Mindig a gyártói API-GL, SAE vagy gyári specifikációt kell követni.

41.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a nyitott kiegyenlítőmű mindig egyenlő nyomatékot juttat a két féltengelyre? Indokoljon!
2. Mi a szerepe a féltengely külső csuklójának, és miért nevezik állandó szögsebességűnek?
3. Miért kell a kardántengely csatlakozásait szétszerelés előtt megjelölni?
4. Milyen tünet alapján gyanakszunk kopott kardáncsuklóra? (Rövid válasz.)
5. Egy jármű kiegyenlítőművének bemenő fordulatszáma 600 1/min; a bal kerék 620 1/min, a jobb kerék 580 1/min. Helyesek-e ezek az értékek? Ellenőrizze a képlettel!
6. Miért tilos a féknyerget a féktömlőn lógva hagyni?

41.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Ismertesse röviden a Rzeppa-csukló és a kettős kardáncsukló közötti alapvető különbséget, és adja meg, melyiket hol alkalmazzák leggyakrabban.

2. feladat (A). Egy állandó szögsebességű csuklóval szerelt féltengelynél a motor fordulatszáma 3000 1/min, a váltó áttétele 4. fokozatban 1:1, a kiegyenlítőmű áttétele 3,9:1. Mekkora a féltengelyek fordulatszáma egyenesben?

3. feladat (B). A fenti jármű kanyarodik, a belső kerék 850 1/min, a külső kerék 950 1/min fordulattal forog. Mekkora a kiegyenlítőmű házának fordulatszáma? Mekkora a kardántengely (váltókimenet) fordulatszáma, ha a tengelyhajtás áttétele 3,9:1?

4. feladat (B). Sorolja fel a kardántengely le- és felszerelésének főbb lépéseit, figyelemmel a közbenső csapágy és a csuklók jelölésére.

5. feladat (C). Hibaanalízis: egy összkerékhajtású járműnél a középső differenciálból olajszivárgás látható, és az első tengely felőli oldalon a kardántengely csuklója kopott. Hogyan járna el a javítás során, figyelembe véve az összkerékhajtás sajátosságait?

6. feladat (D). Ügyfélpanasz: az autó 50–70 km/h sebességnél erős rezgést mutat, gyorsításkor és kiengedett gázpedállal is, de kanyarban nem kattog. A szerelő a kerekek kiegyensúlyozását találja jónak. Milyen hibára gyanakszik? Írja le a diagnosztikai lépéseket és a várható mérési eredményeket!

41.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igen, a nyitott kiegyenlítőmű mindig egyenlő nyomatékot oszt, függetlenül a fordulatszám-különbségtől, mert a bolygókerekek csak a fordulatszám-különbséget egyenlítik ki, a nyomatékot nem osztják egyenlőtlenül.
2. A külső csukló a keréknek a kormányzás miatti elfordulását engedi. Az állandó szögsebességű csukló (pl. Rzeppa) biztosítja, hogy a kerék fordulatszáma megegyezzen a hajtótengelyével, így a kerék fordulatszáma az elfordulási szögtől függetlenül egyenletes marad.
3. A kardántengely dinamikusan kiegyensúlyozott; a csatlakozások relatív helyzetének megváltoztatása a kiegyensúlyozottság elvesztését és új rezgések megjelenését okozza.
4. Gyorsításkor vagy lassításkor (terhelésváltáskor) egyenletesen jelentkező dübörgés vagy vibráció, amely a sebességgel arányosan erősödik.
5. Ellenőrzés: $n_{\text{be}} = \frac{620+580}{2} = 600\,1/\text{min}$. Igen, a képlet teljesül, az értékek helyesek.
6. Mert a féknyereg súlya a féktömlőt feszíti, ami belső sérülést, repedést vagy csatlakozó lazulást okozhat; fékhibához vezethet.

1. feladat (A). A Rzeppa-csukló golyós kialakítású, állandó szögsebességű, nagy szögkitérésre képes, ezért a féltengely kerék felőli oldalán használják. A kettős kardáncsukló két keresztszemes kardáncsuklóból áll, állandó szögsebességet csak akkor ad, ha a két csukló hajlásszöge egyenlő; gyakran a belső oldalon vagy régebbi elsőkerék-hajtásokon található.

2. feladat (A). A motor fordulatszáma 3000 1/min, váltó áttétele 1:1, tehát a váltó kimenő fordulatszáma 3000 1/min. A kiegyenlítőmű bemenő fordulatszáma: $n_{\text{be}} = \frac{3000}{3{,}9} = 769{,}2\,1/\text{min}$. Egyenesben a féltengelyek fordulatszáma megegyezik: $n_{\text{bal}} = n_{\text{jobb}} = 769{,}2\,1/\text{min}$.

3. feladat (B). A kiegyenlítőmű házának fordulatszáma: $n_{\text{be}} = \frac{850+950}{2} = 900\,1/\text{min}$. A váltó kimenő fordulatszáma: $n_{\text{váltó}} = n_{\text{be}} \cdot i_0 = 900 \cdot 3{,}9 = 3510\,1/\text{min}$.

4. feladat (B). A kardántengely leszerelése: először jelölni a csatlakozásokat, majd a csavarok oldása a hajtótárcsánál, a közbenső csapágy tartójának oldása, végül a tengely óvatos kiemelése. A felszerelés fordított sorrendben, a jelölések egyeztetésével, a gyártói meghúzási nyomatékokkal, a hajlásszögek ellenőrzésével, és a közbenső csapágy terhelt állapotban való rögzítésével.

5. feladat (C). Első lépés az összkerékhajtás típusának azonosítása (állandó, kapcsolható, automatikus). Az olajszivárgás forrásának felkutatása, majd a rendszer leürítése. A középső differenciál vagy osztómű kiszerelése, a szimmeringek és a csapágyak ellenőrzése, a kopott kardáncsukló cseréje. Visszaszerelés után az osztómű olajszintjének és a csuklók hajlásszögének ellenőrzése, végül próbaút. Különösen figyelni kell az összkerékhajtás vezérlésének kalibrálására, ha elektronikusan vezérelt rendszerről van szó.

6. feladat (D). A tünetek (állandó rezgés 50–70 km/h-nál, nem kanyarfüggő, kiegyensúlyozott kerekek) elsősorban kiegyensúlyozatlan vagy hajlott kardántengelyre, kopott kardáncsuklóra vagy tönkrement közbenső csapágyra utalnak. Diagnosztikai lépések: emelőn a járművet megemelve a kardántengelyt megforgatva ellenőrizni a radiális és axiális kifutást (mérőórával; gyártói tűrés, pl. $< 0{,}3$ mm), a csuklók játékát, a közbenső csapágy gumibakjának állapotát; a hajlásszögek mérése hajlásszögmérővel; szükség esetén a kardántengely kiegyensúlyozása gépen. A mérési eredmények alapján a hibás alkatrészt cserélni kell.

41.2.13. Rövid összefoglaló

A kardántengely, a féltengelycsuklók és a kiegyenlítőmű a hajtáslánc kritikus elemei, amelyek közvetítik a motor nyomatékát a kerekekhez, miközben lehetővé teszik a kormányzást, a futómű mozgását és a kanyarodást. A kardántengely a hosszirányú hajtásnál csuklókkal és csúszó csatlakozással viszi át a nyomatékot; hibái (kopott csukló, kiegyensúlyozatlanság, közbenső csapágy) vibrációt és zajt okoznak. A féltengelycsuklók (Rzeppa, kettős kardán, tripod) közül a külső mindig állandó szögsebességű; a porvédő harang sérülése csuklókárosodáshoz vezet. A kiegyenlítőmű fordulatszám- és nyomatékmegosztása: $n_{\text{be}} = (n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}})/2$, és nyitott kivitelnél $M_{\text{bal}} = M_{\text{jobb}} = M_{\text{be}}/2$. A differenciálzár és az önzáró típusok ezt módosítják. A javítás során a gyártói nyomatékok, hajlásszögek és olajspecifikációk betartása, a csatlakozások jelölése, a jármű biztonságos alátámasztása és a veszélyes hulladékok kezelése alapkövetelmény. A **továbbvitt eredmény**: a féltengely- és differenciáljavítás itt megismert módszereit a vizsgafelkészülés komplex hibakeresési és szerelési feladataiban alkalmazzuk.

41.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítások: kardántengely kiegyensúlyozás tűrései, hajlásszögek, meghúzási nyomatékok, tengelyanya, kardáncsukló, porvédő harang, kenőzsír-specifikáció, olajtípusok, holtjáték és hordkép beállítási adatok (ellenőrizendő: minden konkrét érték).
- Javítási kézikönyvek (pl. Autodata, gyári szervizinformációk) a féltengelycsuklók és kiegyenlítőművek típusairól, az azonosításról és a munkalépésekről (ellenőrizendő: gyártói adat).
- Összkerékhajtási rendszerek gyártói leírásai az osztómű és a középső differenciál olajcseréjéhez és kalibrálásához (ellenőrizendő: típusfüggő adatok).
- Munka- és környezetvédelmi előírások a fáradt olaj és kenőzsír hulladékkezelésére (ellenőrizendő: hatályos hazai rendeletek).

41.3. Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű

41.3.1. Motiváció

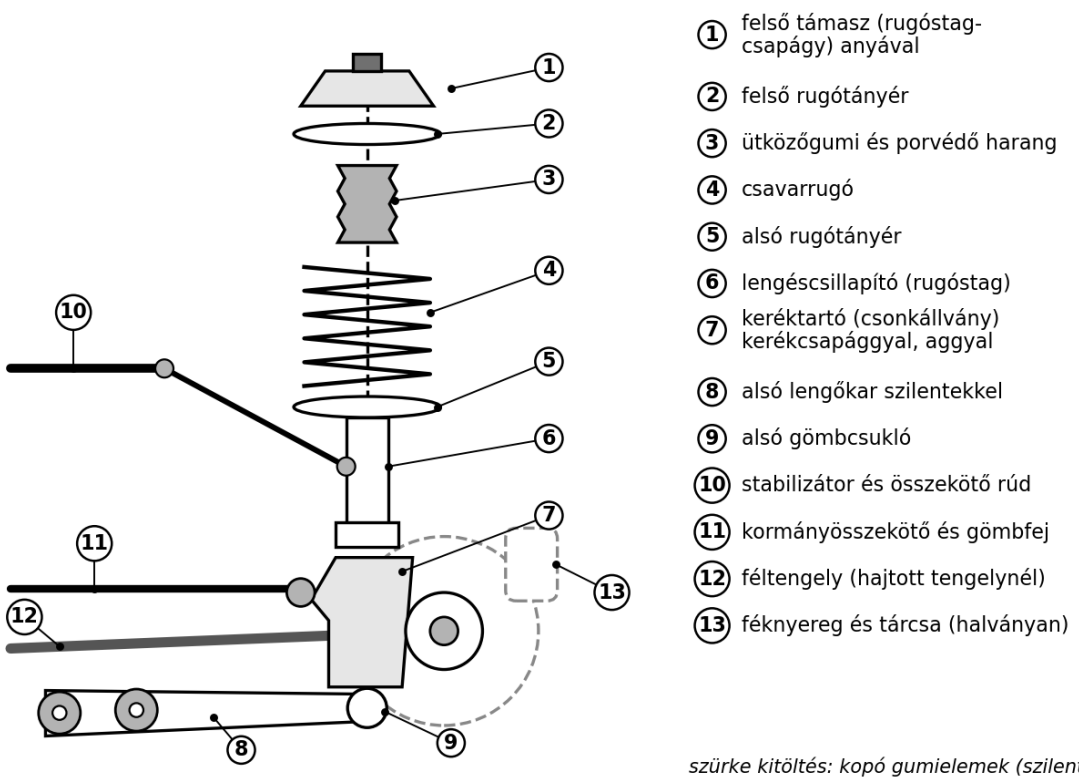
A műhelyben az egyik leggyakoribb ügyfélpanasz: „zörög az eleje rossz úton”, „remeg a kormány fékezéskor”, „búgó hang jön a kerék felől, és kanyarodáskor erősödik”. A tapasztalt szerelő ilyenkor nem tippel, hanem felemeli a járművet, megvizsgálja a futóművet, és alkatrészcsere előtt ellenőrzi a játékokat, a szilentek állapotát és a kormánymű bekötését. A futómű és kormány minden csavarja, gömbcsuklója, csapágya és rugója a jármű biztonságos úttartásához tartozik, ezért a szerelés pontossága, a helyes szerszámhasználat és a gyártói meghúzási sorrend nem választható el a hibafeltárástól.

Ez az alfejezet átfogóan bemutatja a kerékcsapágyak, lengőkarszilentek, gömbcsuklók, rugók, lengéscsillapítók és kormányművek ki- és beszerelését. A hangsúly a biztonságos munkavégzésen, a gyártói javítási adatok ellenőrzésén és a szerelés utáni futóműbemérésen van.

41.3.2. Szemléletes kép: McPherson első futómű szerelői nézetben

Képzeljünk el egy McPherson típusú első futóművet emelőn, leszerelt kerékkel. A kerékagy mögött a kerékfordulatszám-jeladó fogazott gyűrűje látható. A kerékcsapágy a kerékagyba integrált generációs egység, amelyet a kerékcsavarok rögzítenek a keréktartóhoz. A keréktartó alul egy gömbcsuklón keresztül az alsó lengőkarhoz kapcsolódik; a lengőkar belső vége két nagy szilentben ül a segédkeretben. A stabilizátor vége rövid összekötő rúddal csatlakozik a lengőkarhoz. A rugóstag (lengéscsillapító + csavarrugó) felső részén a felső rugóstagcsapágy, alul a keréktartóhoz rögzített, két csavaros bilincs található. A kormányösszekötő gömbfeje a keréktartóból kiálló kormánycsukló felé nyúlik, és kúpos illesztéssel rögzül.

Az alábbi robbantott ábra a leírt elemeket mutatja szerelői sorrendben: felül a rugóstag elemei (felső támasz, rugótányérok, ütközőgumi és porvédő harang, csavarrugó, lengéscsillapító), alatta a keréktartó a kerékcsapággyal, az alsó lengőkar a szilentekkel és a gömbcsuklóval, oldalt a stabilizátor összekötő rúdja, a kormányösszekötő és a féltengely; a féknyereg és a tárcsa halványan. A HTML-változatban az alkatrészek egyenként kiemelhetők, névvel és tipikus hibával.



41.8. ábra. McPherson első futómű robbantott ábrája szerelői nézetben (sematikus; a kialakítás típusonként eltér)

Ez a kép minden szerelési lépést meghatároz: a csapágyat a keréktartóból nyomjuk ki, a szilenteket a karral együtt cseréljük, a gömbcsukló kúpos csapjának anyáját a gyártói nyomatékra, új önzáró anyával húzzuk meg, a rugót csak megfelelő összehúzóval szereljük.

41.3.3. Futóműgeometria alapjai a szereléshez

A futóműszerelés célja nem csupán az alkatrészek kicserélése, hanem a kerékbeállítási jellemzők helyreállítása. A legfontosabb értékeket a Futóműbemérés alfejezet tárgyalja részletesen; itt csak a szerelés szempontjából kritikus összefüggéseket emeljük ki.

Definíció. A kerék összetartása (toe) a menetirányhoz viszonyított szögeltérés; a dőlésszög (camber) a kerék síkjának függőlegestől való eltérése; az utánfutás (castor) a kormánytengely előredőlése; a csapterpesztés a kormánytengely oldalra dőlése.

Szabály. Bármely futómű-alkatrész cseréje után, amely a kerék helyzetét, a keréktartót vagy a kormányösszekötőt érinti, futóműbemérést kell végezni, és a gyártó által előírt értékekre be kell állítani. Ilyen alkatrész a gömbcsukló, a lengőkar, a szilent, a kerékcsapágy, a rugó, a lengéscsillapító és a kormányösszekötő.

Számítási példa (összetartás). Ha a bal első kerék összetartása $+2{,}0\,\text{mm}$, a jobbé pedig $-1{,}5\,\text{mm}$, akkor az összes összetartás $+0{,}5\,\text{mm}$, ami személyautónál a gyártói tűrésen belül lehet (ellenőrizendő: a jármű specifikációja). A szerelő a beállítás előtt a kormányrudazat hosszát csak akkor módosíthatja, ha a kormányközép és a kormányszög-érzékelő nullpontja ismert.

Továbbvitt eredmény. A szerelés utáni geometria-ellenőrzés és a szilentek terhelt helyzetben történő meghúzásának szabálya a Próbavizsga és önértékelés alfejezetben, valamint a Gyakorlati vizsgafelkészülés alfejezetben a komplex szerelési feladatoknál tér vissza.

41.3.4. Kerékcsapágyak és kerékagy-csapágyazás

41.3.4.1. Felépítés és generációk

A kerékcsapágy a kerékagy és a keréktartó közötti gördülőkapcsolat. A személyautóknál leggyakrabban két ferdehatásvonalú golyóscsapágy van egy sorban, vagy egy egysorú, két golyókoszorús egység, amelyet a gyár már beállított hézaggal szerel.

Megjegyzés. A kerékcsapágyakat generációkba soroljuk: az 1. generáció egy különálló csapágyegység, amelyet a kerékagyba és a keréktartóba sajtolnak; a 2. generáció a csapágyat és a kerékagyat egy szerelt egységként tartalmazza; a 3. generáció a csapágy, a kerékagy és a kerékcsap- vagy csavarozható karimás egység; a 4. generáció a keréktartóba integrált, hajtókardánnal együtt szerelhető egység. A pontos típust a járműgyártó rajza alapján kell azonosítani (ellenőrizendő: gyártói rajz).

41.3.4.2. A kerékcsapágy ki- és beszerelése

A csapágycsere tipikus oka a búgó, zúgó zaj, amely kanyarodáskor a teher oldalán erősödik, illetve a kerék kézzel érezhető játéka. A méréshez a járművet biztonságosan felemeljük, a kereket megfogjuk függőleges és vízszintes irányban, és megnézzük a holtjátékot.

Figyelem. A jármű alatt csak mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn vagy bakon, a gyártói emelési pontokon dolgozzunk; kocsiemelővel megtámasztott jármű alá bemenni tilos. A csapágycsere során a kerékagyat soha ne hagyjuk a fékcsővezetéken függve.

Számítási példa (játék mérése). A kerékagyra felszerelt mérőóra 0,15 mm tengelyirányú elmozdulást mutat függőleges terhelésre; a gyártói határérték 0,05 mm (ellenőrizendő: gyártói adat). A mért érték a határérték háromszorosa, tehát a csapágy cserére szorul.

A ki- és beszerelés lépései:

1. Biztosítsuk a járművet emelőn, vegyük le a kereket, szereljük le a féknyerget és a féktárcsát a gyártói utasítás szerint. A féknyerget kötözzük fel, ne a fékcsövön lógjon.
2. Szereljük le a kerékfordulatszám-jeladót, a hajtókardánt vagy a tengelycsonkot rögzítő elemet, és a kerékcsapágy agy rögzítőcsavarjait.
3. A régi csapágyegységet megfelelő célszerszámmal, például csapágykinyomóval vagy hidraulikus préssel távolítsuk el. A központi anya oldása előtt ellenőrizzük a gyártói utasításban, hogy az anya biztosítja-e a csapágy előfeszítését (ellenőrizendő: típus).
4. Az új csapágyat csak a megfelelő tüskével, a külső gyűrűre ható erővel préseljük be; a golyókon vagy a belső gyűrűn átvitt erő tönkreteszi a csapágyat. A gyártói meghúzási nyomatékot és a szögletes utánhúzást pontosan be kell tartani.
5. Szereljük vissza a féktárcsát, a féknyerget, a jeladót és a kereket. Végezzünk próbaforgatást, ellenőrizzük a játékot és a fék működését.

Példa (meghúzási nyomaték). Egy 3. generációs kerékcsapágy központi anyája 230 Nm + 45° meghúzási értékkel rendelkezik (ellenőrizendő: gyártói adat). A szerelő először nyomatékkulccsal 230 Nm-re húz, majd szögmérővel tovább húzza 45°-kal. A régi anyát nem használja fel újra: új anyát szerel be, mert a gyártó egyszer használatos rögzítőt ír elő.

41.3.5. Lengőkarszilentek és gömbcsuklók cseréje

A lengőkar szilentje a felfüggesztés és a segédkeret közötti gumi-fém kapcsolat. Elhasználódása esetén repedezik, eltávolodik a fémháztól, és a kerék jobbra-balra mozog. A gömbcsukló a lengőkar és a keréktartó közötti gömbcsuklós kapcsolat, amely a kerék kormányzását és függőleges mozgását vezeti.

Definíció. A szilent (silent block) olyan gumi-fém elem, amely a lengőkart a segédkerethez vagy a karosszériához köti; a gumi csavaró rugózást és zajszigetelést biztosít, de csak addig, amíg a gumi és a fém kötése ép.

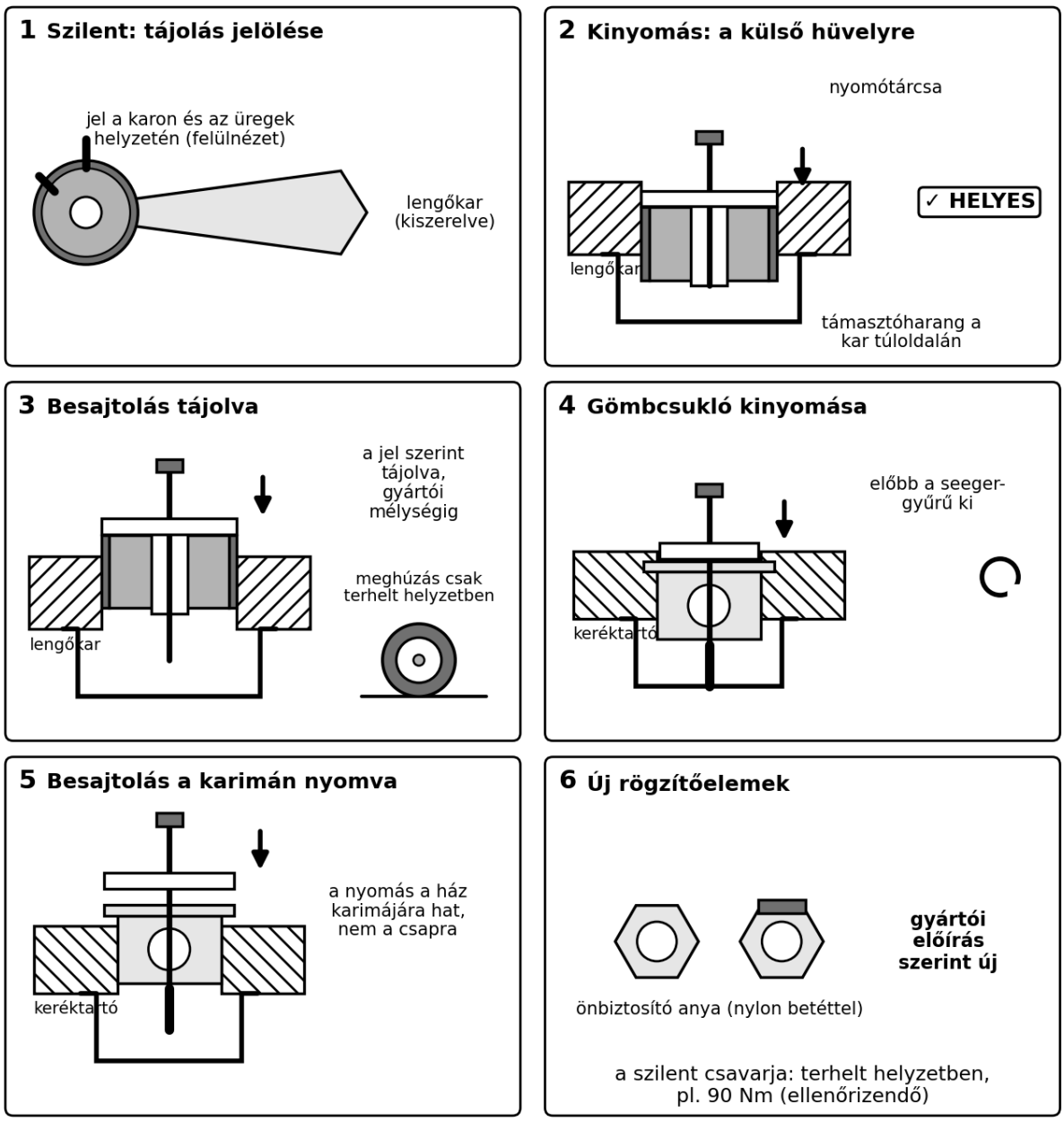
Szabály. A szilenteket (és ahol a gyártó előírja, a stabilizátor-összekötőt) a jármű önsúlyával **terhelt helyzetben** kell meghúzni, mert a gumi ilyenkor veszi fel a menethelyzetnek megfelelő csavarófeszültséget. Ha a szerelő felemelt keréknél húzza meg a csavart, a gumi előfeszített állapotban rögzül, és a lerakás után a szilent elcsavarodik, ami idő előtti tönkremenetelhez vezet. A gömbcsukló kúpos csapjának anyáját a gyártói nyomatékra, új önzáró anyával húzzuk meg; a golyós csukló szabadon elfordul, ezért terhelt helyzetet nem igényel.

Gyakorlat. A terhelt helyzet előállítása: a járművet emelőn, a kereket bakra vagy a felfüggesztési pontot terhelt pozícióba helyezzük, a csavarokat csak ezután húzzuk meg a gyártói nyomatékkal. A gyártói utasítás gyakran arra kéri a szerelőt, hogy a lengőkar csavarját akkor húzza meg, amikor a kerékagy a talajszinthez viszonyított normál magasságban van (ellenőrizendő: gyártói adat).

A gömbcsukló ellenőrzése: a jármű felemelt kerekénél a szerelő a kereket 6 és 12 óra pozícióban mozgatva a kerékcsapágy és az alsó gömbcsukló játékát ellenőrzi; 3 és 9 óra pozícióban a kormányösszekötő-gömbfej (és a kerékcsapágy) játékát lehet érezni. A gömbcsukló kúpos csapjának meglazulása kopogó hangot ad. A csukló leválasztásához használjunk gömbcsukló-leválasztót, ne kalapáccsal üssük a menetet.

Példa (szilentcsere). Az alsó lengőkar belső hátsó szilentje repedezett; a szerelő a kart kiszereli, hidraulikus préssel kinyomja a régi szilentet, az új szilent bepréselésekor a szilent házát megtámasztja, és a bepréselő tüskét úgy igazítja, hogy az erő ne a gumira hasson. A szilent csavarját csak a jármű lerakott, terhelt helyzetében húzza meg 90 Nm nyomatékkal (ellenőrizendő: gyártói adat).

A présszerszám helyes összeállítását az alábbi képsor mutatja: a nyomótárcsa a szilent külső hüvelyére nyom, a támasztóharang a kar túloldalán fogadja a kinyomott szilentet; az újat a jelölt tájolással, a gyártói mélységig sajtoljuk be. A gömbcsuklót a seegergyűrű eltávolítása után nyomjuk ki, és az újat a ház karimáján nyomva sajtoljuk be. A HTML-változatban a nyomás helyes és hibás helye gombbal váltható.



41.9. ábra. Szilent és gömbcsukló cseréje csavaros présszerszámmal (sematikus metszet; mélység és nyomaték gyártói adat, ellenőrizendő)

41.3.6. Rugózás: lap-, csavar-, torziós rugó, légrugó, stabilizátor

41.3.6.1. Típusok és szerelési sajátosságok

A felfüggesztő rugó a kerék útját követő rugózást, a lengéscsillapító a lengések csillapítását végzi. A leggyakoribb típusok:

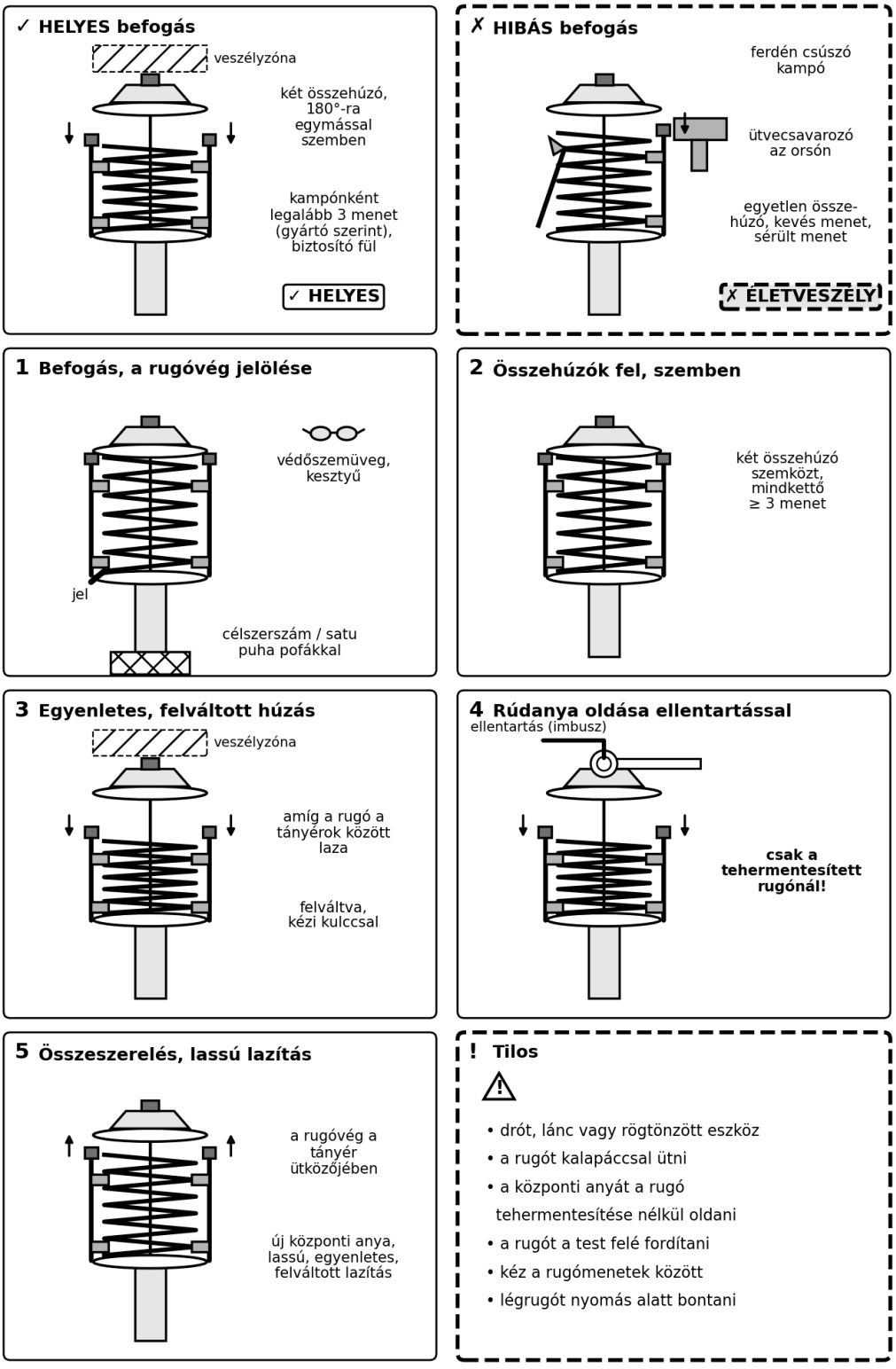
- **Csavarrugó:** a McPherson rugóstagokban és a kettős lengőkaros futóműveknél. A rugót a rugóstag összeszerelésekor előfeszítik, ezért a szétszereléshez rugóösszehúzót kell használni.
- **Laprugó:** haszongépjárműveknél, régi személyautóknál. A laprugó középpontja csapszeggel vagy csavaros bilinccsel rögzül; a csere a híd alátámasztásával jár.

- **Torziós rugó:** hosszú, csavarásra dolgozó acélrúd, amelyet a felfüggesztő karhoz rögzítenek. A csere előtt a rúd előfeszítését le kell venni (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Légrugó:** sűrített levegővel töltött, légtartályos vagy menetszabályzós rendszer. A szerelés előtt a rendszert nyomásmentesíteni kell a gyártói eljárás szerint; a légrugó sérült egységét tilos javítani, cserélni kell.
- **Stabilizátor:** csavaró rúd, amely a kanyarodáskor keletkező oldalirányú dőlést csökkenti. A stabilizátor összekötő rúdjai gyakori kopóalkatrészek; a cseréhez a csavarokat terhelt helyzetben kell meghúzni, ha a gyártó így írja elő.

Figyelem. A csavarrugó feszült állapotban nagy energiát tárol. A rugóstag szétszerelésekor kizárólag erre a célra tervezett, jó állapotú rugóösszehúzót használjunk. A rugóösszehúzó menetei és akasztói ne legyenek repedezettek, és a rugót egyenletesen, két oldalról húzzuk össze, amíg a rugóstag felső támasztéka tehermentesül. Soha ne irányítsuk az összehúzott rugót a testünk felé, és a kezünket ne tegyük a rugó menetei közé.

Tilos. A csavarrugót dróttal, lánccal vagy más rögtönzött eszközzel összehúzni; a rugót kalapáccsal ütni; a rugóstag központi anyáját a rugó tehermentesítése nélkül oldani; a légrugót nyomás alatt bontani vagy javítani.

A helyes és a hibás befogást, valamint a szétszerelés öt lépését az alábbi ábra mutatja: két rugóösszehúzó egymással szemben, mindkettő legalább három menetet fog át, felváltva és egyenletesen húzzuk; a dugattyúrúd anyáját csak a tehermentesített rugónál, ellentartással oldjuk. A veszélyzóna a rugó tengelyének irányában van. A HTML-változatban a helyes és a hibás befogás, illetve a lépések gombbal válthatók.



41.10. ábra. Rugóösszehúzó használata: helyes és hibás befogás, a rugóstag szét- és összeszerelésének öt lépése, tilalmak (sematikus vonalrajz)

Számítási példa (rugóerő). Egy csavarrugó rugóállandója $k = 25\,\mathrm{N/mm}$. Ha a rugót $s = 60\,\mathrm{mm}$ hosszal összenyomjuk, a rugóerő

$$F = k \cdot s = 25\,\mathrm{N/mm} \cdot 60\,\mathrm{mm} = 1500\,\mathrm{N}.$$

Ez az erő a rugóstag felső támaszán adódik át; a szerelőnek ezért a rugóösszehúzót ennek az erőnek megfelelő teherbírásúra kell választania, és a gyártó által megadott mértékig összehúzni.

41.3.6.2. A rugóstag cseréje lépésről lépésre

1. Emeljük és támasszuk alá a járművet, szereljük le a kereket.
2. Válasszuk le a jeladó vezetékét, a féktömlő tartóját, a stabilizátor-összekötőt és a keréktartót a rugóstagról.
3. Oldjuk a felső tartócsavarokat a csomagtérben vagy a motorháztető alatt, és vegyük ki a rugóstagot a járműből.
4. A rugóstagot célszerszámba fogva csatlakoztassuk a rugóösszehúzót a rugó meneteire, és húzzuk össze két oldalról, egyenletesen, amíg a felső támaszték tehermentesül; csak ezután oldjuk a rugóstag felső központi anyáját, vegyük le a felső támasztékot, a löketütközőt és a védőharmonikát.
5. Cseréljük a lengéscsillapítót vagy a rugót, szereljük vissza a támasztékot az új anyával, és fokozatosan eresszük le a rugóösszehúzót, ügyelve a rugó helyes ülésére.
6. Építsük vissza a rugóstagot a járműbe, rögzítsük a keréktartóhoz és a felső támaszhoz a gyártói nyomatékkal, szereljük vissza a többi alkatrészt.
7. Végezzünk futóműbemérést.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

41.3.7. Kormányművek és szervokormányok szerelése

41.3.7.1. Fogaskerekes és fogasléces kormányművek

A kormánymű a kormánykerék forgatását a kormányösszekötők lineáris mozgásává alakítja. A fogasléces kormányműben a kormánytengelyhez csatlakozó fogaskerék a fogaslécet tolja, a kormányösszekötő gömbfejek a keréktartóra hatnak. A hidraulikus, elektrohidraulikus és elektromechanikus szervokormányok felépítését és működését a Szervokormányok alfejezet tárgyalja.

A kormánymű szét- és összeszerelése során a következőket kell ellenőrizni:

- a fogasléc és a fogaskerék fogainak kopását, repedését;
- a fogasléc tömítéseit és az olajszivárgást;
- a kormányösszekötő gömbfejek játékát;
- a hidraulikus rendszer csatlakozóit, a szervohűtőt és a szivattyút;
- az elektromos rásegítésnél a kormányoszlop vagy a kormányfogaskerék villanymotorját, csatlakozóit és a nyomatékérzékelőt.

Szabály. A kormánymű kiemelése előtt a kormányt középállásba kell állítani, és a kormánytengelyt rögzíteni kell; a kormánykerék elfordulását úgy kell megakadályozni, hogy közben a légzsák óragyűrűje ne sérüljön. A kormánymű beépítése után a kormányközepet, az összetartást és a kormányszög-érzékelőt kalibrálni kell.

Példa (fogasléces kormánymű szivárgás). A hidraulikus szervokormány olaja a fűtött garázsban napok alatt csökken; a szerelő megkeresi a szivárgást a fogasléc porvédő harmonikájánál. A gyártói javítási utasítás szerint a tömítéscsomag cseréje a kormánymű szétszerelését igényli; a szerelő a fogaslécet tiszta, olajozott felülettel, új tömítőgyűrűkkel és a gyártói meghúzási sorrenddel szereli vissza, majd a hidraulikát légteleníti.

41.3.7.2. Elektromechanikus szervokormány (EPS) és kalibrálás

Az elektromechanikus szervokormány nem használ hidraulikaolajat; a rásegítést villanymotor adja. A nyomaték- és kormányszög-érzékelő jeleit a vezérlőegység dolgozza fel. Az EPS javítása után, illetve az akkumulátor leválasztása vagy a kormányösszekötő csere után a kormányszög-érzékelő nullpontját rendszerteszterrel kalibrálni kell.

Eljárás (EPS kalibrálás). 1. Ellenőrizze, hogy a kormány középállásban van, és a kerekek egyenesen állnak; 2. kapcsolja be a gyújtást, de ne indítsa a motort; 3. csatlakoztassa a rendszertesztert, válassza ki a kormányrásegítés vezérlőegységét; 4. futtassa le a kormányszög-nullpont tanítást a gyártói menü szerint; 5. forgassa a kormányt lassan balra és jobbra a végállásokig, majd középre; 6. erősítse meg a tanítást, majd végezzen próbautat, és ellenőrizze a hibakódokat.

Megjegyzés. Az EPS-ben a kormányszög-érzékelő jele az ESP és a vezetőtámogató rendszerek számára is szükséges; kalibrálás nélkül a menetstabilizáló hibás beavatkozást végezhet (részletek a Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk alfejezetben).

41.3.7.3. Összkerék-kormányzás

Az összkerék-kormányzású járműveknél a hátsó kerekeket egy kiegészítő kormánymű, gyakran elektromechanikus egység mozgatja. Kis sebességnél a hátsó kerekek az elsővel ellentétes, nagy sebességnél azonos irányba fordulnak. A hátsó kormánymű szerelése után a hátsó kormányközepet is kalibrálni kell, és a rendszert a gyártói eljárással össze kell hangolni (ellenőrizendő: típusfüggő). Ezért az ilyen járművek futóműmunkáit csak a megfelelő diagnosztikai eszközzel és gyártói adatbázissal szabad végezni.

41.3.8. Gyakorlati útmutató: McPherson rugóstag cseréje

Cél: Rugóstag (lengéscsillapító és csavarrugó egység) cseréje, a szerelői munka biztonságos elvégzése és a futóműgeometria ellenőrzése.

Jármű- és adatazonosítás: rögzítse az alvázszámot, a jármű típusát, a rugóstag cikkszámát és a gyártói javítási adatokat (meghúzási nyomatékok, rugóösszehúzó típusa, kerékbeállítási értékek).

Szükséges szerszámok, célszerszámok, mérőeszközök, anyagok: emelő vagy kocsiemelő, bakok, kerékcsavarkulcs, nyomatékkulcs, rugóösszehúzó készlet, gömbcsukló-leválasztó, nyomatékmérő, mérőóra, féknyereg-leszerelő, új rögzítőelemek (anya, csavarok) a gyártói előírás szerint, féknyereg-felfüggesztő kampó, zsírtalanító, rongyok, gyűjtőedény a hidraulikaolajhoz, ha szükséges.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések: viseljen védőkesztyűt és védőszemüveget; a jármű alá csak mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn vagy bakon szabad bemenni, a kocsiemelőt ne használja megtámasztásra; a féknyerget ne hagyja a fékcsövön függni; a kiömlött olajat, fékfolyadékot vegyítés nélkül gyűjtse be, és veszélyes hulladékként kezelje.

Számozott munkalépések:

1. Lazítsa meg a kerékcsavarokat, emelje fel a járművet, támassza alá, szerelje le a kereket.

2. Szerelje le a féknyerget és a féktárcsát a gyártói utasítás szerint; a féknyerget kampóval rögzítse.
3. Szerelje le a stabilizátor összekötő rúdját és a kormányösszekötő gömbfejet megfelelő leválasztóval.
4. Szerelje le az alsó gömbcsuklót rögzítő csavarokat, és válassza le a rugóstagot a keréktartóról.
5. Lazítsa meg a rugóstag felső tartócsavarjait a motortérben, és vegye ki a rugóstagot.
6. Helyezze a rugóstagot a gyártói célszerszámba, csatlakoztassa a rugóösszehúzót a rugó meneteire, és húzza össze, amíg a felső támaszték tehermentesül.
7. Oldja a felső központi anyát, vegye le a támasztékot, a löketütközőt és a védőharmonikát.
8. Cserélje a hibás lengéscsillapítót vagy rugót; az új rugó színkódját és ülését ellenőrizze.
9. Szerelje vissza a támasztékot új központi anyával, a gyártói nyomatékkal, majd fokozatosan engedje le a rugóösszehúzót.
10. Helyezze vissza a rugóstagot, húzza meg a felső és alsó rögzítéseket a gyártói nyomatékkal.
11. Szerelje vissza a gömbcsuklót, a stabilizátor rudat, a kormányösszekötőt, a féktárcsát és a féknyerget.
12. Szerelje vissza a kereket, engedje le a járművet, húzza meg a kerékcsavarokat a gyártói nyomatékkal.
13. Végezzen futóműbemérést, és ha szükséges, kalibrálja a kormányszög-érzékelőt.

Ellenőrzési pontok: a rugó helyes ülése a rugóstagon; a központi anya meghúzási nyomatéka; a féknyereg és a jeladó visszaszerelése; a kerékbeállítási értékek a gyártói tűrésen belül.

Dokumentálás: munkalapon rögzítse a beszerelt alkatrészeket, a meghúzási nyomatékokat, a kerékbeállítási jegyzőkönyvet és a próbauta eredményét.

41.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ötéves, elöl hajtós személyautó ügyfele arra panaszkodik, hogy „rossz úton zörög az eleje, és a kormány remeg fékezéskor”. A szerelő először felemeli a járművet, és kézzel ellenőrzi a kerekek játékát: a bal első kerék 12 és 6 óra pozícióban érezhetően mozog (a segítő a fékpedált nyomva tartja, a játék megmarad), és a gömbcsukló kúpos csapjánál játék mutatkozik. A mérőóra a kerékcsapágynál nem mutat határérték feletti axiális játékot, de a lengőkar hátsó szilentje repedezett. A szerelő kicseréli az alsó lengőkart és a gömbcsuklót, a szilentek csavarjait a jármű lerakott, terhelt helyzetében, a gömbcsukló anyáját a gyártói nyomatékkal húzza meg. Ezután futóműbemérést végez, és próbaután ellenőrzi, hogy a zörgés és a kormányremegés megszűnt-e. Az eset tanulsága: a tünet mögött több kopott alkatrész is állhat, ezért mindig a járművet egészben kell megvizsgálni, nem csupán a panasz szerinti oldalt.

41.3.10. Hibakeresési lánc

- **Tünet:** búgó zaj a kerék felől, kanyarodáskor erősödik.
- **Lehetséges okok:** kerékcsapágy kopott; gumiabroncs fűrészfogazott; a kerékcsapágy előfeszítése hibás.
- **Mérés/vizsgálat:** a jármű felemelve, a kerék forgatása közben a szerelő a kerékcsapágy zaját szakaszosan hallja; tengelyirányú játék mérőórával; a gumifutófelület vizsgálata. A mért játék 0,18 mm, a határérték 0,05 mm (ellenőrizendő: gyártói adat).
- **Ok:** a kerékcsapágy kopott.
- **Javítás:** kerékcsapágy csere a fent leírt lépések szerint, új központi anyával, gyártói meghúzási nyomatékkal.
- **Ellenőrzés:** próbaután a zaj megszűnik, a játék a határérték alatti.
- **Megelőzés:** rendszeres időszakos vizsgálat, a kerékcsavarok és a csapágyjáték ellenőrzése.

41.3.11. Tipikus hibák

Hiba 1: A szerelő a rugóstag szétszerelésekor leengedi a rugóösszehúzót, mielőtt a felső támasztékot eltávolítaná, vagy a rugót csak egy oldalról húzza össze. A rugó kiugorhat, és súlyos sérülést okozhat. **Helyes:** mindig két jó állapotú, ellenőrzött rugóösszehúzót használjunk, egyenletesen húzzuk össze, és a rugó tehermentesítése után oldjuk a felső anyát.

Hiba 2: A szilentek csavarjait felemelt, kinyújtott felfüggesztés mellett húzzák meg. A gumi csavarófeszültséggel rögzül, és a jármű lerakása után a szilent elcsavarodik, ami idő előtti repedéshez és zörgéshez vezet. **Helyes:** a járművet terhelt helyzetbe kell állítani, és a csavarokat csak ezután meghúzni.

Hiba 3: A szerelő a gömbcsukló kúpos csapját kalapáccsal üti ki, ami a menet sérülését és a csukló tönkremenetelét okozza. **Helyes:** használjon gömbcsukló-leválasztót vagy megfelelő célszerszámot, és új önzáró anyát használjon.

Hiba 4: Az EPS-es járműveknél a szerelő a kormányközép és a kormányszög-érzékelő kalibrálása nélkül adja vissza a járművet. A menetstabilizáló hibás jelet kap, és a kormány rásegítése is eltérhet. **Helyes:** minden kormányösszekötő- vagy kormánymű-szerelés után végezzen kormányszög-nullpont tanítást és futóműbemérést.

41.3.12. Önellenőrzés

1. Miért kell a szilentek csavarjait terhelt helyzetben meghúzni?

2. Mi a helyes sorrend a rugóstag felső központi anyájának oldásakor?

3. Melyik alkatrész kopása okozhat búgó zajt kanyarodáskor?

4. Mi a teendő, ha a mért kerékcsapágy-játék 0,20 mm, a gyártói határérték pedig 0,05 mm?

5. Miért tilos a kocsiemelővel megtámasztott jármű alá bemenni?

41.3.13. Feladatok

1. feladat (A)
Sorolja fel a kerékcsapágy-csere fő lépéseit, és indokolja, miért nem szabad a csapágyat a golyókon át bepréselni.

2. feladat (A)
Egy csavarrugó rugóállandója 30 N/mm. Mennyi erő ébred, ha a rugót 80 mm-rel összenyomják?

3. feladat (B)
Egy lengőkar hátsó szilentjének csavarját 80 Nm + 90° meghúzási értékkel írja elő a gyártó (ellenőrizendő). Írja le a meghúzás lépéseit, és azt, hogy miért kell a szilent csavarját terhelt helyzetben húzni.

4. feladat (B)
Egy EPS-sel szerelt járművön kicserélték a bal oldali kormányösszekötő gömbfejet. A szerelő szerint „csak a kormányközép beállítása hiányzik”. Mi a helyes eljárás? Fogalmazzon meg legalább három lépést.

5. feladat (C)
Adott egy McPherson rugóstag: a rugó előfeszített hossza 280 mm, a tehermentes hossza 340 mm.

A rugóállandó 20 N/mm. Számítsa ki, mekkora erő tárolódik a rugóban a beépített, előfeszített helyzetben. Miért veszélyes ez az erő a szerelőre, ha nem használ rugóösszehúzót?

6. feladat (D)
Egy ügyfél panasza: „az autó orra fékezéskor jobbra húz, és a bal első keréknél csattanás hallatszik rossz úton”. Írja le a vizsgálati sorrendet, a lehetséges hibákat, és adja meg a javítás utáni ellenőrzési lépéseket.

41.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Mert a jármű terhelt helyzetében a szilent gumija a menethelyzetnek megfelelő csavarófeszültséget veszi fel; ha felemelt keréknél húzzák meg, a gumi előfeszített állapotban rögzül, és idő előtt tönkremegy.

2. Először a járművet felemeljük, a féknyerget és a keréktartót leszereljük, a rugóstagot kiszereljük, majd a rugóösszehúzóval a rugót addig húzzuk össze, amíg a felső támaszték tehermentesül; csak ezután oldjuk a felső központi anyát.

3. A kerékcsapágy kopása okozhat búgó zajt, amely kanyarodáskor a teher oldalán erősödik.

4. A csapágy kopott, cserélni kell.

5. Mert a kocsiemelő instabil, a jármű lecsúszhat, ami súlyos, akár halálos balesetet okoz; a jármű alá csak biztonsági bakkal vagy mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn álló jármű alatt szabad bemenni.

1. feladat (A)
A kerékcsapágy-csere fő lépései: (1) jármű biztonságos emelése és alátámasztása; (2) kerék, féknyereg, féktárcsa és jeladó leszerelése; (3) a hajtókardán vagy rögzítő elemek eltávolítása; (4) a régi csapágy kinyomása célszerszámmal; (5) az új csapágy bepréselése a megfelelő tüskével, a külső gyűrűre ható erővel; (6) a központi anya meghúzása a gyártói nyomatékkal és szögértékkel; (7) visszaszerelés, próbauta. A golyókon át vitt erő tönkreteszi a gördülőpályákat, ezért a préselő erőt csak a megfelelő gyűrűre szabad irányítani.

2. feladat (A)

$$F = k \cdot s = 30\,\text{N/mm} \cdot 80\,\text{mm} = 2400\,\text{N}.$$

Az erő 2,4 kN. Ezért a rugóösszehúzónak legalább ekkora erőt biztonsággal kell tartania.

3. feladat (B)
A meghúzás lépései: (1) a járművet terhelt helyzetbe állítjuk; (2) a csavart először 80 Nm nyomatékkal meghúzzuk nyomatékkulccsal; (3) ezután szögmérővel további 90° szöggel utánhúzzuk; (4) a régi csavart nem használjuk fel újra, ha a gyártó előírja; új csavart szerelünk be. A terhelt helyzet azért szükséges, mert a szilent gumija így veszi fel a menethelyzetnek megfelelő csavarófeszültséget; kinyújtott felfüggesztés mellett a gumi előfeszített állapotban rögzül, és elcsavarodik.

4. feladat (B)
A helyes eljárás: (1) a kormányt középállásba állítjuk, a kerekek egyenesen állnak; (2) a rendszerteszterrel elvégezzük a kormányszög-érzékelő nullpont tanítását; (3) a futóműbemérést elvégezzük,

az összetartást beállítjuk; (4) próbautat teszünk, és ellenőrizzük a hibakódokat. A kormányközép beállítása önmagában nem elegendő, mert az EPS és az ESP vezérlők a kormányszög-érzékelő pontos nullpontját igénylik.

5. feladat (C)
A rugó előfeszített hossza $s_{\text{elő}} = 340\,\text{mm} - 280\,\text{mm} = 60\,\text{mm}$.

$$F = k \cdot s = 20\,\text{N/mm} \cdot 60\,\text{mm} = 1200\,\text{N}.$$

A rugóban tárolt erő 1,2 kN. Ez az erő hirtelen felszabadulva súlyos sérülést okozhat: a rugó vagy a támaszték nagy sebességgel kirepülhet, ezért a szétszereléshez rugóösszehúzó szükséges, amely az erőt fokozatosan leveszi.

6. feladat (D)
Vizsgálati sorrend: (1) emelje fel a járművet, támassza alá; (2) ellenőrizze a bal első kerék játékát 6–12 óra (kerékcsapágy), 3–9 óra (kormányösszekötő-gömbfej, esetleg kerékcsapágy) irányban; (3) vizsgálja a féknyerget, a fékbetéteket és a féktárcsát; (4) ellenőrizze a lengőkar szilentjeit és a gömbcsuklót. A jobbra húzás oka lehet: a jobb oldal erősebb fékhatása (pl. a bal oldali féknyereg dugattyúja vagy vezetőcsapja beragadt, ezért a bal oldal gyengén fékez; a bal betét olajos vagy üveges), a bal első futómű kopott szilentje vagy gömbcsuklója miatt fékezéskor elmozduló kerék (geometriaváltozás), illetve hibás futóműgeometria. A csattanás oka valószínűleg kopott gömbcsukló vagy szilent. Javítás után: a féket légtelenítik, a kopott alkatrészeket cserélik, a futóműbemérést elvégzik, és próbauta során ellenőrzik a húzás és zaj megszűnését.

41.3.15. Rövid összefoglaló

A futómű és kormány szerelésekor a biztonságos emelés, a gyártói meghúzási nyomatékok és a terhelt helyzetben történő meghúzás a legfontosabb szabály. A kerékcsapágyat csak a külső gyűrűre ható célszerszámmal szabad bepréselni; a golyókon átvitt erő tönkreteszi a csapágyat. A lengőkar szilentjeit a jármű önsúlyával terhelt helyzetben kell meghúzni, a gömbcsukló anyáját a gyártói nyomatékkal, mert így a gumi a menethelyzetnek megfelelő csavarófeszültséget kapja. A csavarrugó feszült állapota nagy energiát tárol, ezért a rugóstag szétszereléséhez kizárólag ellenőrzött rugóösszehúzót használjunk; a rugót dróttal összehúzni tilos. A kormányművek szerelése után a kormányközepet, a futóműbemérést és az EPS kormányszög-érzékelő nullpontját kalibrálni kell. A hidraulikus és légrugós rendszereket a gyártói utasítás szerint, nyomásmentesítve kell bontani. Minden számszerű gyártói érték – meghúzási nyomaték, szög, játék, nyomás – tanulási példa, a javítás előtt a gyártói adatbázisban ellenőrizendő.

Továbbvitt eredmény. A futómű- és kormányszerelés során megismert sorrendek, a terhelt helyzetben meghúzás, a rugóösszehúzó használata és a kalibrálási kötelezettség az Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben, valamint a Próbavizsga és önértékelés alfejezetben a vizsgafelkészülés alapját képezik.

41.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt működési elvek, szerelési sorrendek és tipikus hibák általános járműszerkezettani és javítástechnológiai ismeretek. Ellenőrizendők a gyártói javítási adatoknál a kerékcsapágy-generációk, a meghúzási nyomatékok és szögértékek, a szilentek és gömbcsuklók terhelt helyzetben történő meghúzási előírásai, a rugóösszehúzó típusa, a rugóstag felső központi anya nyomatéka, a kerékcsapágy játék határértéke, a hidraulikus és elektromechanikus kormányművek tömítései, az

EPS kalibrálási eljárás és az összkerék-kormányzás beállítása. A futóműbemérésre vonatkozó jogszabályi és vizsgálati értékeket a Futóműbemérés alfejezet tárgyalja.

41.4. Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB

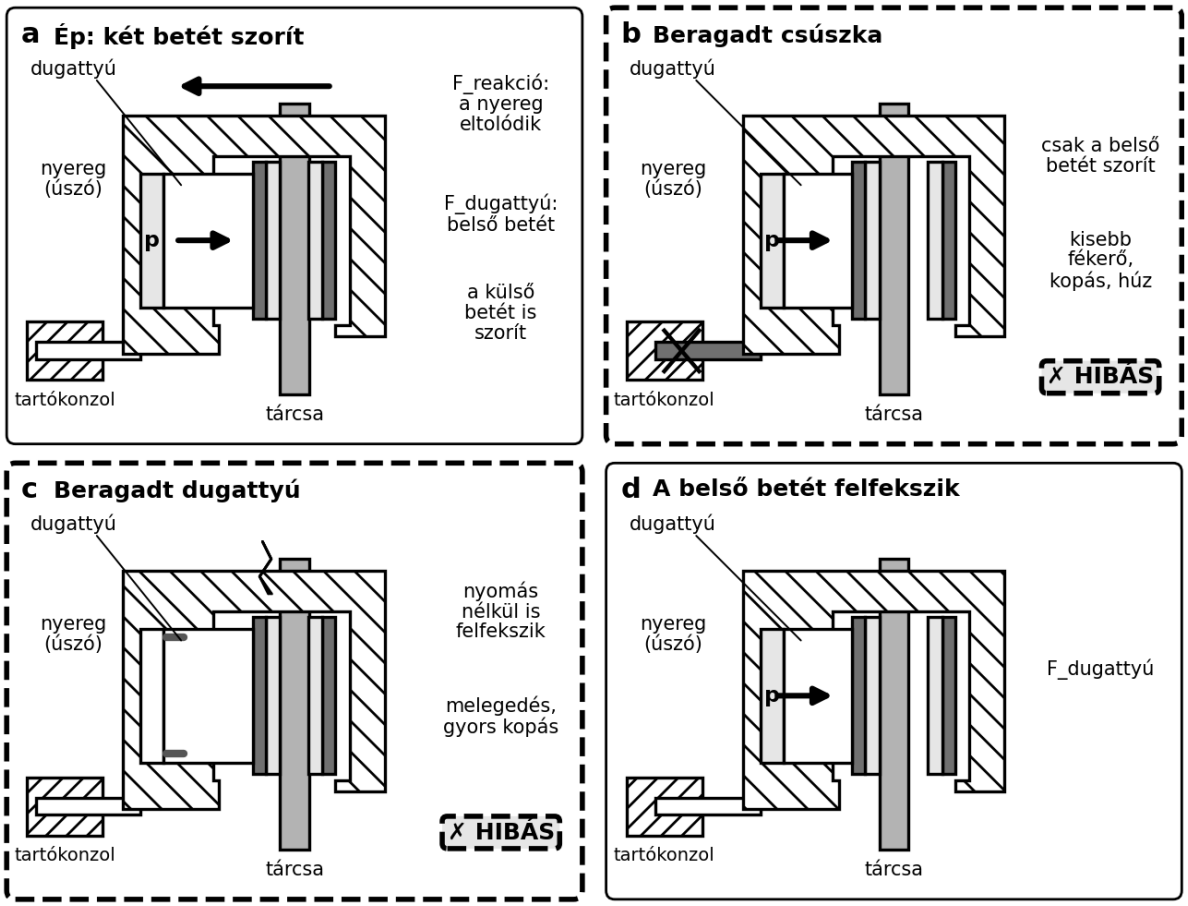
41.4.1. Motiváció

Egy ügyfél azzal érkezik a műhelybe, hogy az autó fékezéskor balra húz, a fékpedál pulzál, a fékút pedig megnőtt. A szervizben az ilyen panaszok többnyire a kerékfékek kopásához, elferdültségéhez vagy a hidraulikus rendszer levegősségéhez vezethetők vissza. A hibás fékjavítás nemcsak a vizsgán való megfelelést veszélyezteti, hanem közvetlen közlekedésbiztonsági kockázat is. Ebben az alfejezetben lépésről lépésre végigmegyünk a tárcsafék betét- és tárcsacseréjén, a dobfék javításán, a főfékhenger és a csővezetékek ellenőrzésén, a légtelenítésen, valamint az ABS-, EPB- és ESP-rendszerek szerelésén, és megtanuljuk a javítás utáni fékhatásmérést is.

41.4.2. Szemléletes kép

Álljunk egy szétbontott úszónyerges tárcsafék elé. A kerékagyra erősített féktárcsa a kerékcsapággyal együtt forog. A féknyereg mint egy C alakú konzol fogja át a tárcsa külső peremét; egyetlen dugattyú képes a nyerget a csúszkák mentén eltolni, így a belső betét a tárcsához szorul, a nyereg reakcióereje pedig a külső betétet is odanyomja. A betétek súrlódó anyagból és hátlemezből állnak, kopásjelzőjük fémes hangot ad vagy elektromos szakadást okoz. A dobféken a fékdob belsejében két fékpofa van, és a fékhenger hidraulikus nyomása a pofákat a dob belső felületéhez nyomja; az utánállító a kopást kompenzálja. A főfékhengerből kiinduló fékkörök kétkörös rendszerben, átlós vagy első-hátsó felosztásban vezetnek el a kerékfékekhez.

Az alábbi ábra felülnézeti metszetben mutatja az erőjátékot: (a) ép nyeregnél a dugattyú a belső betétet nyomja, a reakcióerő a nyerget a vezetőcsapokon eltolja, így a külső betét is szorít; (b) beragadt csúszkánál csak a belső betét szorít, a fékerő kisebb, a kopás egyenlőtlen, a jármű húz; (c) beragadt dugattyúnál a betét nyomás nélkül is a tárcsán marad, a fék melegszik és gyorsan kopik; (d) a nyomás felépülésének egy pillanata. A HTML-változatban az állapotok gombbal válthatók, a nyomás felépülése lépésenként lejátszható.



41.11. ábra. Az úszónyerges tárcsafék erőjátéka ép állapotban (a), beragadt csúszkával (b) és beragadt dugattyúval (c); (d) a belső betét felfekszik, mielőtt a nyereg eltolódna (sematikus, a hézagok túlzottak)

41.4.3. Fékjavítás alapfogalmak és biztonsági keret

Definíció. A fékjavítás során a betét, a tárcsa, a dob, a féknyereg, a fékhenger, a tömlő és a fékfolyadék állapotát a gyártói kopási határokhoz és beállítási adatokhoz kell hasonlítani. A gyártó minden alkatrészhez megadja az **új állapot** és a **minimális vastagság/üzemképesség** értékét, valamint a szerelési nyomatékokat. A javítás akkor szakszerű, ha a biztonsági alkatrészeket a gyártó szerint, előírt célszerszámokkal és a megadott új rögzítőelemekkel szereljük vissza.

Szabály. A fékrendszer biztonsági berendezés. Minden munkát a gyártói javítási utasítás szerint, megfelelő képzettséggel és a jármű biztonságos alátámasztásával kell végezni. A fékrendszeren, ABS/ESP egységen, légzsákrendszeren vagy a fék- és menetbiztonsági elektronika összefüggő rendszerén csak az arra feljogosított személy dolgozhat.

Előírás. Az ENSZ-EGB fékre vonatkozó előírásai (személygépkocsiknál a 13-H, haszonjárműveknél a 13. előírás) határozzák meg a fékberendezés követelményeit; a hazai hatósági műszaki vizsga a hatályos 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet szerinti fékhatásmérést és műszaki állapotvizsgálatot követeli meg. **(ellenőrizendő: a pontos rendeletszám és az előírás hatályos változata)**

Figyelem. A fékpor belélegzése káros az egészségre. Régebbi járműveken azbesztet is tartalmazhat, ezért **tilos** sűrített levegővel lefújni a féket; a port nedves ronggyal vagy fékportól elszívó

rendszerrel kell eltávolítani, és megfelelő légzésvédőt kell viselni. A fékfolyadék maró hatású, festéket oldhat, bőrre kerülve bőrgyulladást okoz, ezért nitril védőkesztyű és védőszemüveg szükséges. A kiömlött fékfolyadékot azonnal fel kell itatni, és veszélyes hulladékként kell gyűjteni.

Környezetvédelem. A fáradt olajhoz, a fékfolyadékhoz, az olajos rongyhoz és a fékporhoz egyaránt műszaki adatlap és veszélyes hulladék-minősítés tartozik. A fékfolyadékot a gyűjtőedénybe kell engedni, sem a talajba, sem a csatornába **nem** kerülhet; a csomagolást és a kopott alkatrészeket a veszélyes hulladék nyilvántartás szerint kell leadni. A fékfolyadék tárolása szigorúan lezárt, jelölt edényben történik, mert nedvességet köt meg, és higroszkópos (nedvszívó) tulajdonsága miatt a forráspontja lecsökken. **(ellenőrizendő: a hatályos hulladékjogi előírások)**

41.4.4. Kerékfékek javítása: dobfék, tárcsafék

Feladat → felépítés → működés → hiba → ellenőrzés/javítás.

Dobfék. A dobfék előnye a zárt, önerősítő kialakítás, ezért gyakran a hátsó tengelyen, illetve rögzítőfék-mechanizmussal egybeépítve találjuk. A fékdobot a kerékagyhoz csavarozzák; a fékpofák a tartólemezre szerelt fékhenger és a rögzítőcsapok körül mozognak. A dob belső átmérője a kopással nő, ezért ellenőrizni kell a **maximális megengedett belső átmérőt** és az **ellipszicitást**. A fékpofák minimális súrlódóbetét-vastagsága tipikusan 1,5–2,0 mm tanulási példa **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. A dobfék javításánál ügyelni kell az utánállító szerkezet működésére, a fékhenger porvédőjének állapotára, és arra, hogy a rögzítőfék-bowden ne akadjon. Beszerelés után a dob és a pofák közötti hézagot a gyártói előírás szerint kell beállítani, általában a rögzítőfék-kar többszöri meghúzásával vagy az utánállító fogaskerék tekerésével.

Tárcsafék. Az úszónyerges tárcsafék egy dugattyúval, a merevnyerges kettővel szorítja a betéteket. A féknyereg csúszkáinak szabad mozgása elengedhetetlen: ha beragad, a belső betét gyorsan kopik, a tárcsa ferde lesz, a jármű fékezéskor oldalra húz. A dugattyút – ha a nyereg fel van függesztve – a régi betéttel vagy megfelelő visszanyomó szerszámmal kell visszatolni; eközben a fékfolyadék-szintet figyelni kell, és a tartály sapkáját a gyártó szerint kell nyitni, mert a visszanyomott folyadék túlcsordulhat. **Az elektronikus rögzítőfékes (EPB) hátsó nyereg dugattyúját tilos kézi szorítóval visszanyomni**: előbb a gyártói **EPB szerviz üzemmódot** kell aktiválni rendszerteszterrel, különben a villanymotoros hajtómű tönkremegy.

A féktárcsa ellenőrzése: - a **vastagság** mérését több ponton, a gyártói **minimális vastagság** értékhez képest kell elvégezni; - az **ütést** (oldalirányú eltérést) óramutatóval, a tárcsa felfekvési felületén mérjük, a gyártói legnagyobb ütésérték jellemzően 0,03–0,05 mm tanulási példa **(ellenőrizendő: gyártói adat)**; - a felületi repedést, átégést, barázdát és a belső hűtőcsatorna eldugulását is vizsgálni kell.

Az új betétek és tárcsák bejáratása a gyártói utasítás szerint történik: jellemzően az első 200–300 km-en kerülni kell az erős, álló fékezést, hogy a súrlódó felületek egyenletesen össze tudjanak csiszolódni. **A bejáratás elmulasztása hőfeszültséget, üvegesedést és csökkent fékhatást okozhat.**

41.4.5. Főfékhenger, csővezetékek, kerékfékhengerek

A **főfékhenger** a fékpedálon kifejtett erőt hidraulikus nyomássá alakítja. A tandem főfékhenger két egymás mögötti nyomókamrával biztosítja a kétkörös rendszert; ha az egyik kör meghibásodik, a másik kör még fékezni tud. Ellenőrzéskor a következőkre figyeljünk: - a fékfolyadék-szint csökkenése rendellenes-e (a kopott betéteknél a folyadékszint természetes módon csökken, de hirtelen csökkenés szivárgásra utal); - a főfékhenger, a csővezetékek és a kerékfékhengerek **tömítettsége**: korrózió, repedés, folyadéknyom; - a fékcsövek állapota: rozsdásodás, sérülés,

a flexibilis tömlőkben duzzadás vagy repedés – a **flexibilis tömlő** belül összeszűkülhet, ami a kerékfék nem old ki és húz; - a kerékfékhengernél a porvédő ép legyen, a dugattyú ne ragadjon.

A hidraulikus kétkörös elrendezés (átlós vagy első/hátsó) és a fékrásegítés, a fékerő-szabályozás ellenőrzése a gyártói rajz alapján történik. A fékerő-szabályozó (mechanikus vagy elektronikus EBV) feladata, hogy a hátsó kerekek fékerő-arányát a terheléshez igazítsa, elkerülve a hátsó tengely blokkolását.

41.4.6. Fékfolyadék-csere és légtelenítés

Szabály. A fékfolyadékot a gyártó által előírt időközönként (jellemzően 2–3 évente) cserélni kell, mert nedvességet köt meg és forráspontja csökken. A **száraz forráspont** az új folyadéké, jellemzően 230–265 °C, a **nedves forráspont** (kb. 3,7% víztartalom) 140–180 °C, DOT 4 esetén tanulási példa **(ellenőrizendő: gyártói előírás és az ISO 4925 szerinti osztály; a DOT 4 nemzetközi minőségi jelölés)**. A fékfolyadék forráspontját kézi forráspontmérővel is ellenőrizhetjük; ha a mért érték a gyártó által megadott minimális nedves forráspont alá esik, a folyadék cseréje kötelező.

A légtelenítés célja a hidraulikus rendszerből a levegő eltávolítása. A levegő összenyomható, ezért a fékpedál hosszú úton, puha érzéssel működik, és a fékhatás romlik. A légtelenítés hagyományos módszere két személyes: az egyik a fékpedált pumpálja, a másik a légtelenítő csavart nyitja és zárja. A gyártói sorrendet be kell tartani – leggyakrabban a főfékhengertől legtávolabbi keréktől kezdve, de ABS/ESP rendszernél a gyártó ettől eltérő sorrendet írhat elő.

A nyomásos légtelenítő berendezés állandó nyomással (jellemzően 1–2 bar) nyomja be a friss folyadékot a tartályba, így egy személy is tudja végezni a légtelenítést. A vákuumos készülék a légtelenítő csavarra csatlakozik, és szívással húzza ki a régi folyadékot.

Figyelem. A légtelenítés során a tartály szintjét folyamatosan ellenőrizni kell; ha a tartály kiszárad, levegő kerül a főfékhengerbe, és a teljes légtelenítést elölről kell kezdeni. A leeresztett fékfolyadékot soha nem szabad visszatölteni, mert szennyezett és nedvességet tartalmaz.

41.4.7. ABS légtelenítése, EPB szerviz üzemmód

Az ABS hidraulikus egységében a levegő a szelepek és az akkumulátor mögött rekedhet. A hagyományos légtelenítés ilyenkor nem elegendő; **a gyártói diagnosztikai funkcióval** aktiválni kell az ABS szivattyút és a szelepeket, hogy a folyadék átmossa az egységet. A rendszerteszterrel végzett ABS légtelenítés lépései: 1. csatlakoztatás a diagnosztikai csatlakozóra; 2. a fékrendszer folyadékszintjének ellenőrzése; 3. a gyártói légtelenítési program indítása; 4. a képernyőn megjelenő utasítások szerint a megadott kerék légtelenítő csavarjának nyitása/zárása; 5. a folyadékszint folyamatos ellenőrzése; 6. a műveletet addig ismételni, amíg a távozó folyadék légbuborékmentes nem lesz; 7. a program leállítása és a hibakódok törlése/ellenőrzése.

Ez a funkció a gyakorlati diagnosztikai munka része; a tanuló oktató felügyelete alatt végezheti.

Az **EPB szerviz üzemmód** hasonlóan gyártói funkció. Aktiválása után a rendszerteszter visszahúzza a hátsó nyereg dugattyúját, így a fékbetét eltávolítható. Az új betétek beszerelése után a szerviz üzemmódból kiléptetjük az egységet, amely a dugattyút az új betétvastagságnak megfelelően állítja be, majd a rögzítőféket kalibrálja. A pontos lépések gyártónként és típusonként eltérnek, a gyártói javítási utasítás a mérvadó.

41.4.8. ESP, EBV, EBA alkatrészek szerelése, kalibrálás

Az ESP rendszer a hidraulikus egységbe beépített szelepekkel és nyomásszivattyúval avatkozik be; az EBV a hátsó kerekek féknyomását az ABS hidraulika módosításával szabályozza; az EBA a vészfékezést felismerve a fékrásegítő nyomását növeli. Mindhárom rendszer esetében a hidraulikus egység cseréje után **a rendszerteszterrel el kell végezni a kalibrációt, alapbeállítást és a légtelenítést**. Az ESP-nél a kormányszög-érzékelő, a keresztgyorsulás- és perdülési sebesség érzékelő alaphelyzetét is kalibrálni kell; az utánfutó és terhelés-változásmérő jeleket is ellenőrizni kell. Az alkatrészcserénél a fékfolyadék-leengedés és a hidraulikus egység csatlakozóinak jelölése elengedhetetlen. A rögzítőcsavarok meghúzási nyomatékát a gyártó megadja; a régi O-gyűrűket nem szabad újrafelhasználni.

Figyelem. A biztonsági elektronika (ABS, ESP, légzsák, elektronikus rögzítőfék) **kalibrálás nélküli** cseréje hibás működést és ellenőrző lámpa-visszajelzést okozhat. A rendszer kiszerelése előtt a jármű akkumulátorát a gyártói előírás szerint le kell kötni, és a diagnosztikai adattárolót ki kell olvasni; a légzsákrendszer elemein végzett mérés ellenállásmérővel **tilos**.

41.4.9. Fékhatásmérés közúton és görgős fékpadon

A javítás után mindig ellenőrizni kell a fékhatást. A **görgős fékerőmérő pad** a tengelyeket külön-külön görgőkkel forgatja, és méri a kerékenkénti fékerőt. A fékhatás:

$$z = \frac{F_{\mathrm{f}}}{F_{\mathrm{G}}} \cdot 100\%$$

ahol F_{f} az összes mért fékerő (N), $F_{\mathrm{G}} = m \cdot g$ a jármű súlyereje. A tengely fékhatásánál a tengelyterheléshez kell viszonyítani. A vizsgálat emellett a **kerékenkénti fékerő-eltérést** (bal/jobb) és az **erőingadozást** is értékeli; a határértékek a hatályos hazai vizsgálati előírásban találhatók **(ellenőrizendő)**. A kerékspecifikus fékerő-eltérés nagy fékezéskor a járművet elfordítja, ezért hibás féknyereg, csúszka vagy betét esetén javítani kell.

Ha a görgős pad nem alkalmazható (például összkerékhajtású járműveknél, ahol a mérés csak meghatározott módon végezhető, vagy merev 4WD esetén), közúti lassulásmérést végzünk. A fékhatás ilyenkor a lassulásból:

$$a = \frac{v^2}{2s}, \qquad z = \frac{a}{g}$$

ahol v a fékezés kezdeti sebessége (m/s), s a fékút (m). Ez a mérés azonban a tapadási viszonyoktól függ, és pontos kiértékelést igényel. A tanműhelyi gyakorlatban elsősorban a görgős fékpadot használjuk.

41.4.10. Légfékek szerelése röviden

A haszonjárművek légfékrendszerében a fékpedál nem hidraulikusan, hanem **sűrített levegővel** működteti a kerékfék munkahengereit. A szereléskor a légkört mindig nyomásmentesíteni kell, a tartályokból a kondenzvizet le kell ereszteni, és a csővezetékek tömítettségét nyomáspróbával kell ellenőrizni. A rugóerőtárolós rögzítőfék kioldása csak a gyártói eljárás szerint, a biztonsági előírások betartásával történhet. A fékbetétek és fékdobok cseréje hasonló elvek szerint történik, de a beállítási adatok (légnyomás, tömítettségi idő, fékút) eltérnek. Részletesen a Légfékek és pótkocsifékek alfejezetben tárgyaljuk.

41.4.11. Kidolgozott példák

41.4.11.1. 1. példa: Féktárcsa minimális vastagság és ütés ellenőrzése

Adott: egy első féktárcsa új vastagsága $h_{\text{új}} = 28{,}0\,\text{mm}$, a gyártó által megadott minimális vastagság $h_{\min} = 25{,}0\,\text{mm}$. A mért legkisebb vastagság $h_{\text{mért}} = 24{,}8\,\text{mm}$.

Keresett: Cserélni kell-e a tárcsát?

Számítás. A vastagság kritériuma:

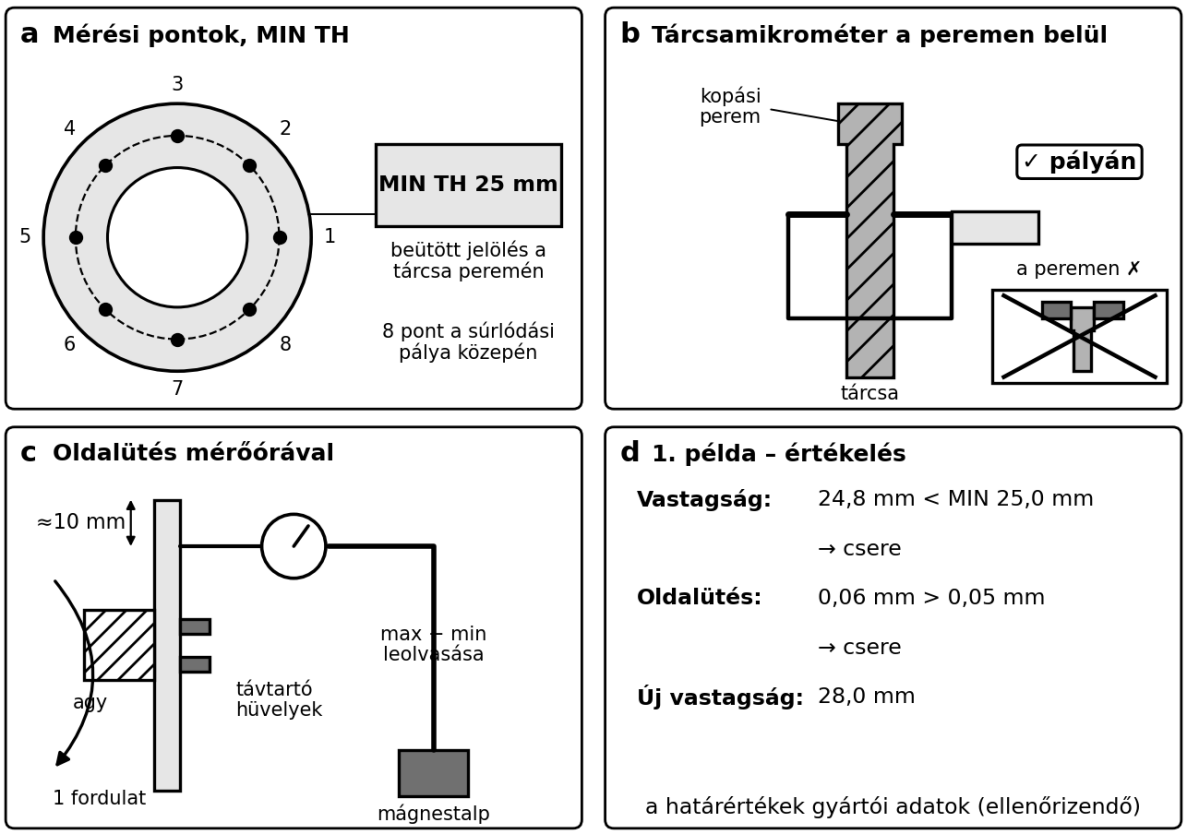
$$h_{\text{mért}} < h_{\min}.$$

Behelyettesítve:

$$24{,}8\,\text{mm} < 25{,}0\,\text{mm},$$

tehát a tárcsa vastagsága kisebb a megengedett minimumnál, **cserélni kell**. Az oldalütés-mérés óramutatóval a tárcsán egy ponton 0,06 mm értéket adott, ami meghaladja a példaként megadott 0,05 mm gyártói maximumot, ez is csere indok. **Ellenőrzés:** a mért vastagság ésszerű, hiszen a tárcsa a kopás miatt vékonyabb; a döntést a gyártói értékek szabják meg.

A mérés fogásait az alábbi ábra mutatja: (a) a vastagságot a súrlódási pálya közepén, körben nyolc ponton mérjük, és a tárcsán beütött MIN TH értékkel vetjük össze; (b) tárcsamikrométerrel, amelynek keskeny csőre a kopási peremen belül fekszik fel – a normál mikrométer a peremre ül, és nagyobb értéket mutat; (c) az oldalütést mágneses talpú mérőórával, a tapintóval merőlegesen, a tárcsa szélétől kb. 10 mm-re (gyártói előírás szerint, ellenőrizendő), a kerékcsavarok helyett távtartó hüvelyekkel rögzített tárcsán, egy teljes fordulat alatt mérjük; (d) a példa értékelése. A HTML-változatban a tárcsa forog, a mérőóra mutatója kileng, és a példa értékei állíthatók.



41.12. ábra. Féktárcsa vastagság- és ütésmérése: mérési pontok és MIN TH (a), tárcsamikrométer (b), mérőóra (c), az 1. példa értékelése (d)

41.4.11.2. 2. példa: Fékhatás számítása görgős fékpadon

Adott: személygépkocsi tömege $m = 1400\,\mathrm{kg}$, a görgős padon mért összes fékerő $F_\mathrm{f} = 12\,300\,\mathrm{N}$.

Keresett: a jármű fékhatása z százalékban.

Számítás. Először a súlyerő:

$$F_\mathrm{G} = m\,g = 1400\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} = 13\,734\,\mathrm{N}.$$

Ezután a fékhatás:

$$z = \frac{F_\mathrm{f}}{F_\mathrm{G}} \cdot 100\% = \frac{12\,300\,\mathrm{N}}{13\,734\,\mathrm{N}} \cdot 100\% \approx 89{,}6\%.$$

Ellenőrzés: a kapott érték a valós járművek üzemi fékhatás-tartományába esik, és megfelel a tipikus üzemi fékhatás-minimum 50–58%-os követelményének **(ellenőrizendő: hatályos vizsgálati határérték)**. A mértékegység ellenőrzése: N/N, dimenzió nélküli. A feladatból jól látszik, hogy a fékhatás a testtömeg növekedésével csökken, ha a fékerő változatlan.

41.4.12. Minőségellenőrzés

A fékjavítás után a következőket mindig ellenőrizzük:

Vizsgálat	Műszer / módszer	Példaérték	Minősítés
Fékbetét vastagság	tolómérő / betét-vastagságmérő	min. 3,0 mm belső, 5,0 mm külső **(ellenőrizendő)**	alatta csere
Féktárcsa vastagság	mikrométer	min. vastagság a tárcsán jelölve	alatta csere
Féktárcsa oldalütés	óramutató mérőóra	max. 0,03–0,05 mm **(ellenőrizendő)**	felette csere/megmunkálás
Dob belső átmérő	belső mikrométer / idomszer	max. gyártói átmérő **(ellenőrizendő)**	felette csere
Fékfolyadék-forráspont	forráspontmérő	nedves DOT 4: jellemzően ≥155 °C **(ellenőrizendő)**	alatta csere
Fékpedál-út	próbanyomás, szivárgás	kemény pedál, állandó szint	hosszú/puha pedál = légtelenítés
Fékhatás	görgős fékerőmérő	üzemi fékhatás min. 50–58% **(ellenőrizendő)**	alatta hibás

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

41.4.13. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy ferde hátú személygépkocsi bal első kerekének fékbetétje 2 mm-re kopott, a jobb elsőé 5 mm. A fékpadon bal-jobb fékerő-eltérés 35%-ot mutat, fékhatás közben a jármű balra húz. A tünet alapján a bal oldali fék nem old ki teljesen (beragadó dugattyú vagy csúszka): a kerék kézzel nehezen forog, a tárcsa melegebb. A szerelő a kereket leveszi, a csúszkák ellenőrzésénél az egyik csúszka mozgása akadozik, a gumiharang repedt. A dugattyú a porvédő alatt rozsdás, nem tér vissza, ezért a nyereg felújításra szorul. A betétek cseréje mellett a csúszkákat megtisztítják, a nyerget felújítják vagy cserélik, a tárcsát megmérik és esztergálják vagy cserélik. A légtelenítés után a fékpad már 12% eltérést mutat, a fékhatás 88%. Tanulság: a kerékfékeket mindig párokban kell karbantartani, és a csúszkák mozgását minden betétcserekor ellenőrizni kell.

41.4.14. Gyakorlati útmutató: úszónyerges tárcsafék betét- és tárcsacseréje

Cél. Az elkopott fékbetétek és/vagy féktárcsa cseréje úszónyerges tárcsaféken.

Jármű- és adatazonosítás. Rögzítsük a jármű azonosítóját, a futóműtípus számát, kérjük le a gyártói javítási adatokat (nyomaték, minimális vastagság, légtelenítési sorrend, esetleges EPB-típus).

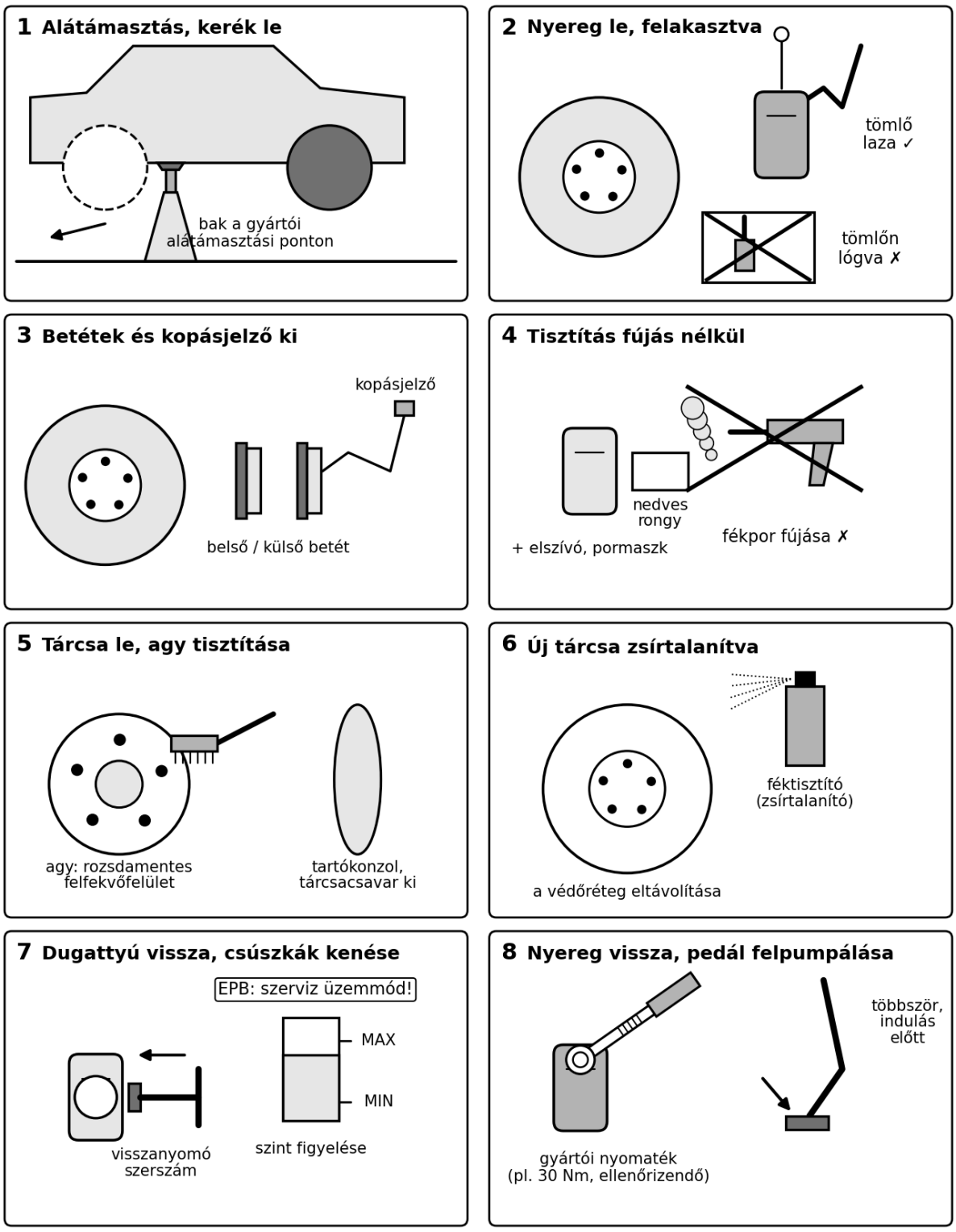
Szükséges szerszámok, célszerszámok, mérőeszközök, anyagok. Emelő, bakok, kerékcsavar-oldó, nyomatékkulcs, dugattyú-visszanyomó szerszám (EPB-vel szerelt nyereghez gyártói diagnosztikai műszer), lapos fogó vagy csavarhúzó a csúszkákhoz, réz kefe, fékrostély-tisztító (klórmentes), új fékbetét-tartozék, új csúszka-kenőanyag (réz- vagy szilikonpaszta a gyártó szerint), új rögzítőelemek, mikrométer, mérőóra, fékzsír, fékfolyadék, edény, nitril kesztyű, védőszemüveg, pormaszk.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések. A járművet csak a gyártói emelési pontokon emeljük, kocsiemelővel tartott jármű alá **nem** nyúlunk; mindig bakot használunk. A kerékcsavarokat a gyártói sorrendben és nyomatékkal húzzuk. A fékport nem fújjuk le levegővel; a kopott alkatrészeket veszélyes hulladékként gyűjtjük.

Számozott munkalépések: 1. Rögzítsük a járművet, oldjuk a kerékcsavarokat, emeljük fel, támasztjuk alá, vegyük le a kereket. 2. Csavarjuk ki a féknyereg rögzítőcsavarjait; a nyerget akasszuk fel dróttal, ne lógjon a féktömlőn. 3. Távolítsuk el a külső és belső fékbetéteket, a kopásjelző szenzort, a csúszkákat. 4. Tisztítsuk meg a nyerget és a tartókonzolt fékportól (nedves rongy, elszívó). 5. Ellenőrizzük a dugattyút, a porvédőt, a csúszkákat; a sérült alkatrészt cseréljük. 6. Nyomjuk vissza a dugattyút a megfelelő szerszámmal; közben figyeljük a fékfolyadékszintet, szükség szerint szívjunk le a tartályból. 7. Távolítsuk el a féktárcsát rögzítő csavart, ha van; cseréljük a tárcsát. 8. Mérjük meg az új tárcsa ütését; győződjünk meg a felfekvő felület tisztaságáról. 9. Kenjük meg a csúszkákat a gyártó által előírt kenőanyaggal, szereljük vissza a tartókonzolt. 10. Helyezzük be az új betéteket, a csúszólemezeket, a kopásjelzőt. 11. Szereljük a nyerget, húzzuk meg a rögzítőcsavarokat a megadott nyomatékkal (például 30 Nm tanulási példa **(ellenőrizendő)**). 12. Szereljük a kereket, húzzuk keresztsorrendben a gyártói nyomatékkal. 13. Nyomjuk fel a fékpedált, amíg a dugattyú a betétekhez nem simul, ellenőrizzük a fékfolyadékszintet. 14. Végezzünk fékhatásmérést vagy próbafékezést; hívjuk fel a figyelmet a bejáratásra.

Az alábbi képsor a munkalépések kézi fogásait mutatja nyolc képkockában; a két tilalom – a féktömlőn lógó nyereg és a fékpor sűrített levegős lefújása – áthúzva szerepel. A HTML-változatban a képsor lépésenként lejátszható.



41.13. ábra. Úszónyerges tárcsafék betét- és tárcsacseréje nyolc lépésben (sematikus vonalrajz; nyomatékok gyártói adatok, ellenőrizendők)

Ellenőrzési pontok. A pedál kemény, szint stabil; a tárcsaütés a megengedett; a csúszkák szabadon mozognak; nincs folyadékszivárgás; a kerék szabadon forog fékezés nélkül.

Tipikus hibák. A dugattyú ferdén való visszanyomása; a féknyereg rögzítőcsavarjainak nyomatékkulcs nélküli meghúzása; a tárcsa felfekvő felületének szennyezett volta miatt nem azonos

ütés; a kopásjelző szenzor figyelmen kívül hagyása.

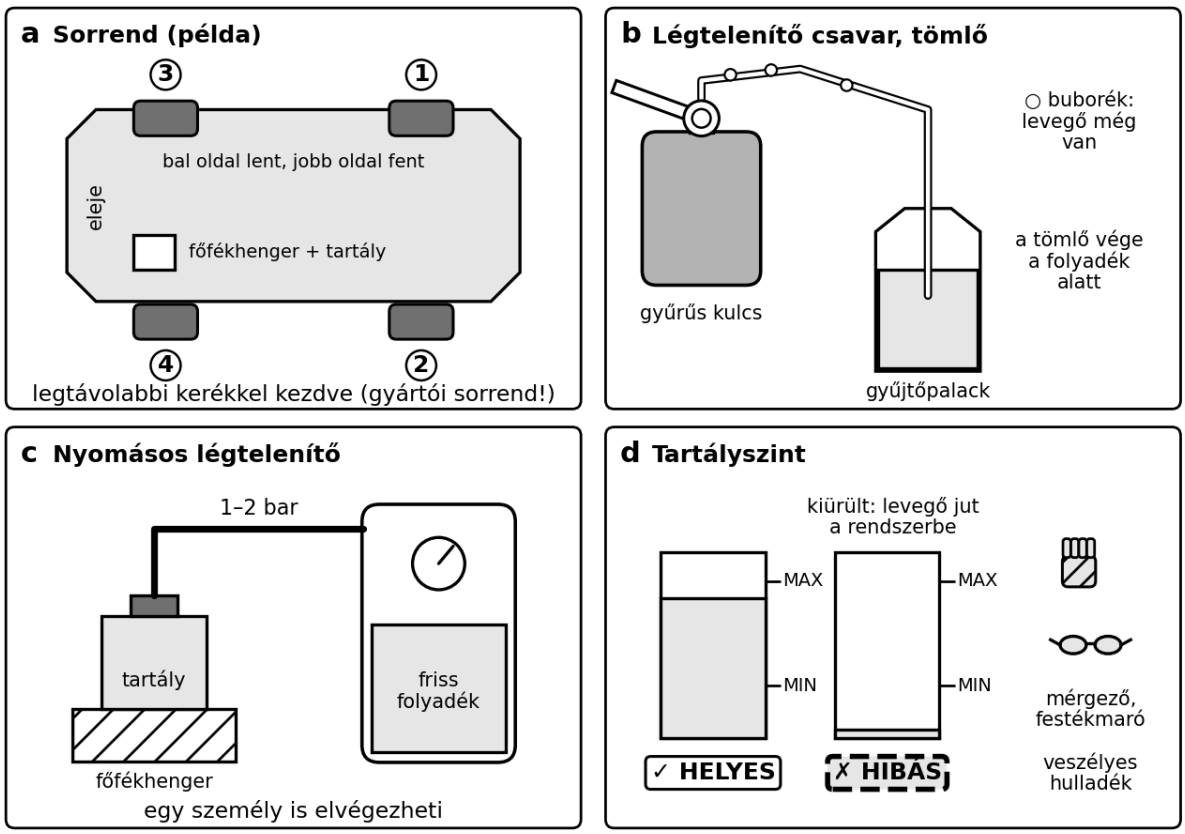
Dokumentálás. Töltsük ki a munkalapot: beépített alkatrészek, mért vastagságok, meghúzási nyomatékok, próbaút/fékpad eredmény, ügyfél tájékoztatása a bejáratásról.

Továbbvitt eredmény. Ezt a munkalapot és a fékhatásmérési lépéseket a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben a vizsgamunkához fogjuk felhasználni.

41.4.15. Fékfolyadék-csere és légtelenítés

Kiemelt, számozott lépések. 1. Kérjük le a gyártói légtelenítési sorrendet; EPB-vel, ABS-sel, ESP-vel szerelt járművön rendszerteszter szükséges. 2. Emeljük fel és bakoljuk alá a járművet; vegyük le a kerekeket, ha a légtelenítő csavarhoz így férünk hozzá. 3. Szívjuk le a régi fékfolyadékot a tartályból, töltsük fel friss, gyártói előírású folyadékkal. 4. Csatlakoztassuk a nyomásos légtelenítőt (vagy használjunk két személyes módszert). 5. A gyártói sorrend szerint az első légtelenítő csavarra átlátszó tömlőt húzunk, a végét gyűjtőedénybe vezetjük. 6. Nyomjuk a fékpedált (vagy nyissuk a nyomásos berendezés szelepét), nyissuk a légtelenítő csavart, figyeljük a kijövő folyadékot. 7. Zárjuk a csavart, mielőtt a pedált felengednénk; ismételjük, amíg légbuborékmentes friss folyadék nem jön. 8. Közben a tartály szintjét folyamatosan tartsuk; soha ne hagyjuk kiszáradni. 9. Folytassuk a következő kerékkel a gyártói sorrend szerint. 10. Ellenőrizzük a pedálutat, fékhatást, folyadékszintet; töröljük a hibakódokat, végezzünk próbafékezést.

Az alábbi ábra a légtelenítés fogásait és sorrendjét mutatja: (a) példa-sorrend a főfékhengertől legtávolabbi kerékkel kezdve (a gyártói sorrend az irányadó), (b) gyűrűs kulcs a légtelenítő csavaron, átlátszó tömlő a gyűjtőpalackba, a tömlő vége a folyadék alatt, (c) nyomásos légtelenítő a tartályon, (d) a tartály szintje MIN fölött – a kiürült tartályon át levegő jut a rendszerbe. A HTML-változatban a kerekek sorrendje lépésenként lejátszható.



41.14. ábra. Fékfolyadék-csere és légtelenítés: sorrend (példa), tömlő és gyűjtőpalack, nyomásos légtelenítő, tartályszint

41.4.16. Tipikus hibák

1. **EPB-vel szerelt hátsó fékbetét cseréjénél a dugattyú kézi visszanyomása.** A villanymotoros hajtómű megsérül, a rögzítőfék kalibrációja elvész. Helyes: mindig EPB szerviz üzemmódot aktiválni.

2. **A fékrendszer légtelenítésénél a tartály szintjének elhanyagolása.** Levegő kerül a főfékhengerbe, a légtelenítést elölről kell kezdeni. Helyes: minden keréknél ellenőrizni és utántölteni.

3. **A fékfolyadék-forráspont figyelmen kívül hagyása.** Régi, nedves folyadéknál intenzív fékezéskor gőzbuborék keletkezhet, ami fékfakuláshoz vezet. Helyes: rendszeres forráspontmérés és csere.

4. **A féktárcsa oldalütésének mérési hibája.** Ha a mérőórát nem a megfelelő ponton vagy nem merőlegesen teszik, hamis értéket kapnak. Helyes: a gyártói utasítás szerint, a felfekvő felületen mérni.

5. **A biztonsági rendszerek kalibrálás nélküli cseréje.** Az ABS/ESP/EPB alkatrész cseréje után az ellenőrző lámpa világít, a rendszer hibás lehet. Helyes: rendszerteszterrel mindig elvégezni a légtelenítést, alaphelyzetbe állítást, kalibrálást.

6. **A fékpor sűrített levegővel való eltávolítása.** A por az egész műhelybe szétterjed, és egészségkárosító lehet. Helyes: nedves rongy, elszívás, pormaszk.

41.4.17. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az úszónyerges tárcsaféknél a féknyereg csúszkájának beragadása miatt a jármű fékezéskor az ellenkező irányba húz. Indokold!
2. Milyen műszerrel mérjük a fékfolyadék forráspontját, és miért fontos ez?
3. Egy gépkocsi tömege 1200 kg, a mért összes fékerő 10 500 N. Mennyi a fékhatás százalékban? ($g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$)
4. Mi a helyes sorrend a légtelenítésnél egy hagyományos, ABS nélküli rendszerben? Mit kell ellenőrizni a művelet közben?
5. Mi a hiba ebben a leírásban? „Az EPB-vel szerelt hátsó tárcsafék betétcseréjénél a dugattyút kézi szorítóval nyomjuk vissza, mert így gyorsabb.”

41.4.18. Az önellenőrzés megoldásai

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A beragadt csúszkájú oldal fékereje csökken (a nyereg nem tud eltolódni, csak a belső betét szorít), ezért a jármű a másik oldal felé húz. Ha viszont a dugattyú ragad be behúzott állapotban, az az oldal állandóan fékez, és a jármű arra húz. Az irányt a fékpadi mérés mutatja.
2. A fékfolyadék forráspontját **forráspontmérővel** (kézi műszer, amely a mintát felforrósítja) mérjük. Azért fontos, mert a fékfolyadék nedvességet köt meg, forráspontja csökken, és intenzív fékezéskor gőzbuborék keletkezhet, ami fékfakulást okoz.
3. $F_{\mathrm{G}} = 1200 \cdot 9{,}81 = 11\,772\ \mathrm{N}$;
   $z = 10\,500 / 11\,772 \cdot 100\% \approx 89{,}2\%$.
4. A hagyományos rendszerben általában a **főfékhengertől legtávolabbi keréktől kezdve haladunk**, például jobb hátsó → bal hátsó → jobb első → bal első (a tényleges sorrendet a gyártó határozza meg). A művelet közben folyamatosan ellenőrizni kell a fékfolyadékszintet, hogy ne kerüljön levegő a rendszerbe, és csak friss, előírt folyadékot használjunk.
5. A hiba: EPB-vel szerelt nyereg dugattyúját **tilos** kézi szorítóval visszanyomni. Először a gyártói EPB szerviz üzemmódot kell aktiválni rendszerteszterrel; különben a villanymotoros hajtómű megsérül, és a rögzítőfék kalibrációja elvész.

41.4.19. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel az úszónyerges tárcsafék fő alkatrészeit, és írd le a féknyereg csúszkájának szerepét!

2. feladat (A) Egy féktárcsa új vastagsága 25,0 mm, a gyártó által megadott minimális vastagság 23,0 mm. A mért vastagság 23,5 mm. Cserélhető-e? Indokold!

3. feladat (B) Egy görgős fékpadon az első tengely mért fékerői: bal 4,2 kN, jobb 3,0 kN. Az első tengely terhelése 7800 N. Számítsd ki a tengely fékhatását, és értékeld a kerékenkénti eltérést!

4. feladat (B) Írd le a fékfolyadék-csere és légtelenítés munkalépéseit, beleértve a nyomásos légtelenítő használatát, ABS nélküli járművön.

5. feladat (C) Miért kell az ABS légtelenítésénél rendszertesztert használni? Mi történik, ha hagyományos légtelenítést végzünk csak?

6. feladat (D) Egy ügyfél panasza: a fékpedál puha, a fékút hosszú, a fékfolyadék-szint a tartályban nem csökken, de a fékhatásmérés görgős padon csak 62%-ot mutat. A kerékfékek kopása normál mértékű. Milyen hibalehetőségeket gyanítasz, és milyen mérésekkel döntöd el?

41.4.20. A feladatok megoldásai

1. feladat (A) Az úszónyerges tárcsafék fő alkatrészei: féknyereg, féknyereg-tartó konzol, egy dugattyú, fékbetétek (súrlódó anyag + hátlemez), kopásjelző, csúszkák (vezetőcsapok), porvédő gumiharang, féktárcsa. A csúszka szerepe: lehetővé teszi, hogy a nyereg oldalirányban el tudjon csúszni, így a dugattyúerő a belső betétre, a reakcióerő pedig a külső betétre egyenletesen adódjon át.

2. feladat (A) A mért vastagság 23,5 mm, ami **nagyobb**, mint a 23,0 mm minimális érték, ezért a tárcsa elvileg még használható, ha az egyéb ellenőrzések (oldalütés, repedés, felületi állapot) rendben vannak. Azonban a 0,5 mm-es tartalék csekély; a kopást rendszeresen ellenőrizni kell, és a beépítés előtt a tárcsa ütését is meg kell mérni.

3. feladat (B) Első tengely összes fékerő: $F_{\mathrm{f}} = 4200 + 3000 = 7200\,\mathrm{N}$.
Tengely fékhatás:
$z = \frac{7200}{7800} \cdot 100\% \approx 92{,}3\%$.
A kerékenkénti eltérés:
$\left|\frac{4200-3000}{4200}\right| \cdot 100\% \approx 28{,}6\%$, ami jelentős; a hatósági vizsgálaton ez jellemzően nem megengedett **(ellenőrizendő: határérték)**. A jármű fékezéskor erősen húz, a fékrendszert javítani kell (csúszka, betét, nyereg).

4. feladat (B) A munkalépéseket lásd a `### Fékfolyadék-csere és légtelenítés` fejezetben. A gyártói sorrend betartása, a tartály szintjének folyamatos ellenőrzése, a levegőmentes folyadék kijövetele, és a pedál próba a fő elemek. A nyomásos légtelenítővel állandó nyomáson (jellemzően 1–2 bar tanulási példa **(ellenőrizendő: gyártói adat)**) dolgozunk; a légtelenítő csavart csak addig nyitjuk, amíg buborékmentes folyadék nem jön.

5. feladat (C) Az ABS hidraulikus egységben a levegő a szelepek és az akkumulátorok mögött rekedhet, amit a hagyományos, passzív légtelenítés nem tud eltávolítani. A rendszerteszter segítségével az ABS szivattyú és a szelepek aktiválhatók, így a folyadék átmossa az egységet. Ha ezt kihagyjuk, a rendszerben levegő marad, a pedál puha lesz, és az ABS működése hibássá válhat; emellett a hibakódok is megmaradhatnak.

6. feladat (D) A puha pedál és a hosszú fékút, normális kopás mellett általában **levegő a hidraulikus rendszerben** vagy **főfékhenger belső tömítetlenség**, esetleg **fékfolyadék-forráspont-csökkenés** következménye. A fékfolyadék-szint nem csökken, ezért külső szivárgás nem valószínű. Mérések: - fékfolyadék-forráspont mérés: ha alacsony, csere; - fékpedál-próba és tömítettségi ellenőrzés: a pedál lassan besüpped-e; - a főfékhenger belső tömítetlenségét a pedál lassú süllyedése jelzi; - ABS/ESP rendszernél gyártói diagnosztika a rendszer hibáinak feltárására; - a rendszer nyomás alatti ellenőrzése, ha van csőtömörségi gyanú. A javítás általában a folyadékcsere, légtelenítés, szükség esetén főfékhenger felújítása/cseréje, majd fékhatásmérés.

41.4.21. Rövid összefoglaló

A fékjavítás során a dobfék és a tárcsafék szerkezeti elemeit a gyártói kopási határértékek szerint ellenőrizzük, és a biztonsági alkatrészeket csak a gyártói előírás szerint javítjuk. Az úszónyerges tárcsafék csúszkájának szabad mozgása, a dugattyú és a porvédő állapota meghatározza a fékhatást; a tárcsa vastagságát és oldalütését mikrométerrel és mérőórával mérjük. A fékfolyadékot higroszkópos (nedvszívó) tulajdonsága miatt rendszeresen cserélni kell, a légtelenítésnél a gyártói sorrendet és a folyadékszintet mindig be kell tartani. Az ABS légtelenítése rendszerteszterrel történik, mert a levegő a hidraulikus egységben rekedhet; az EPB-vel szerelt féknyereg dugattyúját csak szerviz üzemmódban szabad visszahúzni, erővel nyomni tilos. Az ESP, EBV és EBA alkatrészek cseréje után kalibráció szükséges. A javítás után a fékhatást görgős padon mérjük: $z = F_{\mathrm{f}}/F_{\mathrm{G}} \cdot 100\%$, vagy közúton a lassulásból. A fékport és fékfolyadékot veszélyes hulladékként kezeljük. **Továbbvitt eredmény.** A fékjavítás munkalapja és a fékhatásmérés lépései a vizsgafelkészülés komplex gyakorlati feladatában és a próbavizsgán térnek vissza.

41.4.22. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: ENSZ-EGB 13. és 13-H. előírás a fékberendezésekre **(ellenőrizendő: hatályos változat)**; hazai 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról **(ellenőrizendő: pontos jogszabály és hatály)**; gyártói javítási utasítások (betét- és tárcsavastagság, oldalütés-határ, légtelenítési sorrend, meghúzási nyomatékok, EPB és ABS eljárások); a fékfolyadék fizikai-kémiai adatai a gyártói specifikáció szerint (DOT osztály, forráspont – **ellenőrizendő: a hatályos szabvány**); munkavédelmi és hulladékkezelési jogszabályok **(ellenőrizendő: a hatályos magyar rendeletek)**. A példákban szereplő számértékek tanulási példák, nem helyettesítik a gyártói vagy hatósági adatokat.

41.5. Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban

A kerékcsere és gumiabroncs-szerelés az autószerelő mindennapi legalapvetőbb, mégis legnagyobb felelősséggel járó feladatai közé tartozik. A helytelenül meghúzott kerékcsavar, a gondatlan abroncsszerelés vagy a rosszul kiegyensúlyozott kerék nem csupán kényelmetlen vibrációt okoz, hanem közvetlen balesetveszélyt teremt. Ez az alfejezet a téli-nyári kerékcserétől a defektjavításig végigvezet a teljes munka közbeni gyakorlaton.

41.5.1. Szemléletes kép

Képzelj el egy tipikus műhelyi gumisarkot. A központban egy elektromechanikus abroncsszerelő gép áll, amelynek fő részei a rögzíthető forgóasztal, a bontó- és felszerelő kar, valamint a pneumatikus perembontó (bontólapát) és a pneumatikus asztal-befogás. Mellette a kiegyensúlyozó gép található, amelynek tengelyére a kereket rögzítve a gép megpörgeti azt. A gépek mögött polcokon állnak a keréktárcsák, az abroncsok pedig függőleges állványon pihennek. A munka alapvető forrása a sűrített levegő, a nyomatékkulcs és a kézi szerszámok.

41.5.2. Definíciók és alapelvek

Definíció. Kerékkiegyensúlyozás. Olyan eljárás, amelynek során a kerék (abroncs + tárcsa + szelep) tömegének forgástengelyre szimmetrikus eloszlását biztosítjuk. A kiegyensúlyozatlanság U a kiegyensúlyozatlan tömeg (m) és a súlypont forgástengelytől mért távolságának (r) szorzata: $U = m \cdot r$, egysége g · mm; a gép a beállított sugáron elhelyezendő ellensúly tömegét adja meg grammban.

Definíció. Meghúzási nyomaték. A csavarkötés rögzítéséhez szükséges, mértékegységgel rendelkező forgatónyomaték (Nm). A kerékcsavarok esetében a gyártói előírás biztosítja a tárcsa kellő szorítását a deformáció vagy a menetkárosodás elkerülése mellett. Ez nem egy „minél erősebb, annál jobb” érték.

Összefüggés. Nyomaték és erő. A nyomaték M az erőkar (l) és a rá merőleges erő (F) szorzata: $M = F \cdot l$. A dugókulcs-hosszabbító (egyenes szár) és a fogantyúra húzott cső a beállítandó értéket nem változtatja meg. Csak a kulcs hossztengelyében, a fej elé szerelt, a karhosszt növelő adapternél (ún. „varjúláb” feltét) kell korrigálni: $M_{\text{beállított}} = M_{\text{előírt}} \cdot \dfrac{L}{L + E}$, ahol L a kulcs hatásos karhossza, E az adapter hossztengely irányú hosszabbítása `(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)`.

41.5.3. Kidolgozott példák

1. példa. Mekkora nyomatékot ad át a 0,40 m hatásos karhosszú kulcs, ha a fogantyúra merőlegesen 300 N erőt fejtünk ki? $M = F \cdot l = 300 \cdot 0{,}40 = 120\,\text{Nm}$.

2. példa. Az $L = 0{,}45$ m-es nyomatékkulcs fejére a hossztengelyben $E = 0{,}15$ m-es adaptert szerelünk; az előírt nyomaték 110 Nm. A beállítandó érték: $M_{\text{beállított}} = 110 \cdot \dfrac{0{,}45}{0{,}45 + 0{,}15} = 82{,}5\,\text{Nm}$. Ha ugyanezt a kulcsot csak dugókulcs-hosszabbító szárral használjuk, a beállított érték marad 110 Nm.

Továbbvitt eredmény. A itt gyakorolt kerékszerelési munkalap a Gyakorlati vizsgafelkészülés alfejezetben közvetlenül vizsgafeladattá válik; a kerék és az abroncs szakszerű leszerelése a Futómű és kormány szerelése alfejezetnél későbbi rutinjaihoz vezet.

41.5.4. A kerékcsere gyakorlati folyamata

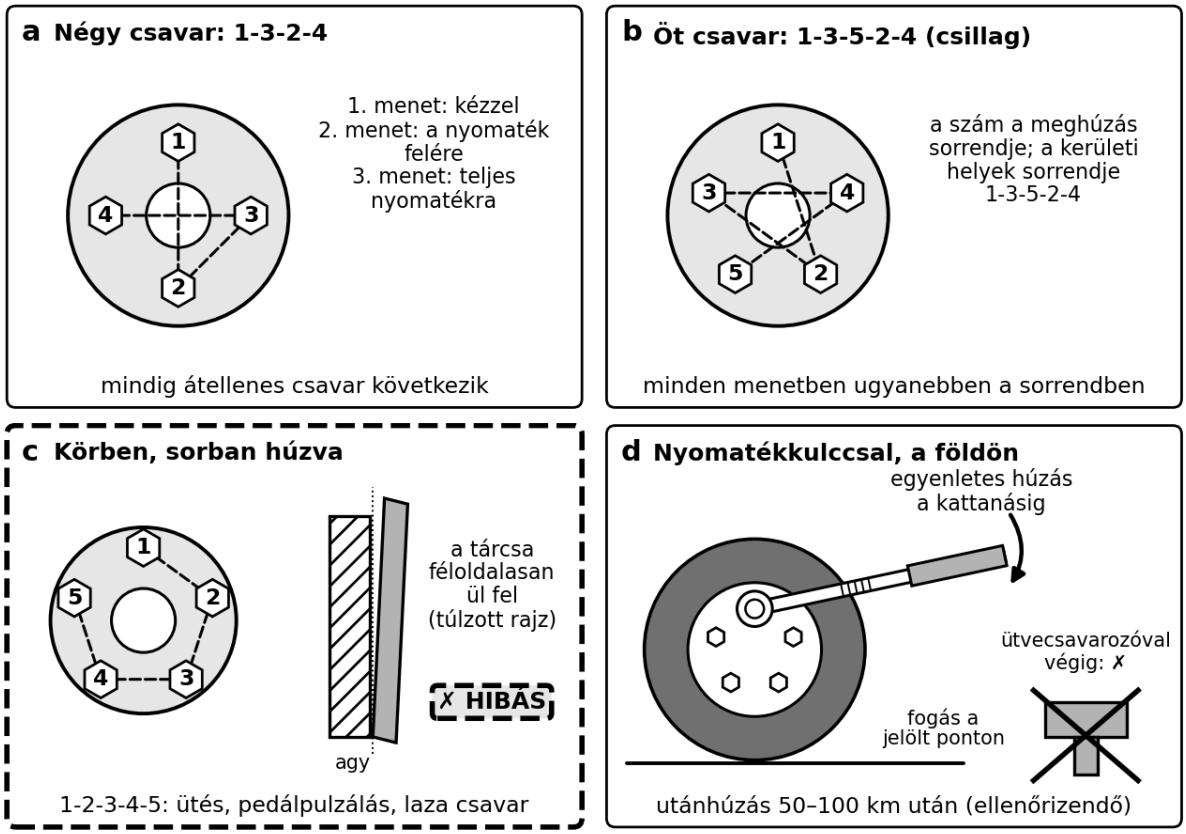
1. Emelés és biztonság Kocsiemelővel (garázsemelővel) megemelt jármű alá nyúlni vagy bemenni tilos: a kerék levétele előtt a járművet a gyártói pontokon bakra kell támasztani. Emelőpadon (oszlopos emelőn) a gyártói emelési pontokon, reteszelt emelővel lehet dolgozni. A kerékcsavarokat a talajon, a jármű súlyán állva kezdjük meglazítani, majd az emelés után távolítjuk el.

2. Illeszkedő felületek tisztítása A kerék leszerelése után a legfontosabb lépés a kerékagy és a tárcsa illeszkedő felületének megtisztítása. A felületen lévő rozsda, korrózió vagy sár a tárcsa enyhe radiális vagy tengelyirányú ütését okozhatja, ami fékpedál-pulzálásként vagy kormányremegésként jelentkezik. Drótkefével vagy erre a célra szolgáló tárcsatisztítóval távolítsuk el a szennyeződést.

3. Meghúzási sorrend és nyomaték A kerék visszaszerelésekor a csavarokat kézzel, keresztsorrendben, úgynevezett csillag alakban húzzuk meg. A lépéseket mindig fokozatosan hajtsuk végre: először kézzel, majd nyomatékkulccsal a végső nyomaték felére, végül a teljes előírt értékre. A rögzítés után 50–100 km megtétele után ellenőrizni kell a meghúzást `(ellenőrizendő: gyártói`

karbantartási előírás), mert a tárcsa az első terheléseknél ülhet meg teljesen. A nyomaték jellemző értéke személyautóknál 120 Nm, de ez típusonként jelentősen eltér (ellenőrizendő: gyártói javítási adat).

Az alábbi ábra a meghúzási sorrendet mutatja: négy csavarnál 1-3-2-4, öt csavarnál a kerületi helyek 1-3-5-2-4 sorrendjében, mindig a már meghúzottal átellenes csavar következik. Körben, sorban húzva a tárcsa féloldalasan ül fel. A végső meghúzás nyomatékkulccsal, a földön álló járművön, egyenletes húzással a kattanásig történik; ütvecsavarozóval végighúzni tilos. A HTML-változatban az öt csavar sorrendje lépésenként lejátszható.



41.15. ábra. Kerékcsavarok meghúzása csillagsorrendben (a, b), a sorban húzás hibája (c) és a nyomatékkulcs használata (d)

41.5.5. Abroncsszerelés szerelőgéppel

4. Abroncs lefejtése a tárcsáról A kerékről elsőként a szelepet kell eltávolítani, vagy ha TPMS (Tyre Pressure Monitoring System) érzékelő van, a rögzítőcsavart ki kell engedni. A lefejtés előtt az abroncsot teljesen leengedjük. A szerelőgépen a tárcsát központosan rögzítjük, a bontófejet a tárcsa pereméhez illesztjük, és a talpat a szerszám és a tárcsa közé vezetjük.

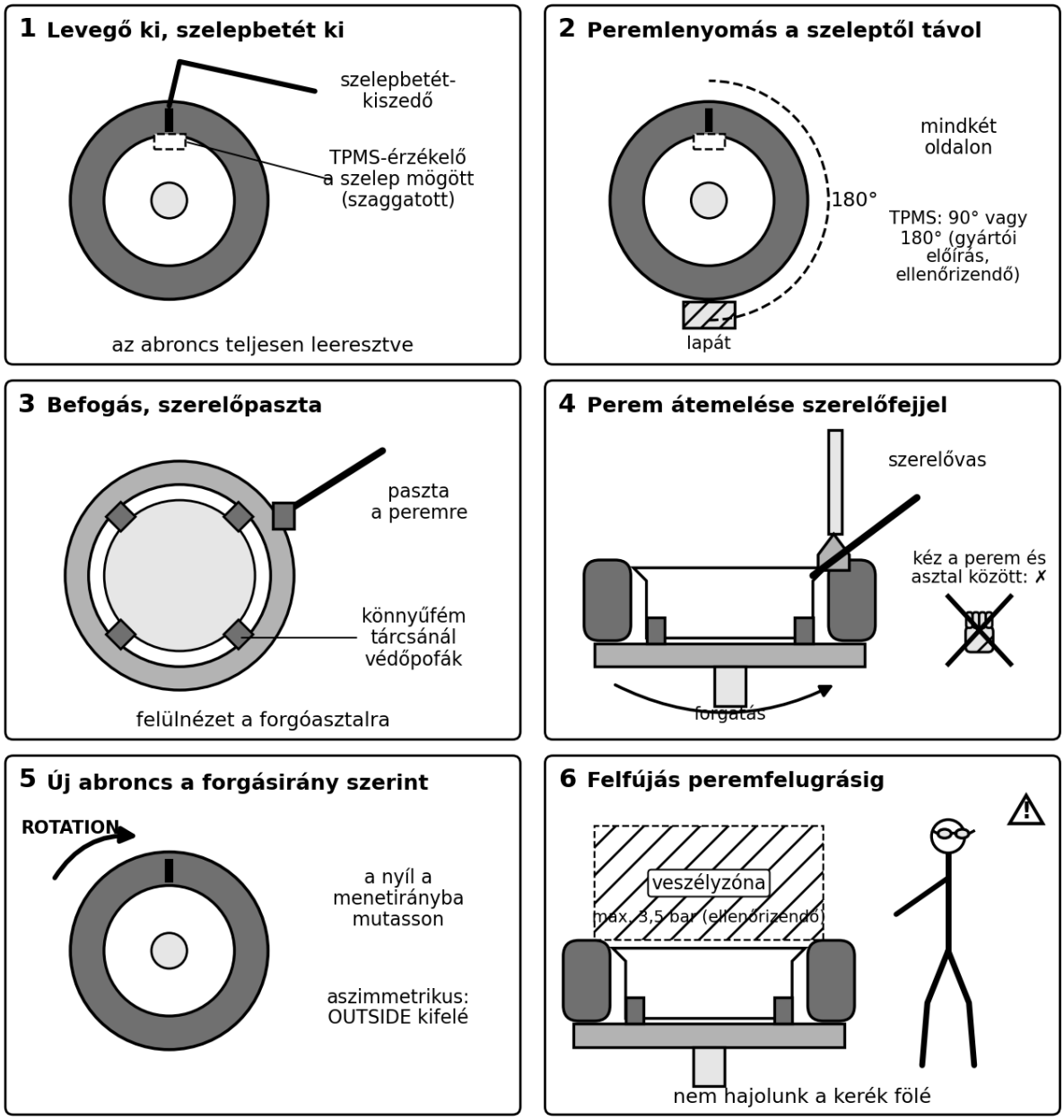
5. TPMS érzékelő kezelése A direkt TPMS érzékelő nélkülözhetetlen eleme a keréknek. A bontás során figyeljünk arra, hogy a gumi lefejtő szerszám ne érjen hozzá a szelephez, mert az érzékelő tönkremegy. Gumiszelepes (snap-in) érzékelőnél abroncscserekor a gumiszelepet újra kell cserélni; fém anyás (clamp-in) érzékelőnél új tömítést és anyát szerelünk, és az anyát nyomatékkulccsal a gyártói nyomatékra húzzuk meg, mert a túlhúzás deformálja az érzékelő házát (ellenőrizendő: gyártói előírás).

6. DOT-kód és futásirány Az oldalfalon találjuk a DOT-kódot. Az utolsó négy számjegyből az első kettő a hét, az utolsó kettő az év. Például a `2520` a 2020-as év 25. hetét jelöli. A nyilat vagy `ROTATION` feliratot az abroncs futásirányának megfelelően kell szerelni; aszimmetrikus mintázatnál az `INSIDE/OUTSIDE` jelölés a belső/külső oldalt jelzi.

7. Abroncs felszerelése A tárcsa peremére abroncsszerelő pasztát viszünk fel. Ez megkönnyíti a gumis perem csúszását és megakadályozza a perem roncsolódását. Az abroncsot a szerelőgéppel a tárcsára emeljük, majd a peremet be kell pattintani. A fellövést a gyártó által előírt maximális nyomás alatt végezzük, soha ne lépjük túl az abroncsgyártó által megadott legnagyobb felültetési nyomást (gyakran kb. 3,0–3,3 bar; `ellenőrizendő: abroncsgyártói adat`). A sérült perem vagy tárcsa, illetve a túlnyomás miatt az abroncs robbanásszerűen szétválhat, ezért fellövés közben ne hajoljunk az abroncs fölé, használjunk pattintós töltőfejet és távolról leolvasható nyomásmérőt (ahol van, védőketrecet), és ne nyúljunk a perem és a tárcsa közé. Ha a perem a megengedett nyomáson nem ül fel, engedjük le az abroncsot, és ellenőrizzük a peremet és a kenést.

8. Nyomásbeállítás és TPMS-tanítás A szerelt kerékbe hidegen, a gyártói adattábla szerinti nyomást töltjük. A direkt TPMS-érzékelőket a járművön a rendszerteszterrel vagy a jármű menüjében lehet „betanítani”, amíg a jármű nem mozdul. Az indirekt TPMS-t a menüben kell kalibrálni. A beállítást csak a gyártó utasítása szerint végezzük.

Az alábbi képsor az abroncsszerelés hat fő fogását mutatja a 4–8. pont szerint: leeresztés és szelepbetét ki, peremlenyomás a szeleptől (TPMS-érzékelőtől) távol, befogás és szerelőpaszta, a perem átemelése szerelőfejjel és szerelővassal, az új abroncs a forgásirány szerint, végül felfújás peremfelugrásig úgy, hogy nem hajolunk a kerék fölé. A veszélyes fogásokat (kéz a perem és a forgóasztal között, ráhajolás felfújáskor) a rajz jelöli. A HTML-változatban a képsor lépésenként lejátszható.



41.16. ábra. Abroncsszerelés szerelőgéppel hat lépésben (sematikus rajz; a szöghelyzetek és nyomások gyártói adatok, ellenőrizendők)

41.5.6. Kiegyensúlyozás és matching

A kiegyensúlyozást minden kerékcserénél el kell végezni, mert az abroncs tömegeloszlása nem tökéletes. A kiegyensúlyozó gép két fő paramétert mér: a statikus kiegyensúlyozatlanságot és a dinamikus kiegyensúlyozatlanságot. A gép a kerék felszerelése után megadja, hová és hány gramm súlyt kell elhelyezni.

9. A gép kezelése Megadjuk a tárcsa méreteit (a gép tengelyétől mért távolság, szélesség, átmérő) vagy a gyártói adatbázisból választjuk ki őket. Az ellensúly elhelyezésének módja lehet ragasztott (belső perem) vagy leszorított (külső perem). A modern gépek lézeres mutatóval jelzik a súly pontos helyét. Indítás előtt a kerékvédő burkolatot le kell zárni; a forgó kerékhez nyúlni

tilos. A kiegyensúlyozás akkor elfogadható, ha a maradék kiegyensúlyozatlanság 0 g és 5 g között van (ellenőrizendő: műhelyi mérési gyakorlat).

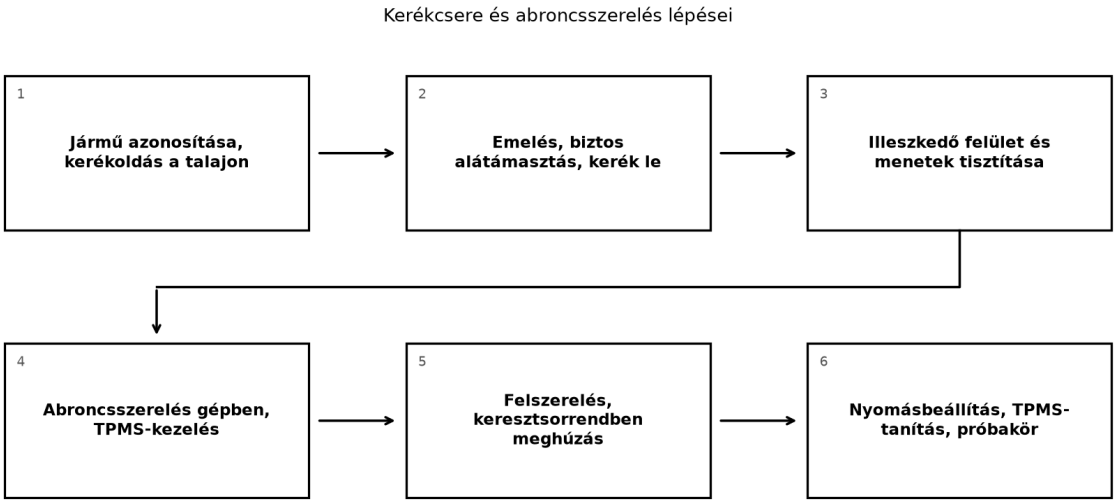
10. Matching-eljárás Ha a kiegyensúlyozás után is jelentős a maradék kiegyensúlyozatlanság vagy az abroncs kifutási ütése nagy, a gumi és a tárcsa optimális helyzetét görgetéssel vagy a gép kifogási mérésével lehet meghatározni. Ilyenkor az abroncsot a tárcsán elforgatjuk a megadott szöggel, majd újra kiegyensúlyozzuk.

41.5.7. Defektjavítás szabályai és abroncshulladék

11. Javítható-e a defekt? A futófelület középső részén keletkezett, kisméretű (jellemzően 6 mm-nél kisebb) defekt javítható (ellenőrizendő: abroncsgyártói szabvány). Az oldalfalon, a vállzónában vagy a peremzónában keletkezett sérülést **tilos javítani**. A javítás során belülről kell tömíteni, a legegyszerűbb a gomba (univerzális dugó és belső tapasz kombinációja). A külső csapos javítást ideiglenes, szakszerűtlen megoldásként kell elutasítani, mert nem zárja a szivárgást megbízhatóan.

12. Abroncs tárolása A garnitúrák tárolása során a gumik legyenek tisztán, sötét, hűvös, száraz helyen. Az abroncsokat oldószertől, olajtól és ózonforrástól (villanymotor, hegesztő) távol tároljuk. Felni nélküli abroncsot állva tároljunk, és havonta forgassuk el; felnire szerelve fektetve, legfeljebb négyet egymásra rakva vagy felakasztva tároljuk.

Az elhasznált abroncs nem kerülhet kommunális hulladékba; a műhely a hulladékgazdálkodási szabályok szerint gyűjti, és engedéllyel rendelkező átvevőnek adja át (ellenőrizendő: hatályos hulladékgazdálkodási jogszabály, abroncs-visszavételi kötelezettség).



41.17. ábra. Kerékcsere és abroncsszerelés lépései - A folyamat a gyártói utasítások és a munkavédelmi szabályok betartásával.

41.5.8. Gyakorlati útmutató: kerékszerelés munkalapja

Feladat. Négy kerék cseréje nyári garnitúrára, TPMS-érzékelőkkel.

Cél. A kerekek szakszerű, biztonságos rögzítése a gyártó előírása szerint.

Szerszámok és eszközök: kerékemelő, állványok, nyomatékkulcs, kereszthorog, hosszabbító, dugókulcs-készlet, sűrített levegő, nyomásmérő, TPMS-tesztelő, rendszerteszter `(szükség szerint)`.

Anyagok: új kerékcsavarok (ha a gyártó előírja), TPMS-tömítés. A kerékcsavar menete és felfekvő felülete tiszta és száraz legyen; kenőanyagot (rézpaszta, szerelőspray) csak akkor használjunk, ha a gyártó kifejezetten előírja `(ellenőrizendő: gyártói adat)`.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

1. **Jármű előkészítése.** Rögzítsük a járművet, oldjuk a kerékcsavarokat a talajon.
2. **Emelés.** Emeljük a járművet a gyártói pontokon, helyezzük alá a bakot.
3. **Kerék levétele.** Távolítsuk el a csavarokat, húzzuk le a kereket.
4. **Felület-tisztítás.** Tisztítsuk meg a tárcsa és a kerékagy közötti felületet.
5. **Abroncs-szerelés.** Az új/garnitúra gumi felszerelése a tárcsára (a fent leírt TPMS- és DOT-szabályok szerint).
6. **Visszaszerelés.** A kereket illesszük a kerékagyra, helyezzük be a csavarokat, húzzuk meg őket kézzel.
7. **Leengedés és meghúzás.** Engedjük le a járművet, majd nyomatékkulccsal, keresztsorrendben, fokozatosan húzzuk meg a csavarokat a megadott nyomatékra: például $M = 120\,\mathrm{Nm}$ `(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)`.
8. **Nyomás.** Állítsuk be a hideg előírt nyomást mind a négy kerékben (pl. 2,3 bar `(ellenőrizendő: gyártói adattábla)`).
9. **TPMS-tanítás.** A rendszerteszterrel vagy a jármű fedélzeti menüjén keresztül tanítsuk be az érzékelőket. Ha indirekt TPMS, végezzük el a kalibrációt.
10. **Dokumentálás.** Vezessük fel a munkalapra a nyomatékot, a nyomást és a TPMS-érzékelő ID-kat.

Minőségellenőrzés. Ellenőrizze, hogy a kerékcsavarok nyomatéka a gyártói intervallumban van-e, a gumi nyomása megfelelő, a TPMS figyelmeztető lámpa kialudt, és a kerekek nem ütnek.

41.5.9. Valós életbeli alkalmazás

Ügyfélpanasz: A gépkocsi 100 km/h felett kormányremegést és enyhe fékpedál-pulzálást produkál. A gumis műhelyben a kerekeket kiegyensúlyozták, de a panasz megmaradt.

Vizsgálat: A szerelő a kerék leszerelése után észreveszi, hogy a kerékagy és a tárcsa illeszkedő felületén vastag rozsdaréteg található. A tárcsa nem feküdt fel síkban a kerékagyra, ami a forgástengelyhez képest enyhe excentricitást okozott. Ez a centrális ütés a féknyergekben és a kormányzásban remegést generált.

Javítás: Az illeszkedő felületek alapos letisztítása drótkefével és rozsdaoldóval. A tárcsa és a kerékagy közé távtartó lemez nem került, csak a tiszta fémet tettük össze. A kereket újra kiegyensúlyoztuk.

Tanulság: A kiegyensúlyozás hatástalan, ha a kerék nem ül fel tökéletesen a párjára. A kerékcserének része a felülettisztítás.

41.5.10. Tipikus hibák

1. **Túlhúzás légkulccsal.** A kerékcsavart úgynevezett „légkulcsos” meghúzással, pontos nyomatékkulcs nélkül rögzítik. A túlzott nyomaték 200 Nm fölé vihető (`ellenőrizendő: tipikus érték`), ami a menetek megnyúlásához, a tárcsa deformációjához vagy a csavar fejének letöréséhez vezet.
2. **TPMS szabotálása.** A szelep feletti bontófejjel való dolgozás letöri az érzékelőt. A bontás előtt mindig a szeleppel szemközti oldalon kell kezdeni, vagy ki kell emelni az érzékelőt a tárcsából.
3. **Hamis futásirány.** A kerekek felszerelésénél a gumi oldalfalán lévő `ROTATION` nyilat figyelmen kívül hagyják. A fordítva szerelt abroncs rosszabb vizes tapadást, nagyobb zajt és gyorsabb kopást okoz.
4. **Helytelen sorrend.** A kerékcsavarokat sorban, 1-2-3-4-5 sorrendben húzzák meg. A tárcsa féloldalasan ül fel, ami fékpulzálást okoz. A helyes a csillag (1-3-5-2-4) sorrend.

41.5.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A kerékcseréhez elég a kocsiemelő, a bak nem kötelező, ha gyorsan dolgozom. (Hamis. Kocsiemelővel tartott jármű alá nem szabad nyúlni; előbb bakra kell támasztani. Reteszelt emelőpadon a gyártói pontokon szabályos a munka.)
2. **Mi a DOT-kód:** `1521`? (2021. 15. hete.)
3. **Mit jelent a 120 Nm?** (A forgatónyomaték, amivel a kerékcsavart meg kell húzni; $1\,\text{Nm} = 1\,\text{N}$ erő 1 m-es karon.)
4. **Hová nem kerülhet keréksúly?** (A ragasztott súly nem kerülhet olyan helyre, ahol a féknyereghez ér, vagy ahol a tárcsa küllője/látható felülete miatt a gyártó tiltja; mindig a gép által kijelölt síkban helyezzük el.)
5. **Miért kell a TPMS-t újratanítani kerékcsere után?** (Mert az új pozícióban lévő érzékelőket a rendszer nem ismeri fel magától, és a téves pozíció a téves riasztást is okoz: pl. a jobb első abroncs baja helyett a bal hátsót mutatja.)

41.5.12. Feladatok

1. feladat (A) Egy 4 csavaros kerék meghúzásánál mi a keresztsorrend helyes sorrendje? (Rajzold le a csavarok helyzetét 1-től 4-ig és a sorrendje.)

2. feladat (A) Mi a különbség a gumiszelepes (snap-in) és a fém anyás (clamp-in) TPMS érzékelő között?

3. feladat (B) A nyomatékkulcs fejére a hossztengelyben 0,15 m-es karhossz-növelő adaptert szerelsz ($L = 0{,}45\,\text{m}$). A gyártói nyomaték 110 Nm. Mekkora értéket állíts be a kulcson?

4. feladat (B) Sorolj fel három olyan okot, amiért egy abroncsot tilos megjavítani. (Például: oldalfalon lévő lyuk; 6 mm-nél nagyobb lyuk; a szövetváz sérülése látszik.)

5. feladat (C) Miért fontos a kerékagy és a tárcsa illeszkedő felületének tisztítása? Milyen hiba tünete utal erre?

6. feladat (D) Egy autó kormánya 110–130 km/h között vibrál. A kerekeket éppen kiegyensúlyozták, de a vibráció marad. Mi a következő logikus lépés a diagnosztikában? (Pl. a kiegyensúlyozó gép kalibrálása; a gumiabroncs kifutásvizsgálata; a futómű bekötési pontjainak, lengéscsillapítók stb. ellenőrzése.)

41.5.13. Megoldások

1. feladat (A) A négy csavarnál a keresztsorrend: 1-3-2-4 (vagy 1-3, 2-4). A lényeg, hogy soha ne a szomszédos csavart húzzuk meg közvetlenül az előző után.

2. feladat (A) A gumiszelepes (snap-in) tömítőpereme van, és egyszerűen az anyag rugalmassága tartja a furatban. A fém anyás (clamp-in) szelepnek tömítése van, anyával kell rögzíteni kívülbelül.

3. feladat (B) $M_{\text{beállított}} = 110 \cdot \dfrac{0{,}45}{0{,}45 + 0{,}15} = 82{,}5\,\text{Nm}$. Az adapter megnöveli a tényleges kart, ezért a kulcson kisebb értéket kell beállítani; dugókulcs-hosszabbító szárnál nincs korrekció.

4. feladat (B) (Például) 1. A lyuk az oldalfalon van; 2. A lyuk 6 mm-nél nagyobb; 3. A belső szövetréteg megsérült vagy a gumifal repedt.

5. feladat (C) A szennyezett felület a tárcsa enyhe excentricitását okozza, ami fékpedál pulzálását és kormányremegést okoz. A tisztítás a kerékcserének kötelező része.

6. feladat (D) A következő lépés a futómű elemeinek átvizsgálása (szilentek, gömbcsuklók, lengéscsillapító), továbbá a kerék gördülési kifutásának (radial runout) mérése, mert az egyensúlyozás nem szünteti meg a radiális erőingadozást, ha a gumi maga deformált.

41.5.14. Rövid összefoglaló

A kerékcsere és abroncsszerelés a járműbiztonság sarokpontja. A kerékcsavarokat mindig a gyártói nyomatékra, keresztsorrendben, a jármű leengedése után húzzuk meg. A kerékagy és a tárcsa felületét minden szerelésnél meg kell tisztítani. Az abroncsot a DOT-kód és a futásirány (`ROTATION` vagy `INSIDE/OUTSIDE`) figyelembevételével, a TPMS-érzékelő védelmével szereljük. A kiegyensúlyozás nem helyettesíti a pontos illeszkedést, és a defektjavítás csak a futófelület középső részén, a gyártói mérethatárig megengedett; az oldalfal sérülése mindig selejtezést jelent. **Továbbvitt eredmény.** A jelen munkalap és a gyakorlatok közvetlenül felkészítenek a vizsga Gyakorlati vizsgafelkészülés alfejezetére.

41.5.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a gumiabroncs-szerelés általános műhelyi gyakorlatára és a diagnosztikai alapelvekre épít. Az alábbi pontok ellenőrzést igényelnek a kiadás előtt:

- A kerékcsavarok meghúzási nyomatéka típusonként (pl. 120 Nm) `(ellenőrizendő: gyártói javítási adat)`.
- A TPMS-érzékelők betanítási eljárása és élettartama `(ellenőrizendő: gyártói útmutató)`.
- A defektjavítás határértéke (max. 6 mm) `(ellenőrizendő: abroncsgyártói szabvány)`.
- A hulladék abroncsokra vonatkozó előírások `(ellenőrizendő: hatályos hulladékgazdálkodási jogszabály)`.

42 Elektromos berendezések szerelése

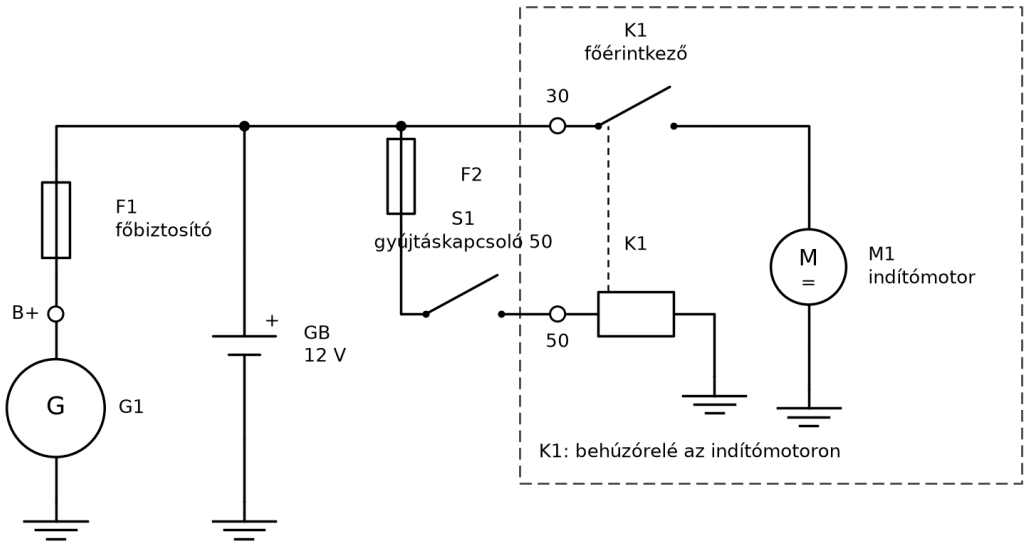
42.1. Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése

42.1.1. Motiváció

Egy műhelyben az ügyfél autóján reggelenként bizonytalanul indul a motor, a tompított fényszóró nem világít, és a műszercsoport akkumulátor-visszajelzője halványan dereng. A szerelőnek előbb meg kell állapítania, hogy a hiba az akkumulátorban, a generátorban, a kábelezésben vagy az indítómotorban van. A tüneteket nem szabad egyetlen alkatrész cseréjével elintézni: a villamos rendszer szerelése akkor szakszerű, ha a vezetékjavítást, a töltőkört és az indítókört együtt, gyártói adatok szerint ellenőrizzük. Ez az alfejezet a kézi szerelési műveleteket, a csatlakozójavítást, a világítás, az áramellátás és az indítás szerelését tanítja, a Áramút-alapú hibakeresés módszerére és a Kötések készítése és oldása alfejezetben tanult nyomatékbeállítási és kötésszerelési szabályokra építve.

42.1.2. Szemléletes kép

Az alábbi ábra az indító- és töltőáramkört mutatja, ahogyan a gépjármű-villamossági rajzon dolgozunk. A 30-as ág az akkumulátor pozitív pólusából indul. Az indítómotor főárama közvetlenül a 30-as kapocsról, a behúzórelé (K1) főérintkezőjén át jut a motorra; az indítókábel nincs biztosítva. A gyújtáskapcsoló 50-es állása (biztosítón át) csak a behúzórelé tekercsét táplálja, így a kapcsolón csak a vezérlőáram folyik. A generátor (G1) B+ kapcsa a főbiztosítón (F1) át a 30-as ágra, vagyis az akkumulátor pozitív pólusára dolgozik; az akkumulátor, a generátor, a behúzótekercs és az indítómotor egyaránt a 31-es testen zár.



42.1. ábra. Indító- és töltőáramkör elvi kapcsolási rajza - Szemléltető tanulási rajz (alapállapot: gyújtás ki); a gyári áramútrajz kapocsjelölései és értékei típusonként eltérhetnek.

A gyakorlatban a járművön a pozitív kábelt gyakran piros vagy szürke, a testkábelt barna vagy fekete szín jelöli; a kapocsjelek az áramútrajz szerint azonosak. A méréshez a multiméter fekete mérőzsinórját 31-es testpontra, a pirosat 30-as, 50-es vagy B+ pontra kötjük. A rajz–jármű–mérés hármas itt azt jelenti, hogy ugyanazt a pontot az áramútrajzon, a járművön és a mérési helyen is azonosítani kell.

42.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Krimpelés (crimping): a csatlakozótű vagy kábelérvég hideg sajtolása, amelyben a hüvely és a vezetékerek képlékenyen (maradó módon) alakváltoznak, és gáztömör, nagy felületű fémes érintkezés jön létre; a jó krimpelés hideg kötés, nem igényel forrasztást, de nem bontható, és rontott krimpelés után a tűt cserélni kell.

Definíció. Zsugorcső: hő hatására zsugorodó, szigetelő és részben tömítő műanyagcső, amely a krimpelés vagy forrasztás helyét mechanikailag tehermentesíti és szigeteli.

Definíció. Forrasztott kötés: lágyforraszos kötés, amely a vezetékerek közé ón alapú segédanyagot olvaszt; a járművön csak ott alkalmazható, ahol a gyártó engedi, mert a forrasztás mentén merev töréspont alakulhat ki.

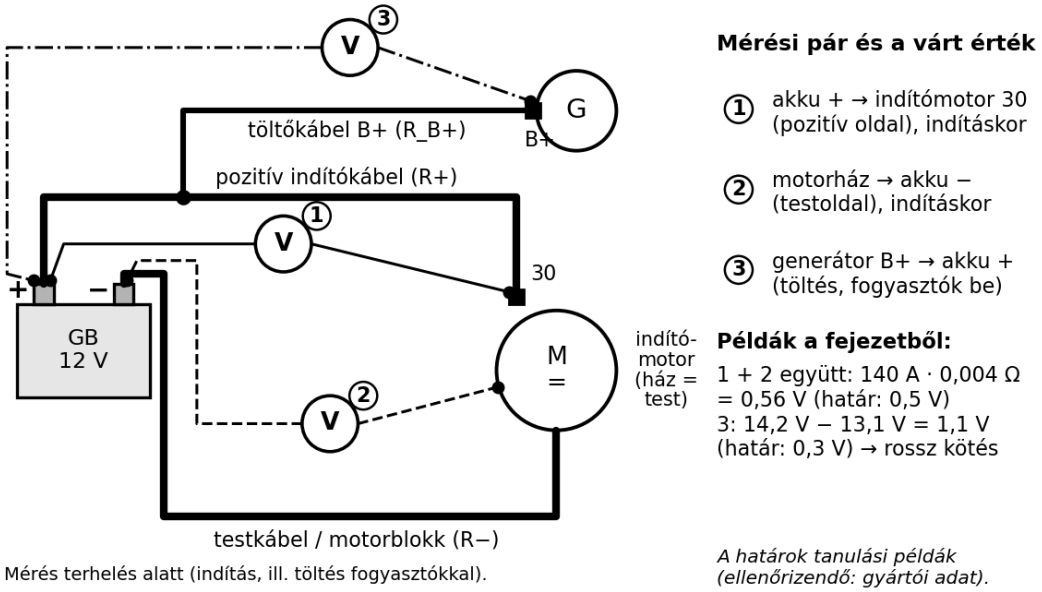
Definíció. Szabadonfutó szíjtárcsa: a generátor hajtószíjtárcsájában lévő egyirányú tengelykapcsoló, amely a motor egyenetlen járásából származó szíjlengést csökkenti.

Összefüggés. A villamos kötés ellenállása az áramút teljes ellenállásához adódik:

$$U_{\text{esés}} = I \cdot R.$$

Ha a csatlakozó érintkezési ellenállása megnő, a fogyasztó kapcsain kisebb feszültség jelenik meg, és a kötés melegszik. Ezért a feszültségesés-mérés a szerelés utáni ellenőrzés legfontosabb lépése.

A feszültségesést mindig terhelés alatt mérjük, a vezeték vagy kötés két végére tett multiméterrel. Az alábbi ábra a három leggyakoribb mérési párt mutatja: (1) a pozitív indítókábel az akkumulátor + pólusától az indítómotor 30-as kapcsáig, (2) a testoldal a motorháztól az akkumulátor − pólusáig, mindkettő indítás közben, és (3) a töltőkör a generátor B+ kapcsától az akkumulátor + pólusáig, járó motornál, bekapcsolt fogyasztókkal. A HTML-változatban kiválasztható a mérési pont, ki-be kapcsolható a terhelés, és az átmeneti ellenállások állíthatók; terhelés nélkül a műszer 0 V-ot mutat, felcserélt zsinóroknál negatív számot.



42.2. ábra. Feszültségesés-mérés az indító- és töltőkörben: három mérési pár és a fejezet példáinak értékei (a határok tanulási példák, ellenőrizendők)

Szabály. A jármű villamos vezeték javításakor az új vezeték keresztmetszete legalább az eredeti vezetékével egyezzen meg; a toldás legyen tehermentesített, vízmentesített, és ne kerüljön mozgó alkatrész vagy hőforrás közelébe.

Szabály. Légzsák/övfeszítő pirotechnikai gyújtókörét, nagyfeszültségű (HV) narancssárga vezetékét és adatbuszvezetékeket nem szabad házilag toldani; ott a gyártói utasítás dönt. A légzsák körében minden javítás előtt a gyújtást le kell kapcsolni, az akkumulátort le kell kötni, és ki kell várni a gyártó által megadott időt (ellenőrizendő: gyártói adat).

Előírás. A fedélzeti hálózat kapocsjelölésére a DIN 72552 szerinti hazai gyakorlatot használjuk: `30` akkumulátor plusz, `15` gyújtáskapcsolás után, `50` indítás, `31` test, `B+` generátor fő kimenet, `D+` generátor jel, `58/56a/56b` világítási kapcsok (ellenőrizendő a gyártói rajz szerint).

Továbbvitt eredmény. A vezetékjavítás, a töltőkör és az indítókör szerelési lépéseit később az elektronikus rendszerek (ABS/ESP, légzsák, ADAS) javításánál is alkalmazzuk: ha a kábelköteg sérült, csak így marad meg a rendszer galvanikus kapcsolata és jelintegritása. Ezt az Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS alfejezet használja fel, különösen a csatlakozótűk cseréjénél és a feszültségesés-alapú hibakeresésnél.

42.1.4. Felépítés és működés / technológia

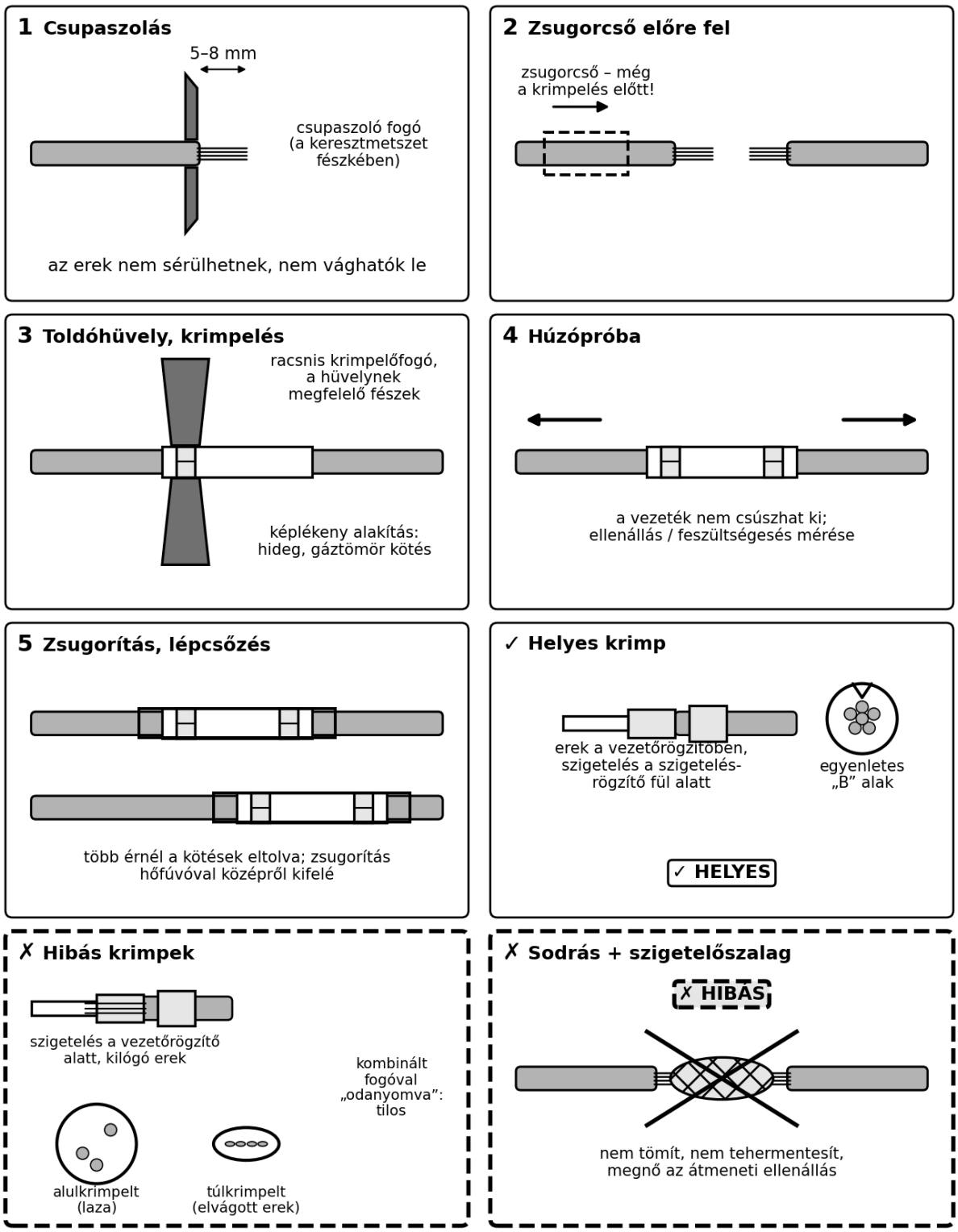
42.1.4.1. Vezetékjavítás lépései

A vezetékjavítási technológia jól meghatározott lépéssor, amelyet minden toldásnál be kell tartani.

Eljárás. Vezetékjavítás krimpeléssel és zsugorcsővel.

1. Az áramútrajz és a jármű azonosítása, a sérült szakasz feszültségmentesítése.
2. A vezeték színének, keresztmetszetének és típusának azonosítása (pl. 1,5 mm² FLY, hőálló vagy árnyékolt).
3. A sérült rész kimérése, a toldás helyének kiválasztása, lehetőleg a kábelköteg mechanikai igénybevételtől védett részén.
4. A vezetékvégek megfelelő hosszú csupaszolása (pl. 5–8 mm, az érvég típusától függően).
5. Csatlakozótű vagy egybenyomott érvég felhelyezése, majd krimpelőfogóval történő sajtolás.
6. A kötés zsugorcsővel való befedése, a zsugorcső hőfúvóval történő rögzítése.
7. A kábel tehermentesítése kábelkötözővel, a kábelköteg visszarögzítése.
8. Feszültségesés-mérés vagy ellenállásmérés a javított szakaszon.

A recept fogásait és a kötések minőségét az alábbi képsor mutatja: csupaszolás az erek sérülése nélkül, a zsugorcső előzetes felhúzása, krimpelés racsnis fogóval a megfelelő fészekben, húzópróba, majd zsugorítás és több érnél a kötések eltolása. A nagyított részletek a helyes krimpet (erek a vezetőrögzítőben, szigetelés a szigetelésrögzítő fül alatt), a hibás krimpeket és a tiltott sodrás–szigetelőszalag javítást mutatják. A HTML-változatban a képsor lépésenként és galériaként is megnézhető.



42.3. ábra. Vezetékjavítás krimpeléssel és zsugorcsővel: öt lépés, helyes és hibás krimp, tiltott sodrott toldás (sematikus vonalrajz)

Tilos. A krimpelést kombinált fogóval vagy laposfogóval „odanyomni”; a nem megfelelő sajtolás laza kötést, forró pontot és időszakos hibát okoz. A forrasztásnál ólommentes forrasz és gyanta alapú folyasztószer használata indokolt; savas folyasztószer nem használható, mert korrodálja az ereket.

Megjegyzés. A csatlakozótűk cseréje a fedélzeti hálózatnál különösen igényes. A régi tűt speciális kibontó szerszámmal oldjuk ki a műanyag házból, az új tűt a gyártói pozíció szerint pattintjuk be. A polaritást és a tűpozíciót az áramútrajz határozza meg; a rossz pozícióba beszerelt tű zárlatot vagy vezérlőegység-sérülést okozhat.

Szabály. Mit nem szabad javítani? A légzsák és övfeszítő gyújtókörét, a nagyfeszültségű narancssárga HV-vezetékeket, valamint sok adatbuszvezetéket a gyártó nem javítani, hanem cserélni írja elő, mert a toldás ellenállása, hossza és sodratgeometriája megváltozik, és ez a busz jelintegritását rontja. Az ilyen munkát a gyártói dokumentáció és a Elektronikus rendszerek javítása alfejezet szerint kell elvégezni.

42.1.4.2. Világítás szerelése, izzócsere

A világítás hibakeresése a Áramút-alapú hibakeresés módszerét követi: tünet, hipotézis, mérés, ok, javítás, ellenőrzés. A tompított fényszóró nem égése esetén első lépés az izzó, a biztosíték, a relé, a kapcsoló, a testcsatlakozás és a foglalat feszültségesésének ellenőrzése.

- Halogén izzónál az üvegtestet nem szabad kézzel érinteni: a bőrről rászáradt zsír hőtorzulást okoz, és az izzó idő előtt kifeketedhet. Ha megérintettük, izopropanollal le kell törölni.
- Xenon fényforrás: a gyújtófeszültség induláskor több ezer volt (tanulási példa: 20–25 kV, ellenőrizendő). A fényszóró izzója vagy gyújtóegysége előtt az akkumulátort le kell kötni, és a gyártói várakozási időt be kell tartani. A fényszórót csak a gyártói kiszerelési sorrendben szabad bontani.
- A fényszóró beállításához a jármű állapotát (üzemanyagszint, terhelés, keréknyomás) és a gyártói magassági értékeket be kell tartani. A fényszóró-vizsgáló készülékkel az ECE R48 által meghatározott fény-árnyékhatárt és eltérést ellenőrizzük (számok ellenőrizendők).

Előírás. A fényszórók, az izzók és a világítási jelek beépítése és beállítása az ECE R48 előírás szerint, a gyári és a hatósági műszaki vizsga követelményei szerint történik; a pontos határértékek a mindenkor hatályos szabályozásban találhatók (ellenőrizendő: ECE R48 és a hatályos magyar műszaki vizsga előírás).

42.1.4.3. Akkumulátor, generátor és indítómotor szerelése

Eljárás. Akkumulátorcsere.

1. Gyújtás ki, kulcs távol, elektronikus igény (pl. ablakemelő-, kormányszög- és akkumulátor-regisztrációs tanítás) leolvasása.
2. Először a negatív sarut (–) kössük le, hogy a szerszám ne rövidre zárhasson a testtel.
3. A pozitív sarut (+) védjük le, a rögzítő csatot, tartólemezt oldjuk.
4. Az akkumulátort függőlegesen emeljük ki; savmarás ellen védőkesztyű és védőszemüveg.
5. Az új akkumulátor telepítése előtt a sarukat és a testpontot meg kell tisztítani, a BMS-érzékelőt (ha van) a gyártó szerint kell beszerelni.
6. Az akkumulátort rögzíteni, majd **először a pozitív sarut, utána a negatív sarut** visszakötni, nyomatékkulccsal a gyártói példaértékre (pl. 5–7 Nm, ellenőrizendő) húzni.
7. Az energiamenedzsment-rendszerben az új akkumulátort regisztrálni; start-stop rendszernél az akkumulátor-típust és a SoC-alapértéket is meg kell adni.

Eljárás. Generátor ki- és beszerelése.

1. Akkumulátor negatív saru lekötése.
2. A segédberendezések hajtószíjának ellenőrzése, majd a szíjfeszítő oldása.

3. A generátor kábeleinek (B+, D+/LIN, test) leválasztása, a csatlakozók megjelölése.
4. A generátor rögzítőcsavarjainak oldása, a generátor kiemelése.
5. Az új generátor beszerelésénél a csavarokat kézzel előszerelni, majd nyomatékkulccsal meghúzni (pl. 25 Nm, ellenőrizendő).
6. A szíjfeszítést a gyártói módszerrel (frekvencia vagy elhajlás a fesztávolság tizede, pl. 10–15 mm 100 N erőnél, ellenőrizendő) ellenőrizni.
7. A szabadonfutó szíjtárcsa ellenőrzése: a belső csiga az egyik irányba szabadon elforgatható, a másik irányba zár; ha mindkét irányban szabad vagy berág, akkor cserélni kell.
8. Kábelek visszakötése, akkumulátor felkötése, töltőfeszültség ellenőrzése.

Eljárás. Indítómotor ki- és beszerelése.

1. Akkumulátor negatív saru lekötése.
2. Az indítómotor táp- és vezérlőkábeleinek (30-as főkábel, 50-es vezérlő, test) leválasztása.
3. A rögzítőcsavarok oldása és a hűtőcső vagy egyéb akadály elmozdítása a gyártói sorrend szerint.
4. Az indítómotor kiemelése, a fogaskerék és a lendkerék-fogkoszorú állapotának ellenőrzése.
5. A csavarokat és a csatlakozófelületeket megtisztítani, az új indítómotort a gyártói nyomatékkal rögzíteni.
6. A kábeleket a 30-asra és 50-esre visszakötni, a 31-es testet ellenőrizni.
7. Akkumulátor felkötése után indításteszt, feszültség- és áramfelvétel-ellenőrző mérés.

42.1.4.4. Indítómotor szétszerelése és hibakeresése

Az indítómotor három fő része: egyenáramú motor (armatúra, gerjesztés/kefék), behúzórelé, szabadonfutó fogaskerekes szerkezet.

- Ha csak kattan, de nem forog: a relé behúz, de a főáramkör szakadt, a kefék elkoptak, az akkumulátor lemerült vagy a testcsatlakozás rossz.
- Ha a motor forog, de a lendkereket nem forgatja: a szabadonfutó csúszik.
- Ha lassan forog és magas az áramfelvétel: a kábel ellenállása, az indítómotor csapágyazása vagy a belső zárlat a hiba.

A szétszerelésnél a kefék kopását a gyártói határral (pl. a minimális kefehossz 7 mm alatt cserés, ellenőrizendő) hasonlítjuk össze; ellenőrizzük az armatúra kommutátorát, a behúzórelé záróérintkezőjének átmeneti ellenállását és a szabadonfutó egyirányú zárását.

42.1.5. Kidolgozott példák

Számítás. Adott: indítómotor áramfelvétele $I = 140\,\mathrm{A}$; az összekötő vezeték + test együttes ellenállása $R = 0{,}004\,\Omega$. Keresett: a feszültségesés $U_{\text{esés}}$ és az indítómotor kapocsfeszültsége, ha az akkumulátor feszültsége 12,0 V.

Képlet: $U_{\text{esés}} = I \cdot R$. Behelyettesítés: $U_{\text{esés}} = 140 \cdot 0{,}004 = 0{,}56\,\mathrm{V}$. A motor kapcsain: $12{,}0 - 0{,}56 = 11{,}44\,\mathrm{V}$. Ellenőrzés: $I = U_{\text{esés}}/R = 0{,}56/0{,}004 = 140\,\mathrm{A}$, rendben. A 0,56 V esés hidegindításkor már észrevehető, mert a motor fordulatszáma és a befecskendezésvezérlés is romlik.

Számítás. Adott: a generátor rögzítőcsavarja $M = 25\,\mathrm{Nm}$ nyomatékra húzott. A nyomatékkulcs hossza $r = 0{,}4\,\mathrm{m}$. Keresett: a szükséges kézi erő F.

Képlet: $M = F \cdot r$, amiből $F = M/r$. Behelyettesítés: $F = 25/0{,}4 = 62{,}5\,\mathrm{N}$. Ellenőrzés: ez körülbelül 6,4 kg tömegnek megfelelő erő, amit nyomatékkulccsal kézben tartható. Ha valaki 100 N erővel húzza, a nyomaték 40 Nm, ami túlfeszítés, menettöréshez vezethet.

Ellenpélda (hibás gondolat). „Az akkumulátor feszültsége 12,3 V, tehát jó.” Ez téves, mert a feszültség önmagában nem mutatja a kapacitást és a hidegindító képességet; terhelés alatt kell mérni, vagy akkumulátorvizsgáló műszerrel terheléses tesztet végezni.

42.1.6. Minőségellenőrzés

A javítás után az alábbi ellenőrzőlista szerint járunk el:

- **Vezetékjavítás:** a toldás ellenállása mérőzsinórral $< 0{,}1\,\Omega$ (tanulási példa), vagy jobb: a fogyasztó bekapcsolásával a javított kötésen mért feszültségesés $< 0{,}1\,\mathrm{V}$ (ellenőrizendő).
- **Töltés:** alapjáraton a generátor kimenő feszültsége a fogyasztókkal együtt is a gyártói tartományban, jellemzően 13,8–14,4 V (ellenőrizendő) legyen; a B+ és az akkumulátor plusz közti feszültségesés terhelve $< 0{,}3\,\mathrm{V}$ példa.
- **Indítás:** a motor az első 1–2 másodpercben forog, az indítómotor feszültségkapcsain legalább 9–10 V mérhető indítás közben (ellenőrizendő).
- **Világítás:** az izzó cseréjét követően a fényszórómagasságot és oldalszórást fényszóró-beállító készülékkel ellenőrzik.

42.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy benzines ügyfélautó reggelente alig indult, délután jól. A műhelyben az akkumulátor feszültsége 12,3 V volt; a generátor B+ és az akkumulátor plusz között járó motornál, bekapcsolt fényszóróval és hátsóablak-fűtéssel 0,7 V feszültségesés mutatkozott, ami a korrodált akkupozitív kábel érintkezésére utalt. A kábelsaru és a kábel cseréje után a töltőfeszültség 14,1 V-ra emelkedett, és a hidegindítás is megjavult. **Tanulság:** a feszültségesés-mérés a generátor és az akkumulátor között is kulcsfontosságú, nem elegendő csak az akkumulátort kicserélni.

42.1.8. Gyakorlati útmutató

Munkalap: generátor és indítómotor szerelése, töltés ellenőrzése

Cél: a gyártói adatok szerint a generátor és az indítómotor ki- és beszerelése, majd a töltő- és indítóáramkör ellenőrzése. **Jármű- és adatazonosítás:** alvázszám, motorkód, generátor típusa, indítómotor típusa, akkumulátor típusa és regisztrációs igénye. **Szerszámok:** multiméter CAT III (ellenőrizendő: mérési kategória), lakatfogó, nyomatékkulcs, szíjfeszességmérő, általános kéziszerszámok, csatlakozó-kibontó, krimpelő, hőfúvó. **Anyagok:** új vezeték, érvégek, zsugorcső, akkumulátor-saru védő, csavarbiztosítás.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A jármű alá csak mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn vagy bakon szabad bemenni, a kipufogógáz zárt térben csak elszívással üzemeltethető.

Figyelem. Lekötéskor a negatív sarut oldjuk először, felkötéskor a negatív sarut kötjük vissza utoljára, hogy a szerszám ne zárhassa a pozitív pólust a testhez. Az ólom-savas akkumulátor töltése közben hidrogén képződik; nyílt lángtól távol kell tartani.

Környezetvédelem. A régi akkumulátor ólmot és savat tartalmaz, veszélyes hulladék; csak gyűjtőhelyre szabad leadni, nem kommunális hulladékba. A sérült akkumulátorból kifolyt sav feltakarítása egyéni védőeszközzel, lúgos közömbösítéssel történik.

Számozott munkalépések:

1. Az akkumulátor negatív sarujának lekötése, a villamos rendszer védelme.
2. A generátor kábeleinek, csatlakozóinak, a szíj és a feszítő állapotának fotódokumentálása.
3. A hajtószíj feszítőjének oldása, a szíj levétele.
4. A generátor rögzítőcsavarjainak és kábeleinek oldása, a generátor kiemelése.
5. Az új generátor vagy javított egység beszerelése, csavarok kézi előszerelése, majd a gyártói nyomatékkal és sorrendben meghúzás.
6. A szíj visszahelyezése; a feszítést a gyártói előírás szerint ellenőrizni.
7. A kábelek visszakötése: B+ szorosan, D+/LIN jel, test.
8. Az indítómotor vezérlőkábelének (50) levétele, a főkábel (30) levétele, a rögzítőcsavarok oldása, az indítómotor kiemelése.
9. A lendkerék-fogkoszorú sérülésmentességének ellenőrzése; az indítómotor szabadonfutójának, keféinek ellenőrzése vagy az új motor beépítése.
10. Az indítómotor csavarjainak rögzítése, a kábelek csatlakoztatása.
11. Akkumulátor felkötése: először pozitív, majd negatív.
12. Töltésellenőrzés: alapjáraton és terhelve a B+, akkumulátor-, testpontok feszültségének mérése, feljegyzése.
13. Indításteszt, a csatlakozók melegedésének ellenőrzése.
14. Rendszerteszterrel az akkumulátor-regisztráció és a hibakódok törlése, readiness-állapot.

Ellenőrzési pontok. A generátor B+ kimenete és az akkumulátor pozitív közötti feszültségesés max. 0,3 V; az indítókábel esése max. 0,5 V (tanulási példák, ellenőrizendő). A hibakódmentesség és a töltésfigyelő visszajelző kikapcsolása szükséges.

Tipikus hibák a munkában. A szíj túlfeszítése csapágyterhelést okoz, a laza szíj csúszik és csipog; a generátor B+ kábelét nem húzzák nyomatékkulccsal, így később forró kötés alakul ki; a régi szabadonfutó szíjtárcsát megtartják, pedig az új generátorral együtt cserélendő.

42.1.9. Tipikus hibák

- **Az akkumulátorcsere sorrendjének felcserélése.** Ha a pozitív sarut kötik le először, a kulcs a testhez érve rövidzárat okozhat; a negatív sarut mindig először lekötni és utoljára visszakötni.
- **A feszültségesés-mérés elhagyása.** Ha csak az izzót vagy az indítómotort cserélik, nem derül ki a korrodált csatlakozó; a terhelés alatti feszültségesés-mérés az alap.
- **Xenon izzó gyújtás alatti cseréje.** A gyújtóegység feszültsége nagyfeszültségű, és a fényforrás is forró; mindig feszültségmentesítve, gyártói várakozási idővel dolgozz.
- **Krimpelés után nincs zsugorcső tehermentesítés.** A vezeték mozgás hatására a krimpelésnél eltörik, a hiba időszakos lesz.

42.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a krimpeléshez forrasztani is kell? (Indoklás.)
2. Egy indítókábel ellenállása 0,005 Ω, az indítómotor árama 160 A. Mekkora a feszültségesés?
3. A generátorcsere után a töltőfeszültség alapjáraton 12,0 V. Mi lehet a hiba? (Egy lehetséges ok.)
4. Miért nem szabad a légzsák gyújtókörét házilag megtoldani?

5. A tompított fényszóró nem ég, de az izzó jó, a biztosíték ép, a relé kattan. Melyik mérést végzed következőként?

A válaszokat a Megoldások elején találod.

42.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Írd le a szakszerű vezetékjavítás lépéseit (legalább hatot) a helyes sorrendben.

2. feladat (A). Egészítsd ki: az akkumulátorcsere előtt a(z) ___ sarut kötjük le először, visszakötéskor ezt ___ kötjük; ennek oka, hogy a szerszám ne zárhassa rövidre a ___ pólust a testtel.

3. feladat (B). A töltőáramkörben a generátor B+ kimenete 14,2 V, az akkumulátor pozitív pólusán 13,1 V. Mekkora a feszültségesés? Jó-e ez az érték, ha a gyakorlati határ 0,3 V? Mire utal a hiba?

4. feladat (B). A rajz (áramköri diagram) alapján azonosítsd a 30, 50, 31, B+ jelű pontokat; magyarázd el, miért a behúzórelé főérintkezője kapcsolja az indítómotor áramát, és miért nem a gyújtáskapcsoló.

5. feladat (C). Az indítómotor csak kattan, de nem forog. Az akkumulátor feszültsége 12,6 V, a kapcsok szorosak. Milyen méréseket végeznél a relé, a motor és a kábelek vizsgálatára? Adj legalább három mérési pontot.

6. feladat (D). A tompított fényszóró nem ég. Az izzó jó, a biztosíték ép, a relé kattan. A foglalatnál izzó nélkül 12,0 V mérhető, de izzó behelyezve már csak 9,2 V. Mi a hiba? Igazold feszültségesés-méréssel, és írd le a javítást.

42.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A jó krimpelés hideg sajtolás, nem igényel forrasztást; a forrasztás merev töréspontot okozhat, ezért járművön csak a gyártó által engedett helyen alkalmazzuk.
2. $U_{\text{esés}} = I \cdot R = 160 \cdot 0{,}005 = 0{,}8\,\text{V}$.
3. A generátor nem tölt: alapjáraton járó motornál a töltőfeszültségnek 13–15 V körül kellene lennie (ellenőrizendő: gyártói adat), a 12,0 V az akkumulátor üres feszültsége. Egy lehetséges ok: a D+/LIN vezérlőcsatlakozót nem kötötték vissza (vagy a LIN-vezérelt generátor nincs kódolva), ezért nincs gerjesztés; más ok lehet a hibás szabályozó, a nem visszakötött vagy rossz B+ kábel, illetve a csúszó szíj. Ellenőrzés: a B+ kapcson mért feszültség; ha a B+ is 12 V körüli, a generátor/gerjesztés a hibás, ha a B+ 14 V feletti, a B+ vezeték feszültségesése.
4. A légzsák pirotechnikai gyújtókörét nem lehet házilag toldani, mert a kötés ellenállásváltozása vagy szakadása véletlen kioldást vagy hibakódot okozhat; a gyártói utasítás szerint kell cserélni.
5. Terhelés alatt (bekapcsolt fényszóróval) a foglalat tápoldali (relé 87 → foglalat +) és testoldali (foglalat − → 31) feszültségesését mérem; a nagy esés mutatja a rossz érintkezést.

Feladatmegoldások

1. A szakszerű vezetékjavítás lépései (a recept szerint): (1) feszültségmentesítés (akkumulátor lekötése) és a hiba lokalizálása, (2) vezetékazonosítás (keresztmetszet, típus, színkód), (3) csupaszolás az erek sérülése nélkül, (4) zsugorcső felhúzása, (5) csatlakozótű/toldóhüvely krimpelése racsnis fogóval, (6) húzópróba, (7) zsugorítás és tehermentesítés, a toldások eltolása, (8) záró mérés (folytonosság, terhelés alatti feszültségesés) és dokumentálás.

2. Az akkumulátorcsere előtt a **negatív** sarut kötjük le először; visszakötéskor ezt **utoljára** kötjük; ennek oka, hogy a szerszám ne zárhassa rövidre a **pozitív** pólust a testtel.

3. A feszültségesés $U_{\text{esés}} = 14{,}2 - 13{,}1 = 1{,}1\,\text{V}$. Ez nagyobb, mint 0,3 V; a generátor és az akkumulátor közötti plusz vagy testoldali érintkezés rossz. Javítás: a saru/csatlakozó tisztítása vagy cseréje.

4. A rajzon a 30 az akkumulátor pozitív főág busza, az 50 a gyújtáskapcsoló indítóállása és a relé tekercs vezérlőpontja, a 31 a test, a B+ a generátor kimenete. Az indítómotor több száz amperes főáramát az indítómotorra szerelt behúzórelé (mágneskapcsoló) főérintkezője kapcsolja a 30-as kapocsról a motorra; az 50-es kapocs (a gyújtáskapcsoló indítóállása, esetleg indítás-engedélyező segédrelén át) csak a behúzórelé tekercsét táplálja, ezért a gyújtáskapcsolón csak a kis vezérlőáram folyik. Az indítókábel általában nincs biztosítva (ellenőrizendő: gyártói áramútrajz).

5. Mérni kell: (a) az 50-es kapocs feszültségét indításkor (kb. 10–12 V legyen), (b) a behúzórelé főérintkezőjén (30-as kapocs és motorkapocs között) a feszültségesést záráskor (közel 0 V), (c) az indítómotor testcsatlakozásának feszültségesését indítás közben (kb. <0,5 V), (d) az akkumulátor feszültségét terhelés alatt (ne legyen 9,6 V alatt). Az ok lehet a behúzórelé, a kefe, a testkábel vagy az indítómotor belső szakadása.

6. Az izzó nélkül mért 12,0 V csak üresjárást mutat; terhelve 9,2 V. A különbség 2,8 V. Ezt a reléérintkező, a foglalat vagy a testcsatlakozó feszültségesés-mérésével lokalizáljuk: ha a tápoldali esés 2,0 V, a testoldali 0,8 V, akkor a rossz érintkezés a relécsatlakozóban és/vagy a foglalatban van. Javítás: a foglalat és a relécsatlakozó tisztítása, a korrodált csatlakozótűk cseréje, majd ismételt mérés.

42.1.13. Rövid összefoglaló

A 12 V-os gépjárművillamos rendszer szerelése pontosan dokumentált, tünetalapú hibakeresésből, szerelésből és ellenőrzésből áll. A vezetéket az eredeti keresztmetszetnek megfelelő anyaggal, krimpeléssel és zsugorcsővel javítjuk; a légzsák, a HV- és az adatbuszvezetékek gyártói előírás nélkül nem toldhatók. A töltő- és indítókörben a feszültségesés-mérés a legfontosabb: $U_{\text{esés}} = I \cdot R$; a generátor és az akkumulátor közötti töltőfeszültség-eltérés korrodált kötésre utal. Az akkumulátorcsere előtt a negatív sarut kötjük le, vissza előbb a pozitívat; a modern járműveknél az új akkumulátort regisztrálni kell. A generátor- és indítómotor-cserénél a szíjfeszítés, a szabadonfutó szíjtárcsa, a nyomatékok és a kapocshúzás gyártói adat. **Továbbvitt eredmény.** Ez a szerelési fegyelem, a csatlakozótűk szakszerű cseréje és a feszültségesés-alapú ellenőrzés az alapja az Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS fejezetben tárgyalt biztonságos csatlakozó- és kábeljavításnak.

42.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Gyártói javítási utasítás: akkumulátor-regisztráció, generátor/indítómotor nyomatékai, szíjfeszesség, feszültséghatárok, légzsák várakozási idő (ellenőrizendő).
- DIN 72552: gépjármű-villamossági kapocsjelölések (30, 15, 50, 31, B+, D+).

- ECE R48: fényszórók beépítése és beállítása; xenon fényforrásra vonatkozó további ECE-előírás száma ellenőrizendő.
- MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjelek a kapcsolási rajzhoz.
- Áramút-alapú hibakeresés: az Áramút-alapú hibakeresés alfejezet szerint.
- A hidegindító áram és az akkumulátor-minőség szerinti szabvány: EN 50342-1 (ellenőrizendő a hatályosság).

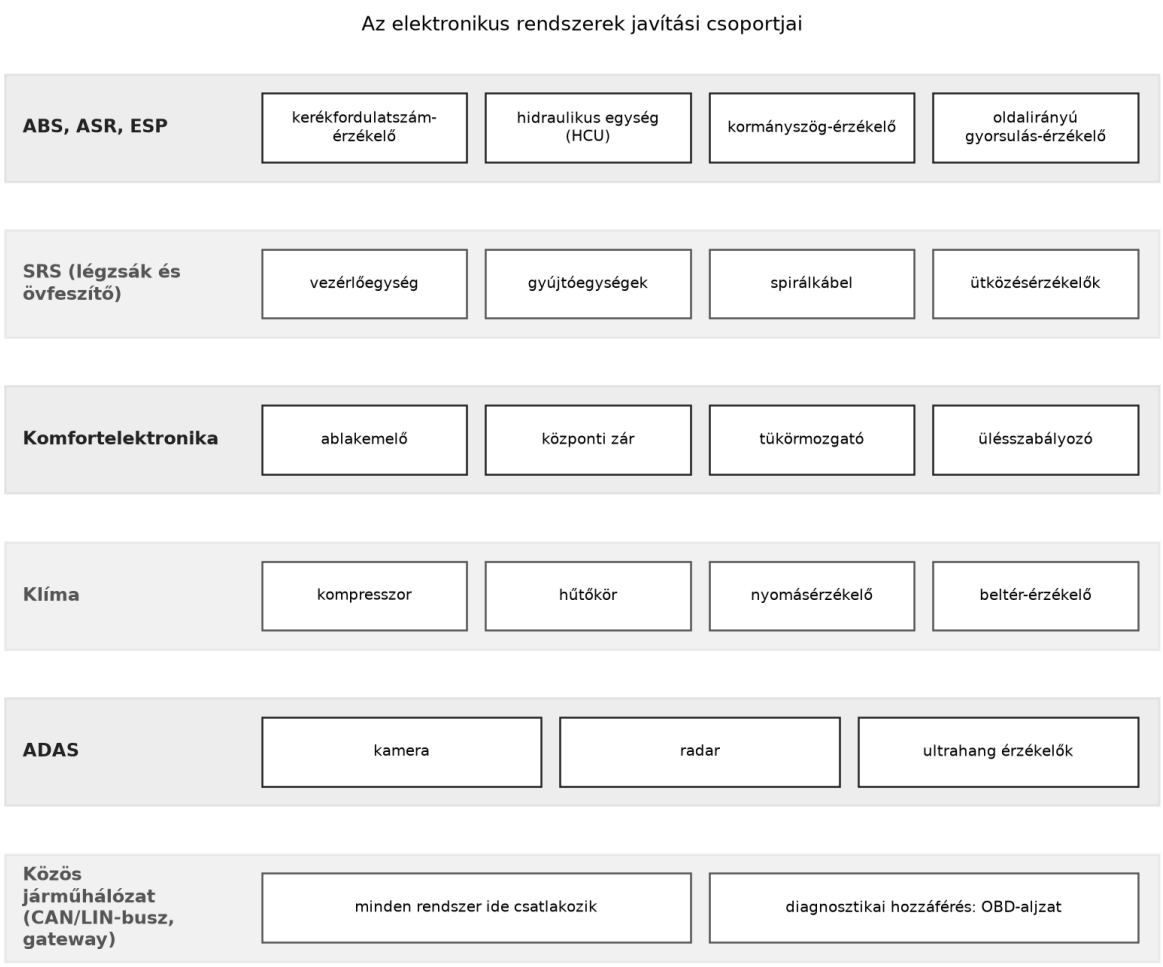
42.2. Elektronikus rendszerek javítása: ABS/ESP, légzsák, komfort, klíma és ADAS

42.2.1. Motiváció

Egy hétköznapi műhelyi helyzetből indulunk: a szervizbe behoznak egy középkategóriás autót, az ügyfél panasza szerint „a műszerfalon egyszerre jött be az ABS-lámpa és a csúszásgátló ikon, majd később a légzsák-lámpa is kigyulladt, és azóta világít”. A klíma sem hűt rendesen, a jobb hátsó ablakemelő pedig csak néha működik. A szerelőnek egyszerre kell rendszerszemlélettel átlátnia a hibát, és biztonságosan, a gyártói javítási utasítás szerint dolgoznia. Ez az alfejezet pontosan erre tanít: az ABS, ASR és ESP rendszer javítására, a pirotechnikai biztonságot igénylő légzsák- és övfeszítő-szerelésre, a komfortelektronika tanítására és ellenőrzésére, a klímaszervizre, valamint a vezetőtámogató rendszerek (ADAS) kalibrálását tartalmazó munkafolyamatokra.

42.2.2. Szemléletes kép

Képzeljük el, hogy a jármű akkumulátorát a gyártói előírás szerint lecsatlakoztattuk, a műhelyben elszívó működik, a jármű kerekét kitámasztottuk. A diagnosztikai műszer a következő hibakódokat olvassa: `C0035` (tanulási példa: a kód jelentése gyártóspecifikus, ellenőrizendő; itt: kerékfordulatszám-érzékelő szakadás), `B0013` (tanulási példa: vezetőoldali légzsák gyújtókör túl nagy ellenállás; gyártóspecifikus, ellenőrizendő) és `B1082` (tanulási példa: jobb hátsó ablakemelő-rendszer hibás; gyártóspecifikus, ellenőrizendő). A szerelő kezében multiméter, oszcilloszkóp és a gyártói áramútrajz van. A rendszerek szintjeit így foglalhatjuk össze:



42.4. ábra. Az elektronikus rendszerek javítási csoportjai - A tanulási fejezetben tárgyalt rendszerek és főbb beavatkozó egységek; nem részletes járműarchitektúra.

Az ábra rétegei egymás mellé rendelt rendszercsoportok (a sorrendjük nem javítási sorrend), a legalsó sáv a közös járműhálózat: az egyes rendszerek fizikailag és diagnosztikailag elkülönülnek, de a buszkommunikáción keresztül sokszor összefüggenek. Például a kerékfordulatszám-érzékelő jele nemcsak az ABS-nek, hanem a hegyimentő rásegítésnek (ESP) és a gumiabroncsnyomás-figyelőnek is kell.

42.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. ABS (Antilock Braking System) – blokkolásgátló rendszer. A kerékfordulatszám-érzékelők jeleiből érzékeli, ha egy kerék a fékezés során blokkolna, és a hidraulikus egység (HCU) segítségével rövid, periodikus nyomáscsökkentést, tartást vagy felépítést végez az adott kerékfékhengerben, így a kerék a tapadási határ közelében marad.

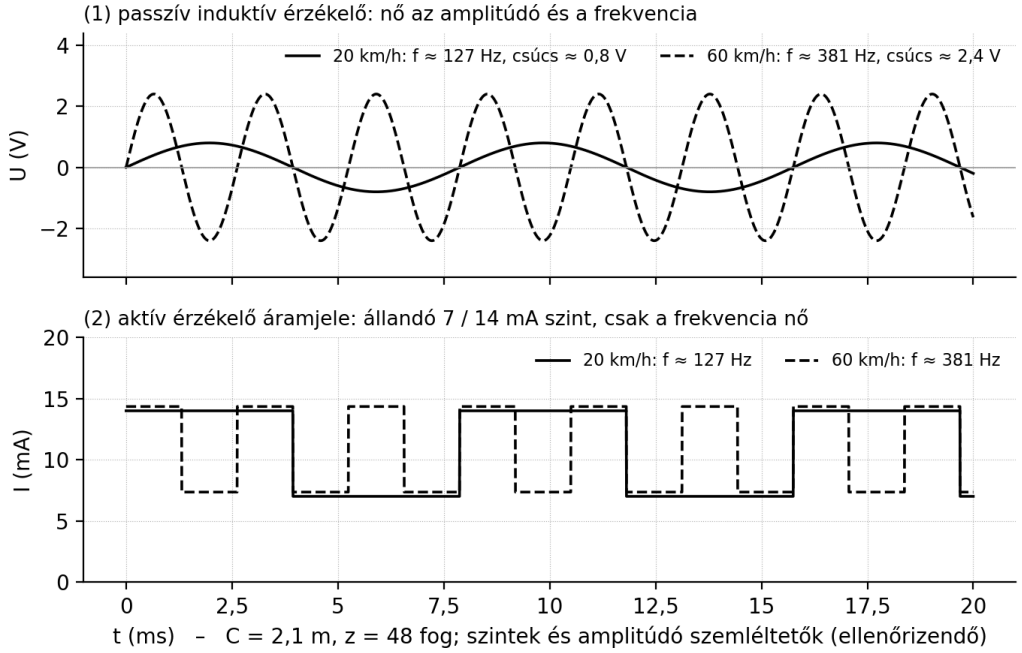
Definíció. ASR (Acceleration Slip Regulation) – kipörgésgátló. Hasonló elv alapján, gyorsítás közben érzékeli a hajtott kerék kipörgését; a motor nyomatékcsökkentésével (gyújtás, befecskendezés pillanata, elektronikus fojtószelep) és/vagy fékezeti beavatkozással visszafogja a hajtási szlipet.

Definíció. ESP (Electronic Stability Programme) – menetstabilizáló rendszer. A kormányszög, a kerékfordulatszám, az oldalirányú gyorsulás és a legyezési sebesség jeleiből felismeri a jármű alul- vagy túlkormányzott viselkedését, és egy vagy több kerék célzott fékezésével, valamint esetleg motornyomaték-csökkentéssel korrigálja a menetstabilitást.

Definíció. SRS (Supplemental Restraint System) – kiegészítő védelmi rendszer, a légzsákok és övfeszítők gyűjtőneve. A pirotechnikai gyújtóegységek robbanékony szerkezetek, ezért a javításukra speciális biztonsági előírások vonatkoznak.

Definíció. ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – fejlett vezetőtámogató rendszerek. Ide tartoznak a kamera, radar, ultrahang vagy lidar alapú rendszerek: sávtartó, vészfékasszisztens, adaptív távolságtartó, holttérfigyelő stb. Az érzékelő pontos geometriája kritikus a működéshez, ezért javítás után kalibrálni kell.

Összefüggés. A kerékfordulatszám-érzékelő jele lehet **passzív induktív** típusú: a fogazott jeladógyűrű forgása váltakozó feszültséget kelt, a jel frekvenciája arányos a kerék fordulatszámával, az amplitúdója is nő a kerékfordulatszámmal. A **Hall-elvű aktív** érzékelőnél a vezérlőegység tápfeszültséget ad (gyakran 7–14 V), az érzékelő pedig négyszögjelet vagy digitális állapotjelet ad, amelynek kapcsolási frekvenciája ugyancsak a kerékfordulatszámmal arányos.



42.5. ábra. A passzív induktív és az aktív kerékfordulatszám-érzékelő jelalakja 20 és 60 km/h-nál (C = 2,1 m, 48 fog; szemléltető, számított jel)

Az ábra felső része az induktív érzékelő szinuszos feszültségét mutatja: 20 km/h-nál kb. 127 Hz és kis csúcsérték, 60 km/h-nál kb. 381 Hz és nagyobb csúcsérték. Az alsó rész az aktív érzékelő áramjelét: a két szint (kb. 7 és 14 mA, ellenőrizendő) a sebességtől független, csak a váltások üteme sűrűsödik. Az interaktív változatban a sebesség, a fogszám és a gördülési sugár állítható, a frekvencia ($f = v/C \cdot z$) kiszámítva jelenik meg; a „légrés túl nagy” kapcsoló az induktív jel csökkenését mutatja.

42.2.4. Felépítés és működés

42.2.4.1. ABS, ASR és ESP javítása

A blokkolásgátló rendszer fő részei:

- **Kerékfordulatszám-érzékelők** – minden keréknél, a kerékagyon vagy a hajtott tengely közelében. A jeladógyűrű a kerékagyon vagy az állandó sebességű csuklóházon van; az érzékelő légrése a gyártó által előírt (jellemzően 0,3–1,0 mm, ellenőrizendő).
- **Hidraulikus egység (HCU)** – fogadja a vezérlőegység utasításait. Belső szolenoid szelepei és szivattyúja módosítja a kerékfékhengerek nyomását.
- **Elektronikus vezérlőegység (ECU)** – a rendszer „agya”, amely a jeleket értékeli és a beavatkozókat vezérli.
- **További érzékelők** – kormányszög, oldalirányú gyorsulás, legyezési szögsebesség, féklámpa-kapcsoló, nyomásérzékelők.

Az ABS működése: amikor erőteljes fékezésnél egy kerék lassulása eltér a számított járműlassulástól, a vezérlőegység az adott kerék mágnesszelepét átkapcsolja, hogy a nyomást tartsa vagy csökkentse. A beavatkozás során a fékpedál pulzálását, zaját a járműben érezni lehet.

A javítás során:

1. **Hibakód kiolvasása** diagnosztikai műszerrel.
2. **Célzott mérés:** az érzékelő tekercsellenállása induktív típusnál jellemzően 800–1600 Ω (ellenőrizendő: gyártói adat), Hall-érzékelőnél a tápfeszültség és a jel alakja oszcilloszkóppal.
3. **Légrés-ellenőrzés** hézagmérővel, a gyártói érték szerint.
4. **Jeladógyűrű ellenőrzése:** törött fog, korrózió, szennyeződés.
5. **Hidraulikus egység vizsgálata:** szivárgás, eltömődött szűrő, szolenoid ellenállás, aktivátorteszt a rendszertesztterrel.
6. **Kódolás és kalibrálás:** az ABS/ESP vezérlőegység cseréje vagy új érzékelő beszerelése után el kell végezni az adott típusra előírt kódolást, esetleg kormányszög-érzékelő kalibrálást, oldalirányú gyorsulás-érzékelő nullpont-tanítást.

42.2.4.2. Biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő

A légzsákrendszer központi vezérlője érzékeli az ütközést, és pirotechnikai gyújtóegységeket indít. A vezérlőegység a gyújtókört folyamatosan ellenőrzi, ezért ha a spirálkábelt, az érzékelőt vagy a modult szabálytalanul csatlakoztatják, hibakódot tárol.

Előírás. A légzsák- és övfeszítő-rendszeren bármilyen munkálat előtt a gyújtást ki kell kapcsolni, a 12 V-os akkumulátor negatív pólusát le kell kötni, és a gyártó által előírt várakozási időt (jellemzően 3–15 perc, ellenőrizendő a gyártói javítási utasításban) kell eltölteni, hogy a tartalék kondenzátorok kisüljenek. Csak ezután szabad a pirotechnikai egységeket bontani.

Tilos. A gyújtóegységet közvetlenül ellenállásmérővel vagy bármilyen áramforrással vizsgálni, mert az indítóáram hatására a gyújtóegység beindulhat, súlyos sérülést okozva.

Spirálkábel: kormányműszer középső helyzetéből szerelendő, a középhelyzet jelölését a gyártó adja. A csatlakozók biztonsági retesszel rendelkeznek, a csatlakozót csak a retesz feloldása után szabad bontani.

42.2.4.3. Komfortelektronika

A komfortfunkciók (ablakemelő, központi zár, tükörmozgató, ülésállítás, napfénytető) elektronikus vezérlőegységei többnyire CAN- vagy LIN-buszon kommunikálnak. Javítás után a rendszereket gyakran újra kell „tanítani”:

- **Ablakemelő:** a felső és alsó végállás gyakran a motorszabályozóba van betanítva. A motort vagy vezérlőegységet cserélve el kell végezni a tanítást: az ablakot teljesen leengedni, majd teljesen felhúzni, és a kapcsolót a gyártó által meghatározott ideig tartani.
- **Központi zár:** a távirányító vevője és az aktuátorok szinkronizálása szükséges lehet a rádiófrekvenciás adóval.
- **Tükrök:** memorizált állások törlése és újratanítása.

A hibakeresésnél mindig a tünetből indulunk ki, és a gyártói áramútrajz alapján a kapcsolót, a motor áramkörét, a csatlakozókat és a biztosítékokat ellenőrizzük.

42.2.4.4. Klímaszerviz

A klímaberendezés javítása során a hűtőkör nyomás alatt áll. Az F-gáz szabályozás szerint a hűtőközeggel végzett munkákhoz (lefejtés, visszafejtés, töltés, szivárgásvizsgálat) **képesítés szükséges**. A hűtőközeget a légkörbe engedni tilos.

A klímaszerviz jellemző lépései:

1. **Hűtőközeg-típus azonosítása** (címke: R134a/R1234yf; az R1234yf gyúlékony, a folyékony hűtőközeg fagysérülést okoz: védőszemüveg és kesztyű kötelező, szikra és nyílt láng tilos). HV-kompresszoros járművön a klímakör bontása előtt a HV-feszültségmentesítés is szükséges lehet (ellenőrizendő: gyártói eljárás).
2. **Nyomásellenőrzés:** az alacsony oldalon (szívóoldal) jellemzően 1,5–3 bar, a magas oldalon 10–18 bar (ellenőrizendő a környezeti hőmérséklet és a gyártói töltetmennyiség függvényében).
3. **Hűtőközeg-visszanyerés** klímaszerviz-állomással, a rendszer leürítése.
4. **Vákuumozás** a nedvesség eltávolításához, majd **vákuumtartási (tömörségi) próba** a töltés előtt (ellenőrizendő: gyártói idő); szivárgó körbe nem szabad hűtőközeget tölteni.
5. **Töltés** a címke szerinti tömegű hűtőközeggel és az előírt olajjal; HV-kompresszornál kizárólag a gyártó által előírt szigetelő olajjal (a hagyományos PAG-olaj a HV-rendszer szigetelését veszélyeztetheti; ellenőrizendő: gyártói adat).
6. **Működés- és szivárgásellenőrzés** elektronikus detektorral vagy buborékos spray-vel.

A hibás kompresszort, eltömődött expanziós szelepet vagy szivárgó kondenzátort a gyártó szerint kell cserélni; a rendszert csak szűrővel együtt szabad javítani.

42.2.4.5. ADAS diagnosztika és kalibrálás

A vezetőtámogató rendszerek érzékelői (kamera, radar, ultrahang) a járműhöz képesti pontos geometriát igényelnek. Szélvédőcsere, érzékelőcsere, futómű beállítás után a rendszer diagnosztikája általában hibakódot jelezhet, vagy a szerviznek kötelező kalibrálást végeznie. A kalibrálás lehet:

- **Statikus:** a járművet egy sík, vízszintes padlóra állítjuk, a gyártó által előírt céltáblát megfelelő távolságra helyezzük, és diagnosztikai műszerrel elindítjuk a kalibrációs rutint.

- **Dinamikus:** rövid próbaút közben, azonosított útburkolati jelek és folyamatos jelrögzítés mellett a rendszer magát kiegyenlíti (ellenőrizendő a gyártói javaslat).

Előírás. ADAS-kalibrálást csak a gyártói céltáblákkal, a jármű terhelési állapotát, az üzemanyagszintet és a futómű beállítását pontosan betartva szabad végezni. A hibás kalibrálás téves vészfékbecsléshez vagy nem megfelelő sávtartáshoz vezethet, ami közúti balesetveszélyt okoz.

42.2.5. Kidolgozott példák

42.2.5.1. Példa 1: Induktív kerékfordulatszám-érzékelő ellenőrzése

Adott egy jármű, amelyen az ABS-lámpa világít. A diagnosztikai műszer a jobb első kerékfordulatszám-érzékelő hibáját jelzi. A gyártói adat szerint az érzékelő tekercsellenállása 800–1600 Ω, a légrés 0,3–1,0 mm (tanulási példa, ellenőrizendő: gyártói adat).

Számítás. A szerelő multiméterrel mér: az érzékelő ellenállása $R_{\text{érzékelő}} = 1250\,\Omega$, ami a tűréshatáron belül van. A légrést hézagmérővel ellenőrzi: 0,8 mm. Ez is megfelel. A jeladógyűrű fogai épek, nincs fémforgács. A hiba tehát valószínűleg mégsem az érzékelő, hanem a csatlakozó szakadása az érzékelő és az ABS-vezérlő között.

A szerelő a gyártói áramútrajz alapján átnézi a kábelköteget, és az érzékelő csatlakozójánál a csatlakozó hüvely korrodált. A csatlakozót kontaktjavítóval tisztítja, a szilikon-tömítőgyűrűt ellenőrzi, majd új csatlakozó hüvelyt présel fel. A hibakód törlése után rövid próbaút: az ABS-lámpa elalszik, a rendszerteszter nem mutat hibát.

42.2.5.2. Példa 2: Hall-elvű érzékelő jelének ellenőrzése

Egy másik járművön a bal hátsó kerékfordulatszám-érzékelő jele hiányzik. Az érzékelő aktív (Hall- vagy magnetorezisztív) típusú, két vezetéken kapja a tápot az ABS-vezérlőtől, és a jelét áramváltozásként adja (kb. 7 mA / 14 mA – ellenőrizendő: gyártói adat). A mérés:

- Tápfeszültség az érzékelő csatlakozóján: a vezérlő belső tápja (a gyártói adat szerint; ellenőrizendő), nem a 30-as vagy 15-ös kapocs.
- Oszcilloszkóppal (vagy áramfogóval) a vezérlő oldali mérőponton, a kerék megforgatásakor a mérőellenálláson eső feszültség két szint között váltakozik (az áram kb. 7 mA és 14 mA között kapcsol, ellenőrizendő).
- A frekvencia a kerék forgási sebességéből számítható. Ha a kerék gördülési kerülete $C_{\text{kerék}} = 2\pi r_{\text{d}} \approx 2{,}1\,\text{m}$ és a jeladógyűrű 48 fogú, akkor 60 km/h-nál a kerékfordulatszám:

$$n_{\text{kerék}} = \frac{v}{C_{\text{kerék}}} = \frac{16{,}7\,\text{m/s}}{2{,}1\,\text{m}} \approx 7{,}95\,\text{s}^{-1} = 477\,1/\text{min}.$$

A jel frekvenciája $f = n_{\text{kerék}} \cdot z_{\text{fog}} = 7{,}95 \cdot 48 \approx 382\,\text{Hz}$.

Az oszcilloszkóp frekvenciája ennek megfelelő értéket mutat, tehát a jeladó egészséges. A hiba a vezeték szigetelésének sérülése lehet, amelyet át kell vizsgálni.

42.2.6. Minőségellenőrzés

Ellenőrzőlista elektronikus rendszer javítása után:

- Hibakódok törlése és újraolvasása: maradt-e hiba?
- Az adott rendszer öntesztjének lefutása (pl. az ABS-lámpa kialvása a próbaút elején).
- Aktív biztonsági rendszereknél a gyártói funkcióteszt (pl. ABS vészfékezés, ESP beavatkozás) biztonságos körülmények között.
- ADAS-kalibrálás után a kalibrációs rutin sikeres befejezésének (állapotjel, kalibrációs érték) kiolvasása és próbaút a gyártói feltételekkel.
- Légzsák rendszernél a gyújtókör ellenállását a diagnosztikai műszerrel, **nem külső ellenállásmérővel**.
- Klímánál a nyomásértékek a gyártói táblázat szerint, hűtőközeg szivárgásvizsgálat, beltér hőmérséklet ellenőrzése.

42.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél panasza: „a menetstabilizáló szimbólum néha felvillan, az ABS-lámpa pedig hosszabb lejtmenetben jön be.” A rendszerteszter kiolvassa a bal hátsó kerékfordulatszám-érzékelő hibáját. A szerelő a járművet emelőre állítja (bakra támasztva), leválasztja a csatlakozót, és megméri az érzékelő ellenállását: $R = 920\,\Omega$, a gyártói érték szerint 800–1600 Ω, tehát ez rendben van. A légrés 1,0 mm, ami a tűrés felső határán van. A jeladógyűrű tisztának tűnik. A hibakód törlése után rövid próbaút során a hiba visszatér, de csak akkor, amikor a kerék oldalirányban terhelést kap. A szerelő rájön, hogy a csapágy lötyög; a kerékfordulatszám-érzékelőnek a kerékagyhoz viszonyított holtjátéka eltér, a légrés megnyúlik. A kerékcsapágy cseréje és az érzékelő újra rögzítése után a hiba megszűnik. A tanulság: az érzékelő hibakódja nem mindig magát az érzékelőt jelenti; ellenőrizni kell a jeladógyűrűt, a légrést, a csapágy játékát és a kábelköteget is.

42.2.8. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

42.2.8.1. 1. gyakorlati útmutató: Kerékfordulatszám-érzékelő cseréje (ABS)

Cél: a jobb első kerékfordulatszám-érzékelő cseréje és jelének ellenőrzése.

Szerszámok és anyagok: kerékemelő, bak, kéziszerszámok, nyomatékkulcs, hézagmérő, multiméter, oszcilloszkóp (vagy diagnosztikai műszer), új érzékelő, a gyártó által előírt rögzítőcsavar/rögzítőpatent és szerelőpaszta (ellenőrizendő: gyártói adat), kontaktjavító spray.

Munkalépések:

1. **Járműazonosítás:** adja meg a motorszám, EVIN, évjárat alapján a gyártói javítási adatokat; szerezze be az adott típusra való érzékelőt.
2. **Emelés és alátámasztás:** a járművet emelővel emeljük, állítsuk bakra; a felemelt jármű alá csak alátámasztva szabad bemenni.
3. **Csatlakozó bontása:** a kerékdob mögött ill. a kerékagynál lévő érzékelőcsatlakozót oldja, húzza szét; ne húzza a kábelt.
4. **Rögzítő oldása:** a szenzort általában egy vagy két csavar fogja; távolítsa el a rögzítőt.

5. **Érzékelő kihúzása:** óvatosan, forgatva húzza ki a furatból. Ne hajlítsa meg a tartólemezt.
6. **Tisztítás:** a rögzítőfuratot tisztítsa meg; a jeladógyűrűn ellenőrizze a fogak épségét és a szennyeződést.
7. **Új érzékelő beszerelése:** ütközésig tolja be; soha nem a kábelre ütve. A gyártói légrés beállításához használt csavarokat a megadott nyomatékkal (ellenőrizendő) húzza.
8. **Csatlakoztatás:** csatlakoztassa az új érzékelőt; ellenőrizze a reteszt, a tömítést.
9. **Mérés:** multiméterrel az ellenállást, és ha lehetséges, oszcilloszkóppal a jelet. Kerék megforgatásakor a jelfrekvencia arányos a kerékfordulatszámmal.
10. **Hibakód törlése és próbaút:** rendszerteszterrel törölje a hibakódot, végezzen ABS-próbát; ellenőrizze, hogy a lámpa elalszik, és a rendszer beavatkozik.
11. **Dokumentálás:** rögzítse a mérési eredményeket és az alkatrészcserét a munkalapon.

42.2.8.2. 2. gyakorlati útmutató: Vezetőoldali légzsákmodul cseréje

Biztonsági korlát. Pirotechnikai egységen csak feszültségmentesített állapotban, a gyártói előírás szerint, és csak olyan személy dolgozhat, aki erre ki van képezve. A feszültség alatt lévő légzsákrendszeren tilos munkát végezni.

Munkalépések:

1. **Várakozási idő:** kapcsolja ki a gyújtást, távolítsa el a kulcsot; kösse le az akkumulátor negatív pólusát. Várja ki a gyártói várakozási időt (pl. 10 perc; ellenőrizendő).
2. **Szerelési pozíció:** állítsa a kormánykereket a gyártói középhelyzetbe (spirálkábel középhelyzetét megtartva).
3. **Modul bontása:** a gyártói előírás szerinti pontokon oldja a légzsákmodul rögzítőcsavarjait vagy reteszét. Ne használjon sérült szerszámot.
4. **Modul kihúzása:** óvatosan, a csatlakozót még ne bontsa.
5. **Csatlakozó bontása:** az SRS-csatlakozónál a gyártó szerinti zárfeloldás után válassza le a modult; a csatlakozót rövidre záró eszközt (shorting clip) ha a gyártó előír, helyezze fel.
6. **Tárolás:** a kivett, ki nem oldott légzsákmodult a burkolatával (kibomló oldalával) felfelé, sík, nem éghető felületen, hőforrástól, nyílt lángtól és elektromos zavartól távol, lezárt helyen tárolja; hordozáskor a kibomló oldalt a testétől elfordítva vigye (ellenőrizendő: gyártói kezelési utasítás).
7. **Új modul beszerelése:** a sorrend fordított; a modul csatlakoztatása után a rögzítőcsavarokat a gyártói nyomatékkal húzza.
8. **Akkumulátor visszakötése:** gyújtás kikapcsolva, a járműben és a légzsákok kioldási zónájában senki sem tartózkodik; először a pozitív, majd a negatív pólust kötjük vissza. A gyújtást először a jármű mellől, a kioldási zónán kívülről kapcsoljuk be (ellenőrizendő: gyártói eljárás).
9. **Diagnosztika:** rendszerteszterrel ellenőrizze a gyújtóköröket, az SRS-lámpát; törölje a hibakódot, ha a rendszer tiszta.
10. **Dokumentálás:** a légzsákmodul cseréjét és a várakozási időt dokumentálni kell.

42.2.9. Tipikus hibák

1. **Légzsák-rendszeren ellenállásmérő használata.** A szerelő a gyújtóegységet multiméterrel akarja „átmérni”. Ez életveszélyes: a mérőáram működésbe hozhatja a pirotechnikai gyújtót. A diagnosztikai műszerrel a gyújtókör ellenőrzése biztonságos.
2. **ABS-érzékelő cseréje a jeladógyűrű ellenőrzése nélkül.** Ha a gyűrű fogai töröttek vagy a légrés rossz, az új érzékelő is hibát ad. A munkaművelet előtt a rendszerszemléletű ellenőrzés szükséges.

3. **ADAS-kalibrálás elmaradása.** Szélvédőcsere vagy kamera-bontás után a sávtartó asszisztens újra pontatlanul működik, de a hibakód nem feltétlenül jelenik meg azonnal. A gyártói kalibrálási utasítás be nem tartása közlekedésbiztonsági kockázat.
4. **Klímaszerviz töltés megfelelő jogosultság nélkül.** A hűtőközeg nem tűnik veszélyesnek, de fagyási sérülést okozhat, a légkörbe jutó F-gáz pedig környezetkárosító; a jogosultság nélküli munkavégzés jogszabályba ütközik.
5. **Komfortelektronikai tanítás elfelejtése.** Az ablakemelő motor cseréje után a rendszer hibát jelez vagy nem tanulja a végállásokat, ha a tanítást elmulasztják.

42.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az induktív kerékfordulatszám-érzékelő jelének frekvenciája csökken a kerék fordulatszámának növekedésével?
2. Miért tilos a légzsák gyújtóegységet ellenállásmérővel mérni?
3. Mi a teendő egy légzsákrendszer javítását megelőzően?
4. Melyik rendszerhez tartozik a kormányszög-érzékelő kalibrációja?
5. Mi a teendő a klímarendszer hűtőközeg-visszanyerésével, és milyen képesítés kell?

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

42.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorolja fel az ABS-rendszer fő részeit és azok szerepét.

2. feladat (A). Milyen mérésekkel ellenőrizhető egy kerékfordulatszám-érzékelő?

3. feladat (B). Egy jármű kerék gördülési sugara $r_{\mathrm{d}} = 0{,}34\,\mathrm{m}$, a jeladógyűrű 50 fogú. Számítsa ki a jel frekvenciáját 80 km/h sebességnél.

4. feladat (B). Rajzolja le az aktív érzékelő kétvezetékes bekötését az ABS-vezérlőhöz.

5. feladat (C). Egy ABS-javítás után a hibakód törlése ellenére a rendszerteszter folyamatosan „kalibrálás hiányzik” hibát jelez. Mi lehet az ok, és hogyan járjon el?

6. feladat (D). Ügyfél panasza: a légzsák-lámpa világít. A diagnosztikai műszer azt jelzi, hogy a vezetőoldali gyújtókör ellenállása nagy. Ismertesse a hibakeresési láncot és a biztonsági lépéseket a légzsákmodul cseréjéig.

42.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

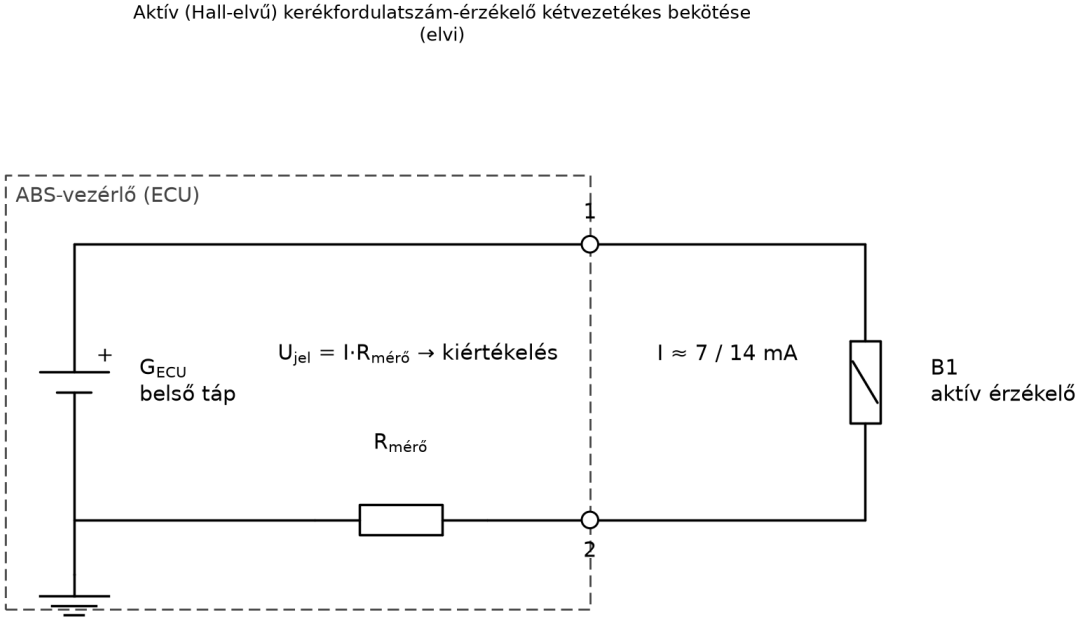
1. Hamis. A frekvencia arányosan nő a kerék fordulatszámával.
2. Mert a mérőáram beindíthatja a pirotechnikai gyújtóegységet.
3. Gyújtás ki, akkumulátor negatív lakötés, gyártói várakozási idő kivárása.
4. Az ABS/ESP rendszerhez; a kormányszög-érzékelő nullpontját kalibrálni kell.
5. Hűtőközeget vissza kell nyerni klímaszerviz-állomással; az F-gáz szabályozás szerinti képesítés szükséges, a hűtőközeget légkörbe engedni tilos.

1. feladat (A). Fő részek: kerékfordulatszám-érzékelők (keréksebesség jele), hidraulikus egység (nyomásmódosítás), elektronikus vezérlőegység (jelek feldolgozása, vezérlés), kormányszög-érzékelő, oldalirányú gyorsulás- és legyezési érzékelő, féklámpa-kapcsoló.

2. feladat (A). Induktív érzékelőnél: tekercsellenállás, légrés, jeladógyűrű állapota, oszcilloszkóppal a váltakozó feszültség frekvenciája és amplitúdója. Aktív (Hall-) érzékelőnél: a vezérlőtől kapott táp megléte, az áramjel két szintje (kb. 7/14 mA, ellenőrizendő) és frekvenciája a vezérlő oldali mérőponton.

3. feladat (B). Szoftver használható, de kézzel is: $v = 80\,\mathrm{km/h} = 22{,}2\,\mathrm{m/s}$. Kerék kerülete: $C = 2\pi \cdot 0{,}34\,\mathrm{m} = 2{,}14\,\mathrm{m}$. Kerékfordulatszám: $n = v/C = 22{,}2/2{,}14 = 10{,}38\,\mathrm{s}^{-1}$. Jel frekvencia: $f = n \cdot z_{\mathrm{fog}} = 10{,}38 \cdot 50 = 519\,\mathrm{Hz}$.

4. feladat (B). A rajz lényege: az aktív érzékelő két vezetéken csatlakozik az ABS-vezérlőhöz, a tápot a vezérlő adja, a jel áramjel. A bekötést egyszerűen ábrázoljuk:



42.6. ábra. Aktív (Hall-elvű) kerékfordulatszám-érzékelő kétvezetékes bekötése (elvi) - Elvi rajz: a vezérlő belső tápja áramot hajt az érzékelőn át, a mérőellenálláson eső feszültségből olvassa ki az áramjelet (kb. 7/14 mA, szemléltető, ellenőrizendő a gyártói adat szerint); a kapocsjelölések gyártófüggők.

A rajzon az aktív érzékelő két vezetékkel csatlakozik az ABS-vezérlőhöz: a felső vezetéken (1) kapja a vezérlő belső tápját, az alsón (2) az áram a vezérlőben lévő mérőellenálláson át folyik a testre. Az érzékelő az áramát a fogak ütemében két szint (kb. 7 és 14 mA, ellenőrizendő) között kapcsolja, a vezérlő a mérőellenálláson eső feszültségből számolja a frekvenciát.

5. feladat (C). A kalibrálás hiánya általában a kormányszög-érzékelő újratanítását jelenti. A következőt tegye: végezze el a gyártói kalibrációs rutint diagnosztikai műszerrel; ellenőrizze a kormányszög-érzékelő alapjeleit; a kalibrálás után törölje a hibakódot, majd végezzen próbaút. Ha a hibakód visszatér, ellenőrizze a kormányszög-érzékelő bekötését és a jármű futómű-beállítását.

6. feladat (D). Hibakeresés:

- Gyújtás ki, akkumulátor negatív lekötése, várakozási idő.
- Vizsgálja a légzsákmodul csatlakozóját, a spirálkábel sérüléseit.
- Diagnosztikai műszerrel ellenőrizze a gyújtókör ellenállását (nem külső műszerrel).
- Ha a modul hibás, cserélje ki a gyakorlati útmutató szerint; a cserét követően törölje a hibakódot és ellenőrizze az SRS-lámpát.

42.2.13. Rövid összefoglaló

A fejezetben áttekintettük az ABS, ASR és ESP rendszer felépítését, a kerékfordulatszám-érzékelők vizsgálatát és cseréjét, a légzsák- és övfeszítőrendszer biztonságos szerelését, a komfortelektronika tanításait, a klímaszerviz alapjait és az ADAS-érzékelők kalibrálását. Kiemeltük, hogy a gyártói javítási utasítás mindig elsőbbséget élvez; a munkákhoz gyakran diagnosztikai műszer, speciális célszerszám és pontos várakozási/nyomatékadatok szükségesek. A légzsák egység pirotechnikai szerkezet, ezért feszültségmentesítés, várakozási idő és szakszerű tárolás nélkül tilos szerelni. Az ABS hiba keresésekor az érzékelőn kívül a jeladógyűrűt, a légrést, a csapágyat és a csatlakozókat is ellenőrizni kell. **Továbbvitt eredmény:** ez a rendszerezett javítási módszertan a vizsgafelkészülés gyakorlati hibakeresési és szerelési feladataiban válik majd alkalmazhatóvá; a lépések tudatos követése csökkenti a hibás javítás és a baleset kockázatát.

42.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: gyártói javítási kézikönyvek és kódolási utasítások; ENSZ-EGB előírások (pl. ECE R13-H a fékrendszerre, ECE R94/R95 a légzsákra; pontos számok ellenőrizendők); EU általános biztonsági rendelet (GSR, az ADAS-rendszerekre; pontos hatály ellenőrizendő); F-gáz szabályozás (uniós és hazai, pontos rendeleti számok ellenőrizendők). Ellenőrizendő továbbá: kerékfordulatszám-érzékelő jellemző ellenállás- és légrés-értéktartományai, légzsák várakozási idő, csavarok meghúzási nyomatéka, klíma nyomásértékek és töltetmennyiségek, ADAS kalibrációs távolságok és céltábla-elrendezések. A szövegben szereplő minden konkrét szám példa.

XI. RÉSZ – Kapcsolódó szakképesítések, foglalkoztatás, vállalkozás és vizsgafelkészülés

43 Kerékpárszerelés

43.1. Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű

43.1.1. Motiváció

A kerékpárok javítása és karbantartása az autószerelő műhelyekben is egyre gyakoribb feladat, különösen az elektromos rásegítésű (pedelec) és a szervizben értékesített, üzembe helyezett kerékpárok esetében. Az ügyfél gyakran panaszkodik arra, hogy „nem vált rendesen”, „nyikorog a fék”, „leesett a lánc”, vagy éppen „kevesebbet segít rá az elektromos hajtás, mint újkorában”. Ahhoz, hogy ezeket a hibákat szakszerűen, a megfelelő mérésekkel és beállításokkal javítani tudjuk, ismernünk kell a kerékpár vázának, hajtóművének, fékének és futóművének felépítését, működését, anyagait és beállítási adatait. Ez az alfejezet az alapvető szerkezettani ismereteket foglalja össze, és előkészíti a következő részben tárgyalt üzembe helyezési, karbantartási és javítási munkákat.

43.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hagyományos városi kerékpárt, amelyen a váz két háromszögből álló ún. gyémántváz. A pedál forgatásakor az első (hajtó) lánckerék a láncon keresztül forgatja a hátsó fogaskereket, ami a hátsó kerékhez van kapcsolva. A váltókarral a láncot egyik hátsó fogaskerékről a másikra léptetjük, ezzel változtatva az egy hajtókar-fordulatra eső megtett utat, azaz a fejlődést. A váz első részén a villa tartja az első kereket, és rugózással, lengéscsillapítással csökkenti az útegyenetlenségekből származó ütéseket. A fékkar meghúzásakor a bowden vagy hidraulika a fékpofákat a keréktárcsára vagy a féktárcsára szorítja, így a mozgási energia hővé alakul. Az elektromos rásegítésű kerékpáron ezen felül egy villanymotor, akkumulátor és vezérlőegység is található, amely a pedálozási erőt vagy a fordulatszámot érzékelve rásegít a hajtásra.

43.1.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Kerékpár-áttétel (gépészeti értelemben)
A hajtáslánc áttétele a hajtó (első lánckerék) és a hajtott (hátsó fogaskerék) fordulatszámának viszonya:

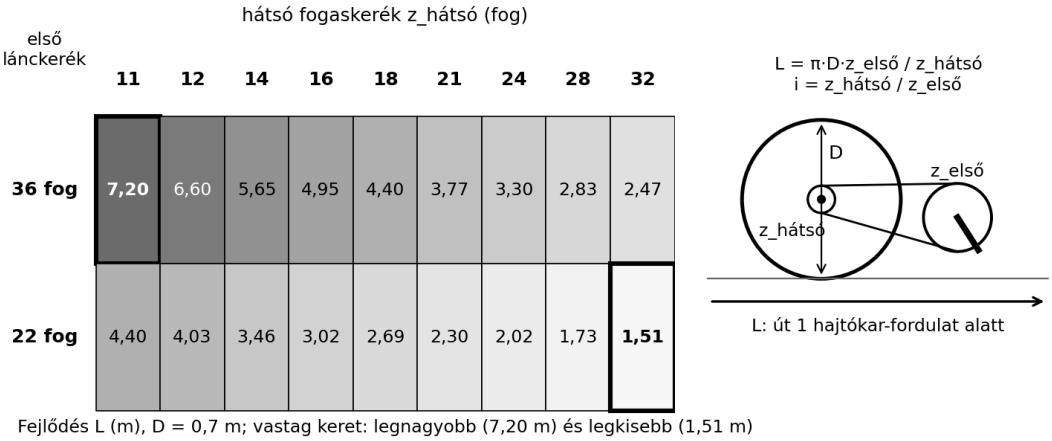
$$i = \frac{n_{\text{hajtó}}}{n_{\text{hajtott}}} = \frac{z_{\text{hátsó}}}{z_{\text{első}}},$$

ahol $z_{\text{első}}$ az első lánckerék fogszáma, $z_{\text{hátsó}}$ a hátsó fogaskerék fogszáma. Mivel a kerékpáron a hajtott elem a hátsó kerék, ez az áttétel általában $i < 1$ (gyorsító hajtás), amikor nagyobb első lánckereket és kisebb hátsó fogaskereket választunk.

Definíció. Fejlődés (rollout)
A fejlődés az az út, amelyet a kerékpár egy teljes hajtókar-fordulat alatt megtesz. Kiszámítása:

$$L = \pi \cdot D \cdot \frac{z_{\text{első}}}{z_{\text{hátsó}}} = \frac{\pi \cdot D}{i},$$

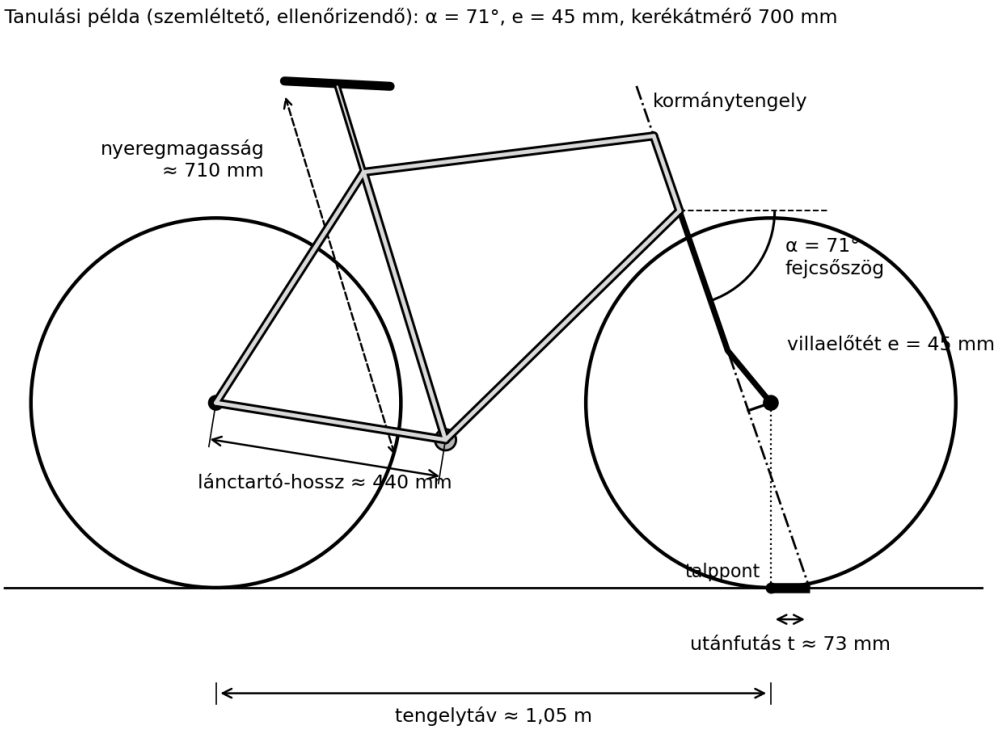
ahol D a hajtott kerék külső átmérője (m), L pedig méterben adódik. A kerékpáros szaknyelvben gyakran a $\frac{z_{\text{első}}}{z_{\text{hátsó}}}$ hányadost nevezik „áttételnek”, de a gépészeti számítások során a fenti i definíciót használjuk.



43.1. ábra. Fejlődéstáblázat a 36/22 × 11–32 hajtáshoz ($D = 0{,}7$ m) és a hajtás sémája

A táblázat soraiban az első lánckerekek (36 és 22 fog), oszlopaiban a 9 fokozatú kazetta fogaskerekei (11–32 fog, szemléltető fogszámsor) állnak; a cellák a fejlődést adják méterben. A legnagyobb érték (36/11, kb. 7,2 m) és a legkisebb (22/32, kb. 1,51 m) vastag keretben van. Az interaktív kalkulátorban a fogszámok és a kerékátmérő állíthatók; kiírja az i gépészeti áttételt, a szaknyelvi $z_{\text{első}}/z_{\text{hátsó}}$ hányadost és a fejlődést, a kerék pedig egy hajtókar-fordulat alatt L utat gördül.

Definíció. Vázgeometriai alapfogalmak
- **Fejcsőszög:** a fejcső (és így a villa tengelye) és a vízszintes talaj közötti szög, jellemzően 70°–73° (ellenőrizendő: típusfüggő).
- **Utánfutás (trail):** a villa tengelyvonalának talajmetszéspontja és az első kerék érintkezési pontja közötti vízszintes távolság. Nagyobb utánfutás stabilabb egyenesfutást, de nehezebb kormányzást ad.
- **Tengelytáv:** az első és hátsó kerék tengelyének távolsága.
- **Lánctartó hossz:** a hátsó tengely és a középrész (bottom bracket) távolsága, amely befolyásolja a gyorsulást és a kanyarodási viselkedést.

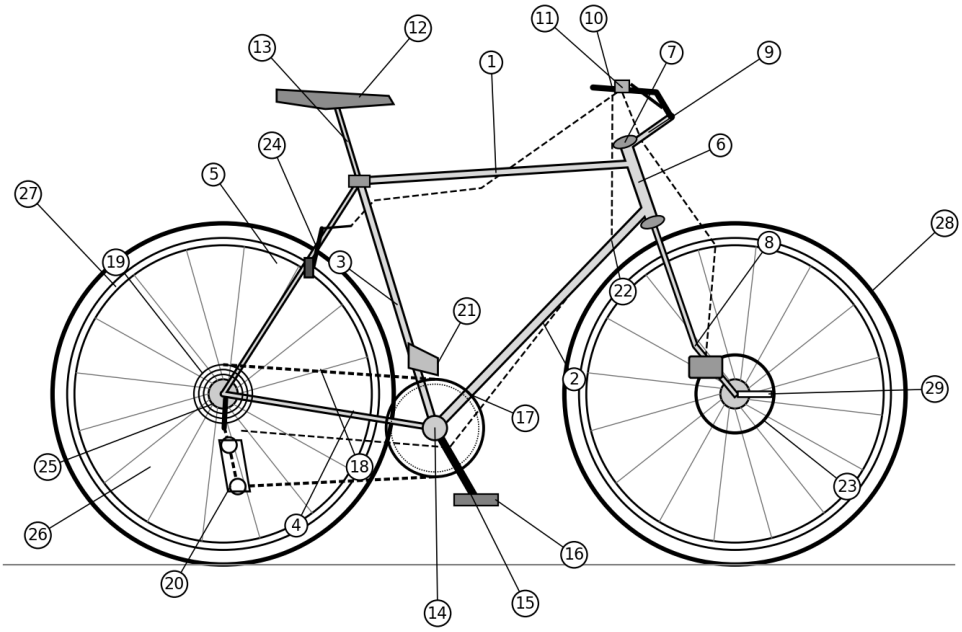


43.2. ábra. Vázgeometria oldalnézetben: fejcsőszög, kormánytengely, villaelőtét, utánfutás, tengelytáv, lánctartó-hossz és nyeregmagasság (tanulási példa: 71°, 45 mm villaelőtét)

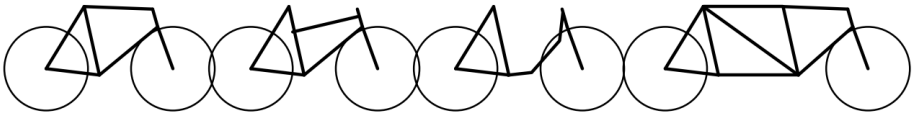
Az ábrán a kormánytengely meghosszabbítása a talajt az első kerék talppontja előtt metszi; a kettő közötti vízszintes távolság az utánfutás. Kerékközéppontból számolva $t = (R \cdot \cos\alpha - e)/\sin\alpha$, ahol α a fejcsőszög, e a villaelőtét (a kerékagy merőleges távolsága a kormánytengelytől), R a kerék sugara; a példában $\alpha = 71^\circ$, $e = 45$ mm, $R = 350$ mm mellett $t \approx 73$ mm (szemléltető érték). Az interaktív változatban a fejcsőszög, a villaelőtét és a kerékméret állítható, és kiírja a számított utánfutást és a kormányzási jelleget.

43.1.4. Felépítés és működés

43.1.4.1. Vázszerkezetek, anyagok és igénybevételek



Vázformák (sziluett):



gyémánt trapéz ladik tandem

1 felső cső	11 fékkar és váltókar	21 első váltó
2 alsó cső	12 nyereg	22 váltó- és fékbowdenek
3 ülőcső (vázcső)	13 nyeregcső bilinccsel	23 tárcsafék (féktárcsa és féknyereg)
4 láncvilla (lánctartó)	14 középcsapágy	24 felnifék (V-fék)
5 nyeregvilla	15 hajtókar	25 kerékagy
6 fejcső	16 pedál	26 küllők
7 kormánycsapágy (headset)	17 első lánckerék	27 felni
8 első villa (itt merev)	18 lánc	28 gumiabroncs
9 kormányszár	19 hátsó fogaskeréksor (kazetta)	29 gyorszár / átütőtengely
10 kormány	20 hátsó váltó és váltószem	

43.3. ábra. A kerékpár részei: gyémántvázas túrakerékpár oldalnézetben, számozott hívószámokkal; alatta a fő vázformák sziluettje (sematikus vonalrajz)

Az ábra a váz csöveit (felső cső, alsó cső, ülőcső, lánc- és nyeregvilla, fejcső), a kormányzás elemeit (villa, kormánycsapágy, kormányszár, kormány), a hajtást (középcsapágy, hajtókar, pedál, lánckerék, lánc, kazetta, első és hátsó váltó) és a két féktípust (elöl tárcsafék, hátul felnifék) nevezi meg; alul a gyémánt-, trapéz-, ladik- és tandemváz sziluettje látható. Az interaktív változatban a rámutatott alkatrész kiemelődik, és megjelenik a szerepe.

A kerékpárváz a jármű teherhordó váza, amely a hajtás, a fékek, a kormány és az utas által keltett statikus és dinamikus terheléseket felveszi. Kialakítását tekintve megkülönböztetünk:

- **Gyémántváz:** a klasszikus, két háromszögből álló férfiváz, nagy merevséggel és alacsony tömeggel. - **Trapéz- vagy lépcsős váz:** alacsonyabb felsőcsővel, könnyebb felszállást tesz lehetővé (női vagy városi kerékpárok). - **Ladikváz (step-through):** erősen leengedett felsőcső, idősebbek és városi használat számára. - **Tandemváz:** két ülés, két pedálhajtás, meghosszabbított tengelytávval és megerősített lánctartóval. - **Tricikliváz:** három kerék, gyakran áruszállításhoz vagy mozgáskorlátozottak számára; a rakománytartó rész beépül a vázba. - **Különleges vázak:** összecsukható (folding), fekvő (recumbent), teher- (cargo), fat bike, illetve teremkerékpár (spinning) vázak, utóbbiaknál a stabilitás és a beállíthatóság a fő szempont.

Biofizikai hatások. A vázgeometria határozza meg a testtartást, a nyeregmagasságot és a kormány pozícióját, ezáltal a térd- és csípőízület terhelését. A helytelen nyeregmagasság (túl alacsony nyereg) térdpanaszokhoz vezet, a túl magas nyereg pedig csípőkilengést okoz. Az optimális nyeregmagasság közelítőleg a belső lábhossz 0,883-szorosa, a hajtókar-tengely (középcsapágy) közepétől a nyereg tetejéig mérve, a nyeregcső vonalában (tanulási közelítés, ellenőrizendő: módszertől függően változik).

Anyagok.
- **Acélváz (CrMo, Hi-Ten):** jó szilárdság, könnyű javíthatóság, de nagyobb tömeg. A króm-molibdén acélcsövek vékony falúak, rugalmasak.
- **Alumíniumváz:** kis tömeg, jó merevség, de fáradásra érzékeny; hegesztése speciális eljárást igényel.
- **Titánváz:** kiváló szilárdság/tömeg arány, korrózióálló, de drága.
- **Karbon (CFK) váz:** nagyon könnyű, jól hangolható merevség, de ütésre érzékeny, és a sérült szerkezet nehezen vizsgálható.

A vázakra ható igénybevételek: hajlítás a nyereg- és hajtóműcsomópontnál, csavarás a kormány mozgatásakor, valamint kifáradás a rezgések miatt. A felületkezelés (porfestés, lakkozás, eloxálás) korrózióvédelmet és esztétikai védelmet ad.

43.1.4.2. Hajtóművek: lánchajtás, váltók

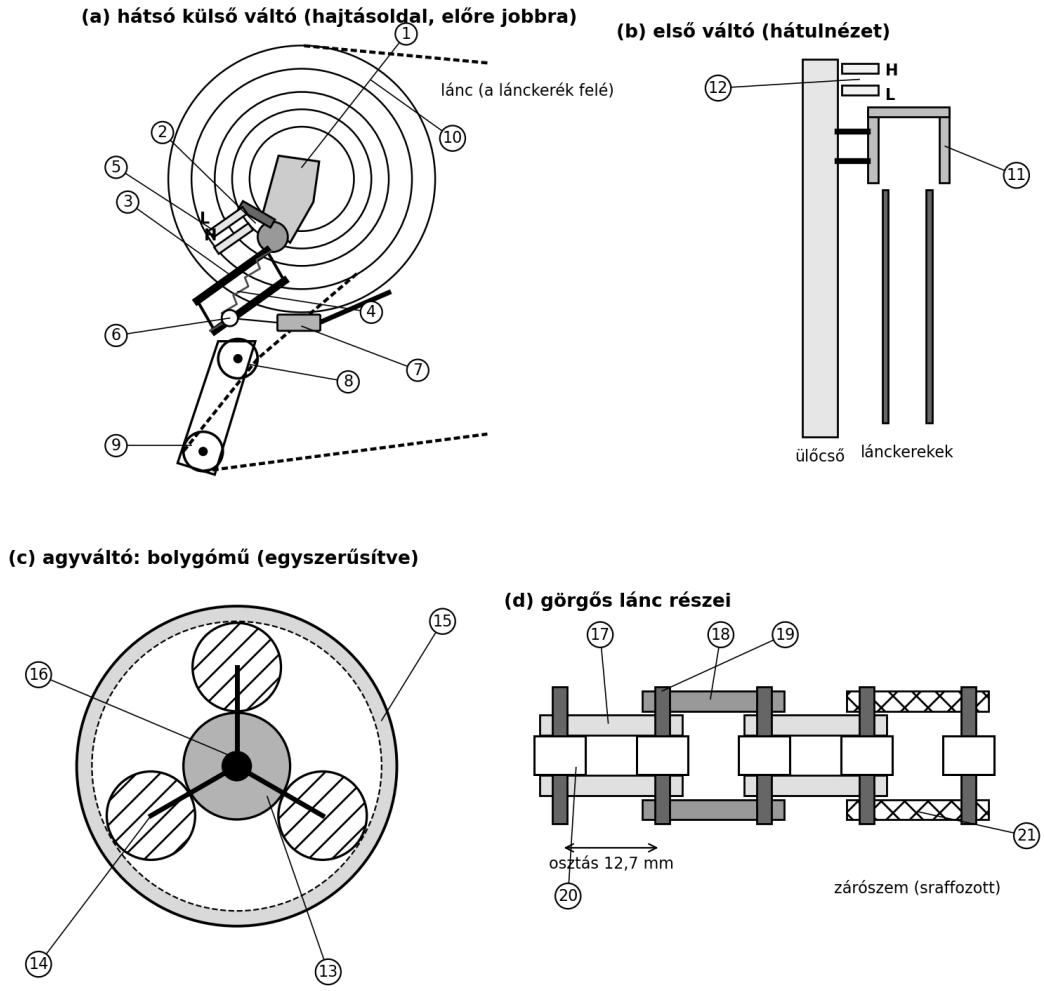
A kerékpár leggyakoribb hajtása a **lánchajtás**, amely a gépelemeknél tanult alakzáró hajtások családjába tartozik (lásd Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok). Az első lánckerékről a lánc viszi át a nyomatékot a hátsó fogaskerékre. A lánc görgős lánc, osztása jellemzően 1/2 hüvelyk (12,7 mm). Az áttételt fokozatváltással változtatjuk:

- **Külső váltó (derailleur):** az első és/vagy hátsó váltó a láncot oldalirányban a kiválasztott fogaskerékre tereli. Előnye: nagy áttételtartomány, alacsony tömeg. Hátránya: érzékeny a rossz beállításra, szennyeződésre, és terhelés alatt nem célszerű váltani.

- **Agyváltó:** a hátsó agyban lévő bolygóműves hajtómű, amely 3–14 fokozatot biztosít. Előnye: védett, kevés karbantartást igényel, állva is váltható. Hátránya: nagyobb tömeg, kisebb hatásfok egyes fokozatokban.

- **Egysebességes vagy fixi hajtás:** nincs váltó; a lánc közvetlenül hajt. Fixi esetén a hátsó fogaskerék mereven kapcsolódik a kerékhez, így a pedál folyamatosan forog.

A váltó **működtetése** bowdenes, forgatható markolattal vagy karral történik. A pontos beállításhoz az indexelést (a váltó akadásmentes pozícióját) a csavaron vagy a kábel feszességén állítjuk. A láncfeszességet a hátsó váltó feszítőgörgője tartja, agyváltónál a láncot utánfeszítővel vagy excenteres középrésszel állíthatjuk.



1 váltószem	8 felső (vezető) váltógörgő	15 gyűrűkerék (belső fogazású)
2 B-csavar	9 alsó (feszítő) váltógörgő és kanál	16 kapcsolórúd
3 paralelogramma-mechanizmus	10 hátsó fogaskeréksor (kazetta)	17 belső lánctag (belső lemezpár)
4 visszahúzó rugó	11 első váltó terelőlemeze (kanál)	18 külső lánctag (külső lemezpár)
5 H és L határolócsavar	12 első váltó H és L csavarja	19 csap
6 bowdenrögzítő csavar	13 napkerék	20 görgő
7 bowdenfeszítő (állítóhüvely)	14 bolygókerekek a bolygókerék-tartón	21 zárószem (kapcsolószem)

43.4. ábra. A kerékpárváltók és a lánc részei: (a) hátsó külső váltó, (b) első váltó, (c) agyváltó bolygóműve, (d) görgős lánc (sematikus vonalrajz)

A hátsó váltón a váltószemre szerelt test, a B-csavar, a paralelogramma a visszahúzó rugóval, a H és L határolócsavar, a bowdenfeszítő és a bowdenrögzítő csavar, valamint a kanálban a felső (vezető) és az alsó (feszítő) váltógörgő látható. Az agyváltó bolygóművében a napkerék, a bolygókerekek és a gyűrűkerék közül a kapcsolórúd helyzete dönti el, melyik elem hajt, melyik hajtott és melyik áll. A lánc belső és külső tagokból áll; a csapok és hüvelyek kopása okozza a lánc nyúlását. Az interaktív változatban a rámutatott alkatrész szerepe olvasható; a váltóbeállítás lépéseit a Kerékpárok üzembe helyezése képsora mutatja.

Fejlődés kiszámítása
Lásd a kidolgozott példát.

43.1.4.3. Elektromos hajtóművek (pedelec és e-bike)

Az elektromos rásegítésű kerékpárok jellemzője, hogy a motor csak a pedálozás rásegítéseként működik, és a segítség mértéke legfeljebb 25 km/h-ig tart, a motor névleges teljesítménye legfeljebb 250 W (ellenőrizendő: (EU) 168/2013 rendelet 2. cikk, az EN 15194 szabvány és a KRESZ kerékpár-fogalma). A gázkarral (tolássegítő üzemmódon túl) gyorsító jármű már nem EPAC. A hajtórendszer elemei:

- **Villanymotor:** lehet **első vagy hátsó agymotor**, illetve **középmotor** (a váz közepén, a hajtóműnél). A középmotor a hajtást a láncon keresztül adja, így kihasználja a váltót, nagyobb nyomatékot adhat meredek emelkedőkön. A motorok általában kefe nélküli egyenáramú (BLDC) motorok, névleges teljesítményük az EU-ban 250 W (ellenőrizendő: az EPAC kategóriában).

- **Akkumulátor:** többnyire lítium-ion, tipikus feszültsége 36 V, kapacitása 10–17 Ah (360–612 Wh). Az akkumulátor-menedzsment rendszer (BMS) védi a cellákat a mélykisüléstől, túltöltéstől és hőmérsékleti határoktól. A töltéshez a gyártó által előírt töltőt kell használni.

- **Vezérlőegység:** a pedálozási nyomatékot (nyomatékérzékelő) és/vagy a hajtókar fordulatszámát érzékeli, és ennek alapján szabályozza a motor teljesítményét. A kijelzőn választható rásegítési szint (pl. Eco, Tour, Sport).

Teremedző kerékpárok esetében a hajtás lehet mechanikus (közvetlen hajtás egy lendkerékre, fékpofával állítható ellenállás) vagy elektromágneses (a lendkerék mágneses ellenállását szabályozzák), illetve elektromos rásegítésű (hajtómotor-generátor, amely ellenállást is adhat).

43.1.4.4. Fékek

A kerékpár fékrendszere a mozgási energiát a fékbetétek és a fékezett felület közötti súrlódással hővé alakítja. Típusai:

- **Felnifék (pl. V-fék, cantilever, féknyereg):** a fékbetétek a kerékpánt oldalfelületére szorulnak. Előnye: olcsó, könnyű, könnyen karbantartható. Hátránya: nedves időben csökken a fékerő, a felnikopás miatt utánállítás szükséges.

- **Tárcsafék:** a kerékagyra szerelt acél vagy rozsdamentes tárcsát a féknyereg betétjei fogják közre. Működtetése lehet **mechanikus** (bowden) vagy **hidraulikus** (zárt rendszerű fékfolyadék vagy ásványi olaj). A hidraulikus tárcsafék erőátvitele jobb, kevesebb kézi erőt igényel, de légtelenítést és előírt fékfolyadékot (pl. DOT 4 vagy ásványi olaj, a gyártó szerint) igényel.

- **Elektronikus működtetésű fék (ritka, pl. ABS-szel ellátott pedelec):** az érzékelők és egy vezérlő modul az első kerék blokkolását korlátozzák; a működtetés továbbra is hidraulikus vagy mechanikus.

Súrlódó anyagok: a felnifékbetétek gumi- vagy műanyag alapú keverékek; a tárcsafékbetétek szerves (resin) vagy szinterezett (fém) anyagúak. A szinterezett betétek nagyobb hőállóságúak, de a tárcsát jobban koptatják.

43.1.4.5. Futóművek

A kerékpár futóműve a kormányzást, a rugózást és a lengéscsillapítást foglalja magában.
- **Kormányzás:** az első villát a fejcsőben lévő kormánycsapágy (headset) tartja. A kormánygeometriát a fejcsőszög és az utánfutás határozza meg. A stabilitáshoz kellő utánfutás, a fordulékonysághoz kisebb utánfutás szükséges.
- **Rugózás:** az első villa lehet merev vagy teleszkópos rugós. A rugós villákban acélrugó vagy levegőrugó (légrugó) van, a csillapítást olaj viszi el. Hátsó rugózás a teljes felfüggesztésű (full suspension) kerékpároknál van, a váz hátsó lengőkarján keresztül.
- **Lengéscsillapítók:** a rugózó elemekkel párhuzamosan hidraulikus csillapítók működnek, amelyek a rugó rezgéseit olaj áramlási ellenállásával csillapítják. A beállítás a rugóelőfeszítést, a visszapattanási csillapítást és esetleg a kompressziós csillapítást érinti.
- **Futómű-geometria hangolása:** a villa hosszának, a fejcsőszögnek és az utánfutásnak a megváltoztatása (pl. más villa beépítése) módosítja a kormányzási jellemzőket. A beállításoknak a kerékpár használati céljához (verseny, túra, downhill) kell illeszkedniük.

43.1.5. Kidolgozott példák

Példa 1 (A): Fejlődés kiszámítása

Adott egy városi kerékpár, első lánckerék fogszáma $z_{\text{első}} = 44$, hátsó fogaskerék $z_{\text{hátsó}} = 16$, a hátsó kerék külső átmérője $D = 0{,}70\,\text{m}$. Számítsuk ki a gépészeti áttételt és a fejlődést.

Megoldás:

$$i = \frac{z_{\text{hátsó}}}{z_{\text{első}}} = \frac{16}{44} = 0{,}3636,$$

$$L = \pi \cdot D \cdot \frac{z_{\text{első}}}{z_{\text{hátsó}}} = \pi \cdot 0{,}70 \cdot \frac{44}{16}.$$

Kiszámítva:

$$L = 3{,}1416 \cdot 0{,}70 \cdot 2{,}75 = 6{,}04\,\text{m}.$$

Tehát egy pedálfordulattal a kerékpár kb. 6,04 métert tesz meg. Az ellenőrzés: a fejlődés durván a kerék kerületének ($\pi \cdot 0{,}7 \approx 2{,}2\,\text{m}$) és a fogszámviszony szorzataként adódik, ami $2{,}2 \cdot 2{,}75 \approx 6{,}05$, rendben.

Példa 2 (B): Elektromos rásegítés hatótáv becslése

Egy 36 V-os, 14 Ah-s lítium-ion akkumulátorral szerelt pedelec motor átlagosan leadott mechanikai teljesítménye sík terepen, Eco üzemmódban 180 W. A teljes hajtáslánc (motor + vezérlő) hatásfoka 0,8. Becsüljük meg, mennyi ideig tudja a motor a rásegítést nyújtani, ha az akkumulátor a gyakorlatban a névleges kapacitás 90%-át tudja leadni.

Megoldás:

Az akkumulátor hasznosítható energiája:

$$W = U \cdot C \cdot k = 36\,\text{V} \cdot 14\,\text{Ah} \cdot 0{,}9 = 453{,}6\,\text{Wh}.$$

A motor által felvett elektromos teljesítmény $P_{\text{fel}} = \frac{P_{\text{lead}}}{\eta}$, ahol $P_{\text{lead}} = 180\,\text{W}$ a leadott mechanikai teljesítmény. A hatásfok miatt:

$$P_{\text{fel}} = \frac{180}{0{,}8} = 225\,\text{W}.$$

Az üzemidő:

$$t = \frac{W}{P_{\text{fel}}} = \frac{453{,}6}{225} = 2{,}016\,\text{h} \approx 2\,\text{óra}.$$

Ha a kerékpáros átlagsebessége 20 km/h, a becsült hatótáv kb. 40 km. Ez csak közelítő érték, mert a tényleges fogyasztás függ a domborzattól, a szél- és gördülési ellenállástól, valamint a rásegítési szinttől.

43.1.6. Minőségellenőrzés

A kerékpár szerkezeti elemeinek ellenőrzésekor a gyártói előírásokat, a kopási határokat és a megfelelő mérőeszközöket kell használni. Az alábbi táblázat összefoglalja a fő ellenőrzési pontokat:

Rendszer	Mit ellenőrzünk	Módszer / műszer	Példaérték (ellenőrizendő)
Váz	repedés, deformáció, korrózió	szemrevételezés, hézagmérő, csavarmérő	nincs repedés, hajlás < 1 mm
Lánchajtás	lánckopás, láncfeszesség	láncnyúlásmérő, mérőszalag	lánckopás-mérővel mért nyúlás legfeljebb 0,5–0,75% (gyártótól függően; ellenőrizendő), pl. 100 mm mérőszakaszon
Váltó	indexelés, láncváltás pontossága	próbapad, kézi forgatás	minden fokozatban akadásmentes váltás, lánc nem ugrik
Fék	fékbetét vastagsága, fékerő, féktárcsavastagság	tolómérő, fékpad	betét legalább 1 mm, tárcsavastagság a gyártói minimum felett
Futómű	csapágy holtjáték, rugó/lengéscsillapító működése	kézi mozgatás, szemrevételezés, szivárgásfigyelés	nincs koppanás, olajszivárgás nem látható
Elektromos hajtás	akkumulátor feszültség, töltés, motor működése	multiméter, diagnosztikai szoftver (márkától függő)	nyugalmi feszültség 36 V-os (10 cellás) rendszernél teljesen töltve kb. 42 V (ellenőrizendő)

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: gyártói adat / hatályos előírás).

43.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél elektromos rásegítésű városi kerékpárral érkezik, és azt panaszolja, hogy „az utóbbi hetekben lényegesen kevesebbet segít a motor, és a kijelzőn hamar visszaesik a töltöttség.” A műhelyben a kerékpárt állványra helyezzük, ellenőrizzük az akkumulátor nyugalmi feszültségét: a 36 V-os rendszeren csak 34,8 V-ot mérünk teljes feltöltés után 1 órával; ez cellánként kb. 3,48 V, vagyis alacsony töltöttséget jelent, és arra utal, hogy az akkumulátor nem tölt fel teljesen (nem mélykisülés; ellenőrizendő: gyártói töltöttségi táblázat). A gumiabroncs nyomása alacsony (2,5 bar helyett 1,8 bar), ami növeli a gördülési ellenállást. A lánc és a váltó erősen szennyezett, a lánc kenése hiányos. A hibakeresési lánc:

1. **Tünet:** csökkent rásegítés, gyors feszültségesés.

2. **Mérés:** akkumulátor feszültsége, töltés közbeni áram, gumiabroncsnyomás.

3. **Ok (feltevés):** az akkumulátor nem tölt fel teljesen, vagy a kapacitása csökkent – ezt a belső ellenállás és a kapacitás gyártói diagnosztikával való mérése dönti el; emellett az alacsony gumiabroncsnyomás is növeli a fogyasztást.

4. **Javítás:** akkumulátor állapotfelmérése (gyártói diagnosztikával), gumiabroncsok felfújása a gyártó által előírt értékre, hajtáslánc tisztítása és kenése.

5. **Ellenőrzés:** próbakörön a rásegítés visszatért, de ha a kapacitás a névleges 80% alá esik, az akkumulátor cseréje javasolt (ellenőrizendő: gyártói előírás).

Tanulság: a pedelec hibáinál először mindig az alapvető mechanikai és gumiabroncs-körülményeket ellenőrizzük, mert ezek gyakran félrevezethetik az elektromos rendszer diagnózisát.

43.1.8. Tipikus hibák

1. **Rossz váltóbeállítás miatt láncugrás vagy láncleesés.** A hátsó váltó indexelő csavarját hozzá nem értő módon állítják, így a lánc nem áll meg pontosan a fogaskerék fölött. Helyes gyakorlat: a gyártói utasítás szerint először a felső/alsó ütközőcsavarokat állítjuk be, majd az indexelést finomhangoljuk a bowden feszességével, és terhelés nélkül, kézzel forgatva minden fokozatot ellenőrizünk.

2. **Túlfeszített lánc.** Egysebességes vagy agyváltós kerékpáron a lánc túl szorosra állítása növeli a csapágyterhelést és gyors kopást okoz. Helyes gyakorlat: a lánc belógása a hajtókar és a hátsó fogaskerék között kb. 10–15 mm (ellenőrizendő: gyártói adat).

3. **Fékbetét rossz beállítása.** A felnifék betétje a gumiabroncs oldalához érhet, ami defektet okozhat, vagy nem teljes felülettel fekszik fel a felnire, csökkentve a fékerőt és nyikorgást okozva. Helyes gyakorlat: a betétet a felni fékfelületével párhuzamos magasságban, a felni pereme alatt állítjuk be, és a kerék forgásirányában elöl lévő végével kb. 0,5–1 mm-rel (ellenőrizendő: gyártói adat) közelebb a felnihez, mint a hátsó vége (toe-in), hogy ne nyikorogjon.

4. **Elektromos rásegítés hibája nedvesség miatt.** A vezérlő vagy a csatlakozók nem megfelelő vízvédelme miatt a rendszer hibakódot ír ki vagy leáll. Helyes gyakorlat: a

gyártói IP-védettséget figyelembe véve a csatlakozókat vízmentesítő zsírral kezelni, a sérült tömítéseket cserélni, és a javítást csak feszültségmentesített rendszeren végezni.

43.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Egy kerékpár hátsó fogaskerekének fogszámát növelve azonos első lánckerék mellett a fejlődés nő. Indokold!

2. Számítsd ki a fejlődést, ha $z_{\text{első}} = 38$, $z_{\text{hátsó}} = 19$, $D = 0{,}66\,\text{m}$!

3. Mi a különbség a mechanikus és a hidraulikus tárcsafék között?

4. Mi a feladata a BMS-nek az elektromos kerékpár akkumulátoránál?

5. Mi történik, ha a kerékpár vázán a hajszálrepedéseket nem vesszük észre?

43.1.10. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a kerékpár fejlődését, és írd fel a képletét a mértékegységekkel!

2. feladat (A)
Egy kerékpár első lánckereke 48 fogú, hátsó fogaskereke 24 fogú, a hátsó kerék átmérője 0,68 m. Számítsd ki a gépészeti áttételt és a fejlődést! Add meg az eredményt méterben!

3. feladat (B)
Egy hegyikerékpár hajtóművén az első lánckerekek 36/22 fogúak, a hátsó fogaskerekek 11-32 fogúak (9 fokozat). Számítsd ki a legkisebb és a legnagyobb fejlődést, ha a kerék átmérője 0,7 m! Melyik fokozatot választanád meredek emelkedőhöz, és miért?

4. feladat (B)
Egy elektromos rásegítésű kerékpár akkumulátora 48 V, 10,5 Ah, a motor és a vezérlő együttes hatásfoka 0,85. A motor átlagos leadott teljesítménye sík terepen 200 W. Becsüld meg, hány kilométert tud megtenni a kerékpáros 25 km/h átlagsebességgel, ha az akkumulátor a névleges kapacitás 85%-át tudja ténylegesen leadni!

5. feladat (C)
Magyarázd el, miért nem célszerű nagy terhelés alatt (pl. meredek emelkedőn, erős pedálozás közben) külső váltóval váltani! Hasonlítsd össze ebből a szempontból az agyváltóval!

6. feladat (D)
Egy ügyfél panasza: fékezéskor az első fék rángat, pulzál és csikorog, a fékkar pedig „puhább” lett, mint korábban. Milyen lehetséges okokat vizsgálnál meg, és milyen mérésekkel döntenéd el a hibát?

43.1.11. Megoldások

43.1.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A fejlődés képlete szerint $L = \pi D \cdot \frac{z_{\text{első}}}{z_{\text{hátsó}}}$. Ha $z_{\text{hátsó}}$ nő, a hányados csökken, tehát a fejlődés csökken.

2. $i = \frac{19}{38} = 0{,}5$; $L = \pi \cdot 0{,}66 \cdot \frac{38}{19} = 3{,}1416 \cdot 0{,}66 \cdot 2 = 4{,}147\,\text{m}$.

3. A mechanikus tárcsafék bowdennel működteti a féknyerget, a kar erőátvitele kisebb, a bowdenben súrlódás lép fel; a hidraulikus rendszerben fékfolyadék (vagy olaj) közvetíti az erőt, kisebb kézi erő szükséges, jobb adagolhatóság.

4. A BMS felügyeli a cellák feszültségét, hőmérsékletét és áramát, véd a mélykisüléstől, túltöltéstől és túlmelegedéstől, valamint kiegyenlíti a cellák töltését.

5. A hajszálrepedés növekedésével a váz hirtelen törhet, ami balesetet okozhat. Ezért a vázat rendszeresen vizsgálni kell, különösen karbonvázná (ütés után is).

43.1.11.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
A fejlődés a kerékpár egy teljes hajtókar-fordulatára eső megtett út. Képlete:

$$L = \pi D \cdot \frac{z_{\text{első}}}{z_{\text{hátsó}}},$$

ahol D a hátsó kerék külső átmérője (m), $z_{\text{első}}$ az első lánckerék fogszáma, $z_{\text{hátsó}}$ a hátsó fogaskerék fogszáma, L pedig méterben adódik.

2. feladat
Adott: $z_{\text{első}} = 48$, $z_{\text{hátsó}} = 24$, $D = 0{,}68\,\text{m}$.
Keresett: i és L.

$$i = \frac{24}{48} = 0{,}5.$$

$$L = \pi \cdot 0{,}68 \cdot \frac{48}{24} = 3{,}1416 \cdot 0{,}68 \cdot 2 = 4{,}273\,\text{m}.$$

3. feladat
Adott: első lánckerekek 36 és 22 fog, hátsó fogaskerekek 11–32 fog, $D = 0{,}7\,\text{m}$.
A legnagyobb fejlődés a legnagyobb első / legkisebb hátsó kombinációval: $z_{\text{első}} = 36$, $z_{\text{hátsó}} = 11$:

$$L_{\max} = \pi \cdot 0{,}7 \cdot \frac{36}{11} = 3{,}1416 \cdot 0{,}7 \cdot 3{,}2727 \approx 7{,}19\,\text{m}.$$

A legkisebb fejlődés a legkisebb első / legnagyobb hátsó kombinációval: $z_{\text{első}} = 22$, $z_{\text{hátsó}} = 32$:

$$L_{\min} = \pi \cdot 0{,}7 \cdot \frac{22}{32} = 3{,}1416 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6875 \approx 1{,}51\,\text{m}.$$

Meredek emelkedőhöz a legkisebb fejlődést választjuk, mert így a hajtókarra kifejtett nyomaték kisebb erővel elegendő, és a pedálozási frekvencia magasabb lehet.

4. feladat
Adott: $U = 48\,\text{V}$, $C = 10{,}5\,\text{Ah}$, $k = 0{,}85$ (hasznosítható kapacitás arány), $\eta = 0{,}85$, $P_{\text{lead}} = 200\,\text{W}$, $v = 25\,\text{km/h}$.

Hasznosítható energia:

$$W = 48 \cdot 10{,}5 \cdot 0{,}85 = 428{,}4\,\text{Wh}.$$

Felvett elektromos teljesítmény:

$$P_{\text{fel}} = \frac{200}{0{,}85} = 235{,}3\,\text{W}.$$

Üzemidő:

$$t = \frac{428{,}4}{235{,}3} = 1{,}82\,\text{h}.$$

Hatótáv:

$$s = v \cdot t = 25 \cdot 1{,}82 = 45{,}5\,\text{km}.$$

5. feladat
Nagy terhelés alatt a lánc feszes, a fogaskerék és a lánc kapcsolata erősen terhelt; ha ilyenkor oldalirányú erővel próbáljuk a láncot más fogaskerékre terelni, a lánc megugorhat, leeshet, a fogaskerekek és a lánc kopása gyorsul, sőt a váltókar el is hajolhat. Az agyváltó ezzel szemben a hátsó agy belsejében lévő bolygóművel vált, a lánc pozíciója változatlan, így terhelés alatt is váltható, bár célszerű itt is rövid tehermentesítés.

6. feladat
Lehetséges okok: - Szennyezett (olajos) fékbetét vagy tárcsa, egyenetlenül kopott betét, laza vagy nem központosan álló féknyereg. - A féktárcsa vagy a felni oldalirányú ütése (deformáció). - A hidraulikus rendszerben levegő vagy szivárgás, kevés folyadék (puha fékkar). - Az első kerékcsapágy vagy a kormánycsapágy holtjátéka (fékezéskor rángat, koppan).

Mérések és vizsgálatok: - Fékbetétek vastagságának és párhuzamosságának ellenőrzése tolómérővel. - Féktárcsa vagy felni oldalirányú ütésének mérése mérőórával (max. megengedett ütés a gyártói adat szerint). - Fékfolyadék szintjének és légtelenségének ellenőrzése: ha a kar puha, légtelenítés szükséges. - Kerékcsapágy holtjátékának ellenőrzése kézzel, a kerék oldalirányú mozgatásával.

43.1.12. Rövid összefoglaló

A kerékpár vázszerkezetei (gyémánt, trapéz, tandem, tricikli, teremváz) a hajtás, a fékek és az utas terheit viselik; anyaguk leggyakrabban acél, alumínium, titán vagy karbon. A vázgeometria (fejcsőszög, utánfutás, tengelytáv) befolyásolja a kormányzást és a stabilitást. A hajtómű lánchajtással működik, az áttétel a fogszámok viszonya, a fejlődés pedig az egy hajtókar-fordulatra eső út: $L = \pi D \cdot z_{\text{első}}/z_{\text{hátsó}}$. A külső váltó és az agyváltó közötti különbség a terhelés alatti váltás lehetőségében és a karbantartási igényben van. Az elektromos rásegítésű kerékpárok hajtása általában 36 V-os lítium-ion akkumulátorral, kefe nélküli motorral és nyomaték-/fordulatszám-érzékelős vezérléssel történik; a BMS védi az akkumulátort. A fékek lehetnek felnifékek vagy tárcsafékek, mechanikus vagy hidraulikus működtetéssel; a fékhatás a súrlódó anyagok és a beállítás függvénye. A futómű rugózással és lengéscsillapítással javítja a menetkomfortot és a kerék tapadását. **Továbbvitt eredmény.** A váz, hajtómű, fék és futómű ismerete közvetlenül szükséges a Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása alfejezetben, ahol az itt tanult áttétel- és fejlődésszámítást, valamint a fék- és futómű-ellenőrzési ismereteket gyakorlati beállításokkal kötjük össze.

43.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: kerékpár- és pedelec-gyártói javítási utasítások, kerékpár alkatrész-adatlapok; ISO 4210 (kerékpárok biztonsági követelményei), EN 15194 (EPAC elektromos rásegítésű kerékpárok); a gépelemeknél tanult áttétel- és hajtáselmélet (Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok); a fékek fizikája (A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások); akkumulátor- és elektromos alapismeretek (Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés).
Ellenőrizendő: az EPAC kategória pontos sebesség- és teljesítményhatára az EN 15194 szerint; az akkumulátor-példaértékek; a nyeregmagasság-ajánlás; a lánckopás mérési határ; a fékbetét minimális vastagsága; a váltó beállítási sorrend és az utánfutás/fejcsőszög típusfüggő értékei. A jogszabályi és szabványhivatkozások a kiadás előtt ellenőrizendők.

43.2. Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása

43.2.1. Motiváció és műhelyi helyzet

Kerékpárjavító műhelyben az egyik leggyakoribb két munka a dobozból érkező, részben összeszerelt kerékpár üzembe helyezése, illetve a már használatban lévő kerékpár időszakos szervize. Mindkettő ugyanarra a logikára épül: előbb az egységek helyes összeszerelését és beállítását kell elvégezni, majd az egész járművet balesetmentes, megbízható működésre kell ellenőrizni.

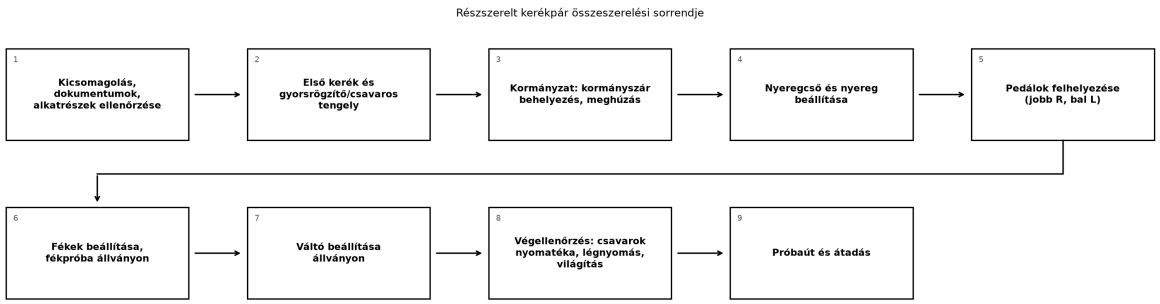
Ha egy csavart, pedált, féket vagy váltóbeállítást elrontunk, annak közvetlen baleseti következménye lehet: kioldódó kormány, leeső első kerék, rosszul rögzített pedál vagy nem megfelelően húzó fék. Az autószerelői szemlélet itt is érvényes: a gyártói adat az első, a sorrendnek és a meghúzási nyomatéknak jelentősége van, és minden beállítást próbával ellenőrzünk.

Az alfejezet a Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű alfejezetre épül; az itt megtanult szerelési eljárások az autószerelői gyakorlatban is hasznos gépelem-szerelési és hibakeresési mintát adnak.

43.2.2. Szemléletes kép: részszerelt kerékpár a szerelőállványon

Dobozos kerékpárnál a váz, a hátsó kerék, a hajtómű és gyakran a váltórendszer már fel van szerelve. A dobozban külön egységként találjuk az első kereket, a kormányszárat a kormánnyal, a nyeregcsövet, a pedálokat, a gyorsrögzítőket, a világításokat és a szerelési útmutatót.

A munka tipikus képe: a kerékpár egy szerelőállványra van fogva, úgy, hogy a szorítóbilincs ne a vázat deformálja, hanem a nyeregcsövet vagy a vázszárat fogja. A műhelyasztalon imbuszkulcsok, nyomatékkulcs, csavarmeghúzó, bowdenvágó, zsír, láncolaj, gumiabroncsnyomás-mérő és tisztítószer van kikészítve. Mielőtt bármelyik rögzítést meghúznánk, az összes alkatrészt azonosítjuk a gyártói lista szerint.



43.5. ábra. Részszerelt kerékpár összeszerelési sorrendje - Tanulási szemléltető; az adott kerékpárhoz a gyártó vagy forgalmazó összeszerelési útmutatója a mérvadó.

A folyamatábra azt mutatja, hogy a biztonsági szempontból kritikus rögzítéseket előbb végezzük el, utána állítjuk be a féket és a váltót, és csak a végellenőrzés (csavarnyomatékok, légnyomás, világítás) után következik a próbaút, mert a beállítások értelmezhetőségéhez a kerékpárnak már stabilan, a végleges geometriájával kell állnia.

43.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. *Részszerelt kerékpár üzembe helyezése* az a műveletsor, amelyben a gyárilag elkészített, de szállítás miatt szétszerelt egységeket a gyártó útmutatója szerint összeszereljük, beállítjuk, ellenőrizzük, és a kerékpárt használatra alkalmas állapotba hozzuk.

Definíció. *Megelőző karbantartás* a kerékpár tisztításából, ellenőrzéséből, utánállításából és a kopó alkatrészek állapotfelméréséből álló, előírt időszakonként végzett szolgáltatás. Célja a meghibásodás megelőzése.

Definíció. *Időszakos karbantartás* a kopó alkatrészek (lánc, fogaskeréksor, fékbetét, csapágy, bowden és belső huzal) ellenőrzését, cseréjét, valamint a jármű teljes biztonsági felülvizsgálatát magában foglaló művelet.

Definíció. *Minőségi alkatrészcsere* a kopott vagy sérült részegység gyártó által előírt új, az eredeti specifikációnak megfelelő alkatrésszel történő pótlása. Nem azonos a „beállítgatással”: ha a lánc vagy a fékbetét kopása eléri a határértéket, cserélni kell, nem pedig megfeszíteni.

Összefüggés. A meghúzási nyomaték alapképlete a kerékpáron is ugyanaz, mint a járműveknél:

$$M = F \cdot r,$$

ahol M a nyomaték Nm-ben, F az erő N-ban, r a kulcs erőkarja m-ben. A gyakorlatban nem az erőt számolgatjuk, hanem nyomatékkulcsot használunk a gyártó által megadott értékre állítva.

Összefüggés. A lánc kopását nyúlásban mérjük. A százalékos nyúlás:

$$\Delta L_{\%} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100\%,$$

ahol ΔL a mért hosszváltozás, L_0 az eredeti mérőszakasz. A kerékpárlánc jellemző kopási határa 0,5–0,75% (ellenőrizendő: a lánc- és fogaskerékgyártó adata).

43.2.4. Részszerelt kerékpár összeszerelése és alapbeállítása

A dobozból kivett kerékpárnál a munka sorrendje az, hogy először a nagy, biztonsági szempontból fontos egységeket rögzítjük, majd a finombeállításokat végezzük.

43.2.4.1. Első kerék és kormány

Az első kerék beszerelésénél a tengelyt teljesen be kell ültetni a villa nyílásába, a gyorsrögzítőt vagy csavaros tengelyt a gyártói nyomatékkal kell meghúzni, majd a kereket megforgatva ellenőrizni, hogy a tárcsafék vagy a fékbetét nem súrlódik-e. A fékoldalon a rögzítőt nem szabad túlfeszíteni, mert a villa deformálódhat.

A kormányszár behelyezésénél a szárnak legalább a gyártó által jelölt minimális befogási mélységig kell érnie. A kormányt úgy kell pozicionálni, hogy az alkar és a kormány megfogása közben a csukló természetes helyzetben maradjon. A szárat rögzítő csavarokat fokozatosan, átlósan kell meghúzni.

Szabály. Ahead-kormánycsapágynál először a fedőcsavarral beállítjuk a csapágy előfeszítését (az első féket behúzva előre-hátra mozgatva nincs kotyogás, a kormány szorulás nélkül fordul), csak ezután állítjuk egyenesbe a kormányt, és húzzuk meg a szár szorítócsavarjait váltakozva, a gyártói nyomatékra (ellenőrizendő). A kerék rögzítését külön, a gyorsrögzítő vagy a tengelyanya gyártói nyomatékával ellenőrizzük; végül az egész járművet terhelve (kézzel lenyomva) ellenőrizzük a kötéseket. Ha a kormány elfordul vagy a kerék a tengelyénél kotyog, a rögzítést meg kell ismételni.

43.2.4.2. Nyereg és pedálok

A nyeregmagasságot a felhasználó testméreteihez kell állítani. Kiinduló értéknek a belső lábhossz (l_b) és a nyeregmagasság (h_{nyereg}) között a mérési gyakorlatban használt szorzót alkalmazzuk, ahol h_{nyereg} a hajtókar-tengely (középcsapágy) közepétől a nyereg tetejéig mért távolság a nyeregcső vonalában (tanulási közelítés, ellenőrizendő):

$$h_{\text{nyereg}} \approx 0{,}883 \cdot l_b.$$

Ezt követően a próba során a nyeregmagasságot és a nyereg előre–hátra pozícióját a felhasználó érzése szerint finomítjuk. A nyeregcsőnek a vázszárban a minimális befogási mélység alá nem szabad mennie; ezt a csövön lévő jelzés mutatja (jellemzően legalább 7 cm-es befogás – ellenőrizendő: a kerékpárváz és nyeregcső gyártója).

A pedálokat két oldalon különböző menetiránnyal szerelik. A jobb oldali pedál jobbos menetű, a bal oldali balos menetű; ezért a bal pedált az óramutató járásával ellentétesen kell behajtani. A pedáltengely menetét vékonyan meg kell kenni, és a gyártói nyomatékkal kell meghúzni.

43.2.4.3. Fékbeállítás

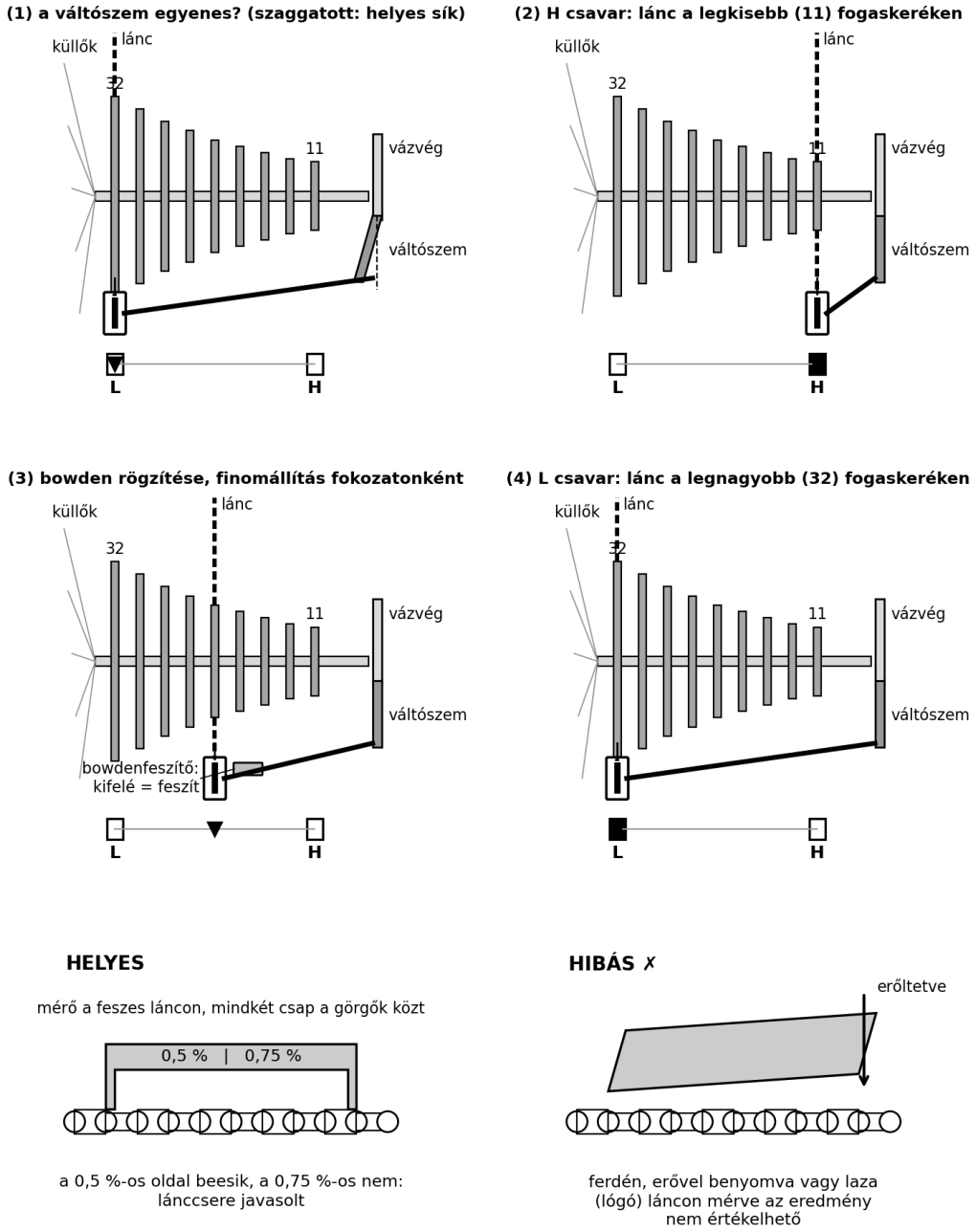
A fékbeállításnál a keréknek szabadon kell forognia, a fékbetét nem érhet a tárcsához vagy a felnihez, amikor a fék nincs behúzva. A fékbetét kopási síkjának párhuzamosnak kell lennie a fékezett felülettel. A karon a fogás pontja úgy állítandó, hogy a fékhatás a kar meghúzásának első harmadában érezhető legyen, de a kar ne érjen a kormánycsőhöz teljes behúzáskor.

Figyelem. A hidraulikus tárcsaféknél a fékfolyadékot csak a gyártó által előírt típussal lehet utántölteni; az ásványolaj és a DOT-fékfolyadék nem keverhető. A munka során a fékfolyadék a festett felületre ne kerüljön.

43.2.4.4. Váltóbeállítás

A váltó beállításához a hajtóművet hajtani kell, ezért a kerékpárt állványra kell helyezni, vagy a hátsó kereket megemelni. A váltókar vagy a váltócsavar feszességét úgy kell beállítani, hogy a lánc minden fogaskerék pozícióban pontosan, késedelem nélkül fel- és leugorjon, és ne csússzon, ne essen le.

Szabály. A hátsó váltónál a H (high) és L (low) csavar a lánc útját határolja, a B-csavar a váltógörgő és a legnagyobb fogaskerék közötti távolságot állítja. A pontos beállítási értékek a váltó gyártójának adatai (ellenőrizendő: gyártói szervizinformáció).



43.6. ábra. A hátsó váltó beállítása hátulnézetből (1–4) és a láncnyúlás mérése láncmérővel: helyes és hibás mérés (5–6); sematikus képsor

A képsor sorrendje: (1) a váltószem egyenességének ellenőrzése – elhajlott váltószemmel a beállítás nem sikerülhet; (2) a H csavar a legkisebb fogaskeréken a felső váltógörgőt a fogaskerék síkjába állítja; (3) a huzal rögzítése után a bowdenfeszítővel fokozatonként finomhangolunk; (4) az L csavar a legnagyobb fogaskeréken megakadályozza, hogy a váltó a küllők közé jusson. Az (5)–(6) kocka a láncmérő helyes (feszes láncon, erőltetés nélkül) és hibás használatát mutatja a 0,5 % és 0,75 % határral. Az interaktív változat lépésenként, magyarázattal játssza le a képsort.

43.2.5. Kidolgozott példák

1. példa. Egy ügyfél belső lábhossza 82 cm. Adjuk meg a kiinduló nyeregmagasságot a 0,883-es szorzóval.

Számítás. $h_{\text{nyereg}} = 0{,}883 \cdot 82\,\text{cm} = 72{,}4\,\text{cm}$. A nyereg pontos magasságát a próba során finomítjuk, mert a számított érték kiinduló, nem végleges beállítás. Ha a felhasználó ülőhelyzete fájdalmat okoz, a tünet szerint módosítunk.

2. példa. A láncmérővel a lánc hossza 100 mm mérőszakaszon 0,8 mm-t nyúlt. Határozzuk meg a nyúlás százalékát, és döntsünk a cseréről.

Számítás. $\Delta L_{\%} = \frac{0{,}8}{100} \cdot 100\% = 0{,}8\%$. Mivel a jellemző lánc- és fogaskerékgyártói gyakorlatban 0,75% fölött a láncot cserélni kell, és gyakran a fogaskeréksor is kopott (ellenőrizendő: az aktuális kopáshatár a gyártó adata), a javaslat a lánc és rendszerint a fogaskeréksor cseréje.

3. példa. A hajtókar rögzítőcsavarját 40 Nm nyomatékkal kell meghúzni. A kulcs hossza 0,25 m. Mekkora erőt kell a kulcs végére kifejteni? A feladat a nyomaték–erőkar összefüggés felidézésére szolgál, bár a gyakorlatban nyomatékkulcsot használunk.

Számítás. $F = \frac{M}{r} = \frac{40\,\text{Nm}}{0{,}25\,\text{m}} = 160\,\text{N}$. Ez körülbelül 16 kg-os súlynak megfelelő erő. A pontos nyomatékot azonban a nyomatékkulcsra állítva érjük el, nem kézi erőbecsléssel.

43.2.6. Minőségellenőrzés

Az ellenőrzés mindig a gyártói adathoz, a kopási határhoz és a jármű biztonsági követelményéhez képest történik. A kerékpárnál a legfontosabb ellenőrző lista:

Rendszer	Mit ellenőrzünk?	Milyen eszközzel?	Jellemző elfogadási érték	Forrás
Kormány/rögzítés	elfordulás, kotyogás	kézi terhelés, nyomatékkulcs	nincs elmozdulás	gyártói adat
Keréktengely	oldalirányú játék	kézi ellenőrzés	nincs érzékelhető játék	gyártói adat
Fék	fékerő, szabad futás	próbaút, kézi erő	a kar ne érjen a kormányhoz	gyártói beállítás
Váltó	fel- és leugrás minden fokozatban	próbaút, állványon hajtás	nincs késedelem, láncleesés	gyártói beállítás
Lánc	nyúlás	lánckopás-mérő	0,5–0,75% alatt	gyártói kopási adat
Gumiabroncs	nyomás, repedés, mintamélység	nyomásmérő, szemrevételezés	a gyártó által megadott bar	gyártói adat

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a kerékpár és az alkatrész gyártójának adatai). A gyakorlati munkalapon a tényleges értéket mindig a szerelési utasításból vesszük.

43.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azzal érkezik, hogy a kerékpárja „nyikorog, a fék gyenge, és a váltó ugrál”. A munkalap szerinti első lépés a tünetek rögzítése és a kerékpár állványra vétele.

A szemrevételezésnél a lánc erősen koszos, a fékbetét vékony, a hátsó váltó bowdenhuzala pedig megtört. A láncmérő a láncra illesztve beleesik a 0,75%-os nyúlásjel alá: a lánc eléri a kopási határt. A fogaskeréksor fogai horgassá, kopottá váltak. A fékbetét mérése a gyártó által megadott minimális vastagság alatt van.

A javítás során a láncot és a fogaskeréksort együtt cseréljük, mert a kopott lánc és az új fogaskeréksor nem illeszkedik jól, és gyors kopást okoz. A váltó belső huzalát is cseréljük, mert a megtört huzal akadozik. A fékbetéteket újra cseréljük, a tárcsát ellenőrizzük, és a féket légtelenítjük/utánállítjuk. A próbaút előtt a csavarokat nyomatékkulccsal ellenőrizzük, a gumiabroncsnyomást beállítjuk, és a lámpákat is megvizsgáljuk.

A tanulság: a három tünetet nem három külön beállítással oldottuk meg, hanem a kopási határok ellenőrzésével és a kopó alkatrészek minőségi cseréjével.

43.2.8. Gyakorlati útmutató

43.2.8.1. Részszerelt kerékpár összeszerelése és üzembe helyezése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél. A dobozos kerékpár balesetmentes, a gyártói előírásnak megfelelő üzembe helyezése.

Szükséges szerszámok és anyagok. Imbuszkulcs-készlet, csavarkulcsok, nyomatékkulcs, csavarmeghúzó, láncvágó, gumiabroncsnyomás-mérő, lánckopás-mérő, zsír, láncolaj, tisztítószer, tiszta rongy.

Munkavédelmi és környezetvédelmi lépések. A kerékpárt stabil szerelőállványra fogjuk; a sérült akkumulátort vagy hajtáselektronikát nem érintjük. Az olajos rongyokat és az elhasznált alkatrészeket szelektíven gyűjtjük.

Munkalépések:

1. Csomagolás kinyitása; a gyártói lista szerint minden alkatrészt megkeresünk, és a dokumentumokat (szerelési útmutató, garancia lap) elkülönítjük.
2. Ellenőrizzük a vázat, a villát és a már beépített részegységeket: repedés, horpadás, idegen tárgy nem lehet rajta.
3. Az első kereket behelyezzük a villába; a gyorsrögzítőt vagy csavaros tengelyt a gyártói nyomatékkal meghúzzuk.
4. A kormányszárat a fejescsőbe illesztjük, a gyártó által jelölt minimális befogási mélységig; a szár szorítócsavarjait lazán hagyva a fedőcsavarral beállítjuk a kormánycsapágy előfeszítését (kotyogás- és szorulásmentes), majd a kormányt középre állítjuk, és a szár szorítócsavarjait váltakozva, a gyártói nyomatékra (ellenőrizendő) meghúzzuk.
5. A nyeregcsövet behelyezzük, beállítjuk a kiinduló magasságot, és a nyeregcső-bilincset meghúzzuk.
6. A pedálokat azonosítjuk (jobb R, bal L), a menetet megkenjük, és a pedálokat a gyártói nyomatékkal rögzítjük.
7. A fékeket felhelyezzük és beállítjuk; a kerék forgatásával ellenőrizzük a súrlódást.

8. A váltót beállítjuk: a H, L és B csavarokat a gyártói adatok szerint, majd a hajtóművet megforgatva minden fokozatot leellenőrzünk.
9. Végellenőrzés: minden csavart nyomatékkulccsal ellenőrzünk; a gumiabroncsnyomást a gyártó által megadott értékre állítjuk; a világítást, a csengőt és a sárvédőt is ellenőrizzük.
10. Próbautat végzünk, de a megbízást csak akkor adjuk át, ha a fék, a váltó, a kormány és a kerekek megfelelően működnek.

Dokumentálás. A munkalapon rögzítjük a kerékpár típusát, vázszámát, a beállított gumiabroncsnyomást, a meghúzási nyomatékokat és a próba eredményét.

43.2.8.2. Időszakos karbantartás, lánc- és fogaskeréksor-csere

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

Cél. A kopó alkatrészek ellenőrzése, minőségi cseréje, a váltó és fék beállítása, valamint a teljes biztonsági felülvizsgálat.

Szükséges eszközök. Lánckopás-mérő, láncvágó, csavarkulcsok, kazetta- és lánckerék-lehúzó, zsírtalanító, láncolaj, fékbetét-ellenőrző, nyomatékkulcs.

Munkalépések:

1. A kerékpárt állványra fogjuk; a láncot és a fogaskeréksort tisztítószerrel lezsírtalanítjuk.
2. Megmérjük a lánc nyúlását a láncmérővel. Ha az érték 0,5% alatt van, a láncot tisztítás után kenjük; ha 0,5–0,75% közötti (gyártótól függően), a lánc cseréjét javasoljuk, a fogaskeréksor még jó lehet; ha 0,75% fölött van, a láncot és rendszerint a fogaskeréksort is cserélni kell (ellenőrizendő: gyártói érték).
3. A kopott fogaskeréksor cseréjekor a zárógyűrűt lehúzóval eltávolítjuk, a fogaskoszorút leemeljük, az új sorozatot felhelyezzük, és a zárógyűrűt a gyártói nyomatékkal rögzítjük.
4. Az új lánc hosszát a régi láncaihoz viszonyítva, vagy a legnagyobb elöl lévő lánckerék és a legnagyobb hátsó fogaskerék körbevezetésével, a gyártói előírás szerint vágjuk.
5. A láncot a kapcsolószemmel összezárjuk, a váltót beállítjuk, és a lánc feszességét ellenőrizzük.
6. A fékbetéteket megmérjük: a minimális vastagság alatti betétet cseréljük. A tárcsát vagy felni felületét ellenőrizzük, szükség szerint tisztítjuk.
7. A kerekek csapágyait kézi játékra ellenőrizzük; ha a kerék tengelyirányú vagy sugárirányú játéka érezhető, a csapágyat cserélni kell.
8. A kormány, a nyeregcső és a hajtókar rögzítéseit nyomatékkulccsal ellenőrizzük.
9. A gumiabroncsokat nyomásra, repedésre és mintamélységre vizsgáljuk.
10. Próbautat végzünk: a fék hatását, a váltó minden fokozatát, a kerekek centrírozottságát és a teljes kerékpár zajmentes működését ellenőrizzük.

Dokumentálás. A munkalapon a cserélt alkatrészeket, a mért kopási értékeket és a beállítási adatokat rögzítjük. A régi láncot és fogaskeréksort szelektív hulladékgyűjtőbe tesszük.

43.2.9. Elektromos kerékpár szervize, akkumulátor-biztonság

Az elektromos rásegítésű kerékpár (pedelec) villamos hajtása nagy kapacitású lítiumion-akkumulátort tartalmaz. A szerelés megkezdése előtt az akkumulátort ki kell kapcsolni, és a gyártói utasítás szerint le kell választani vagy ki kell venni a tartókeretből.

Figyelem. A lítiumion-akkumulátor sérült cellája zárlatot, hőmegfutást és tüzet okozhat. Tilos az akkumulátort felnyitni, a sarkait rövidre zárni, vízbe meríteni, ütni vagy forró felületre

helyezni. A sérült akkumulátort a gyártó mentési és kezelési útmutatója szerint kell félretenni (ellenőrizendő: az akkumulátor gyártójának biztonsági adatlapja).

Figyelem: akkumulátor- és zárlatveszély. A pedelec 24–48 V-os rendszere nem nagyfeszültségű, érintésvédelmi szempontból kis kockázatú, de az akkumulátor zárlati árama égést, ívet és tüzet okozhat. A szerelés során a gyártó által meghatározott feszültségmentesítést be kell tartani. Az akkumulátort mindig a gyártói kapcsolóval vagy a zárt csatlakozó leválasztásával kell áramtalanítani, és a csatlakozót visszakapcsolás ellen biztosítani. A hajtásrendszer nagy áramú vezetékein csak feszültségmentes állapotban dolgozhatunk.

Gyakorlati eljárás e-kerékpár szervizhez:

1. A kerékpárt stabil állványra fogjuk; a kijelzőt és a hajtást kikapcsoljuk.
2. Az akkumulátort a gyártói zár kinyitásával levesszük, és biztonságos helyre, nem éghető alátétre helyezzük.
3. A csatlakozókat ellenőrizzük: karc, olvadás, deformáció vagy nedvesség nem lehet. A sarkokat ne érintsük fém szerszámmal.
4. A motort és a hajtóművet a gyártói nyomatékok szerint ellenőrizzük.
5. A szerelés után először az akkumulátort csatlakoztatjuk, majd a rendszert kapcsoljuk be, és a tolássegítő (ha van), a fék, a rásegítés és a kijelző működését próbapadon ellenőrizzük.

Környezetvédelem. Az elhasznált lítiumion-akkumulátor veszélyes hulladék; a gyártó vagy a gyűjtőpont szerinti visszavételre kell leadni. A tűzveszélyes akkumulátort nem szabad a kommunális hulladékhoz dobni.

43.2.10. Tipikus hibák

1. hiba: a bal pedált jobbos menetként behajtani. A bal pedál balos menetű, ezért a jobbos menetirányú behajtás tönkreteszi a hajtókar és a pedál menetét. A helyes gyakorlat: a pedálokon lévő L és R jelölés ellenőrzése, majd a megfelelő irányú behajtás.

2. hiba: a kormány- vagy nyeregcső-bilincset túlhúzni. A túlzott nyomaték deformálja a csövet vagy a vázhüvelyt, és repedést okozhat. A helyes gyakorlat: a gyártói nyomatékot betartani, a kötést terheléssel ellenőrizni.

3. hiba: a láncot túlfeszíteni. A túlfeszített lánc a hajtómű és a hátsó kerék csapágyait terheli, és gyors kopást okoz. A láncnak a gyártó által előírt belógása legyen.

4. hiba: a tárcsafék beállítását a kerék nem központos helyzetében végezni. Ha az első kerék a villában nem ül teljesen, a tárcsafék súrlódik, és a fékhatás pontatlan. A helyes gyakorlat: a kereket központosan rögzíteni, majd a féket beállítani.

5. hiba: a sérült lítiumion-akkumulátort a használt akkumulátorok közé dobni. A sérült cella hőmegfutást okozhat. A helyes gyakorlat: a sérült akkumulátort a gyártó szerint elkülöníteni, nem éghető edénybe helyezni, és értesíteni a hulladékkezelőt.

43.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a jobb oldali pedál balos menetű? Indokold!
2. Milyen sorrendben kell elvégezni a részszerelt kerékpár összeszerelésénél az első kerék és a fékbeállítás műveletét?
3. Számítás: a lánc nyúlása 100 mm mérőszakaszon 0,6 mm. Hány százalékos a nyúlás, és cserét igényel-e a jellemző 0,5–0,75%-os sáv szerint?

4. Mi az első biztonsági lépés elektromos kerékpár hajtásrendszerénél a szerelés megkezdése előtt?
5. Mi a különbség a megelőző és az időszakos karbantartás között?
6. Igaz-e, hogy a láncot mindig feszesre kell állítani, hogy ne csússzon le? Indokold!

43.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a részszerelt kerékpár összeszerelésének öt fő lépését a biztonságos sorrendben.

2. feladat (A). Egy ügyfél belső lábhossza 80 cm. Számítsd ki a 0,883-es szorzóval a kiinduló nyeregmagasságot, és nevezd meg, miért csak kiinduló érték ez.

3. feladat (B). A láncmérő a láncra illesztve a kopásjel alá esik: a lánc nyúlása 0,8%. Mit javasolsz, és miért nem elég csak a láncot cserélni? Milyen további alkatrészt kell ellenőrizni?

4. feladat (B). Írd le egy fogaskeréksor és lánc cseréjének munkalépéseit, kezdve az állványra fogástól a próbaútig. Ügyelj a lánc hosszának meghatározására.

5. feladat (C). Elektromos kerékpár nem indul, a kijelző nem világít, de az akkumulátor feszültsége üresjárásban 42 V-ot mutat. Sorold fel a lehetséges okokat és a vizsgálat lépéseit. Miért nem elég a feszültségmérés?

6. feladat (D). Ügyfél panasza: a váltó a középső fogaskerekeken ugrál, és a lánc néha leesik. Rögzítsd a tünetet, állíts fel legalább három lehetséges okot, és írd le a mérési/szemrevételezéses vizsgálat lépéseit.

43.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A jobb oldali pedál jobbos menetű; a bal oldali pedál balos menetű, ezért az óramutató járásával ellentétes irányban kell behajtani.
2. Először az első kereket kell a villába központosan beszerelni és rögzíteni, majd a féket beállítani, mert a kerék pozíciója befolyásolja a fék helyzetét.
3. $\Delta L_{\%} = \frac{0{,}6}{100} \cdot 100\% = 0{,}6\%$. Ez a 0,5–0,75%-os sávba esik, ezért a lánc cseréje javasolt, a fogaskeréksor még megmenthető (ellenőrizendő: gyártói érték).
4. A hajtást kikapcsolni, és az akkumulátort a gyártói utasítás szerint levenni/leválasztani, a csatlakozót visszakapcsolás ellen biztosítani.
5. A megelőző karbantartás gyakori, jellemzően tisztítás, utánállítás, kisebb ellenőrzés; az időszakos karbantartás ritkábban végzett teljes felülvizsgálat, kopó alkatrészek cseréjével.
6. Hamis. A láncot a gyártó által előírt belógásra kell állítani; a túlfeszített lánc a csapágyakat terheli és gyors kopást okoz.

1. feladat megoldása. A rendszerint ajánlott sorrend: (1) alkatrészek ellenőrzése, (2) első kerék és rögzítő, (3) kormány és kormányszár, (4) nyeregcső, (5) pedálok, (6) fékbeállítás, (7) váltóbeállítás, (8) végellenőrzés. A feladat öt lépés elfogadható a fentiek közül. A legfontosabb, hogy a biztonsági rögzítések megelőzik a finombeállítást.

2. feladat megoldása. $h_{\text{nyereg}} = 0{,}883 \cdot 80\,\text{cm} = 70{,}6\,\text{cm}$. Kiinduló érték, mert a beállítást a felhasználó ülőhelyzete, lábhossza és a próba során érzett nyomáspontok szerint kell finomítani.

3. feladat megoldása. 0,8%-os lánckopásnál a láncot cserélni kell. A kopott lánc és az új lánc nem illeszkedik a régi fogaskeréksorhoz, ezért a fogaskeréksort is ellenőrizni kell; ha a fogak

horgassá vagy aszimmetrikusan kopottak, a fogaskeréksort is cserélni kell. Tovább kell ellenőrizni a váltógörgőket és a feszítőt.

4. feladat megoldása. (1) kerékpár állványra fogása, (2) hajtás tisztítása zsírtalanítóval, (3) lánckopás mérése, (4) a régi lánc szétnyitása láncvágóval, (5) a fogaskeréksor zárógyűrűjének lehúzása lehúzóval, (6) a kopott fogaskeréksor leemelése, az új fogaskeréksor felhelyezése, zárógyűrű meghúzása nyomatékkulccsal, (7) az új lánc hosszának meghatározása a régi lánchoz vagy a legnagyobb elöl és hátul körbevezetett hossz + 2 szem, gyártói előírás szerint, (8) a lánc összezárása patentszemmel/kapcsolószemmel, (9) váltó beállítása H, L, B csavarokkal, (10) fékbetétek ellenőrzése/csere, (11) csavarok nyomatéki ellenőrzése, (12) próbaút minden fokozatban.

5. feladat megoldása. Lehetséges okok: az akkumulátor BMS-e letiltott (cellaaszimmetria, túlmelegedés, mélykisülés), a csatlakozó oxidált/koszos, a kijelző vagy a vezérlő hibás, a biztosíték kiolvadt, a kapcsolózár hibás. A feszültségmérés üresjárásban nem elegendő, mert a BMS letiltása mellett az akkumulátor továbbra is mutat feszültséget, de terhelés alatt azonnal leesik. Vizsgálati lépések: csatlakozók ellenőrzése, biztosíték mérése, akkumulátor terhelés alatti mérése, diagnosztikai eszközzel a BMS hibakódjai, a kijelző/kapcsoló jele.

6. feladat megoldása. Tünet: a váltó ugrál, lánc leesik. Lehetséges okok: (1) a váltó H/L határolócsavarja rosszul áll, (2) a váltó belső huzala/köpenye akad vagy sérült, (3) a lánc és/vagy fogaskeréksor kopott, (4) a váltógörgő csapágya kopott, (5) a hátsó váltófeszítő beállítása (B-csavar) rossz. Vizsgálat: szemrevételezés (huzal, fogak), lánckopásmérés, a váltó mozgatása a váltókarral, a H/L csavarok állapota, a váltógörgő játéka. A javítás: a kiváltó ok szerint huzalcsere, lánc/fogaskerék-csere, határolócsavar-beállítás, B-csavar beállítás, próbaút.

43.2.14. Rövid összefoglaló

A kerékpár üzembe helyezése és karbantartása ugyanazt a logikát követi, mint a járműjavítás: a biztonsági szempontból fontos rögzítéseket a gyártó által előírt nyomatékkal, sorrendben kell elvégezni, majd a beállításokat fokozatosan, próbával ellenőrizni. A részszerelt kerékpárnál először az első kereket, a kormányt, a nyerget és a pedálokat szereljük, utána a féket és váltót állítjuk be. A fékbetét, lánc, fogaskeréksor, csapágy és bowden állapotát kopási határértékekhez mérjük; ha a határt elérik, minőségi cserét végzünk. A lánc nyúlását százalékban mérjük: 0,5% alatt tisztítás és kenés, 0,5–0,75% között lánc-csere, 0,75% fölött lánc és fogaskeréksor együttes cseréje (ellenőrizendő: gyártói adat). Elektromos kerékpárnál a lítiumion-akkumulátort a gyártó szerint kell áramtalanítani, sérült akkumulátort tilos felnyitni, rövidre zárni vagy kommunális hulladékba dobni. **Továbbvitt eredmény.** A meghúzási nyomatékkal, kopási határral és tünet–hipotézis–mérés–javítás lánccal végzett kerékpáros szerelési gondolkodást a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben használjuk tovább, ahol a vizsgafeladatokat ugyanilyen munkalap és ellenőrzőlista szerint kell megoldani.

43.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok. A kerékpár gyártójának szerelési útmutatója, a hajtás- és fékalkatrész gyártók szervizadatai, a kerékpárokra vonatkozó ISO szabványok (például ISO 4210 a kerékpárok biztonsági követelményeire – ellenőrizendő: az aktuális részek és alkalmazhatóság), a lítiumion-akkumulátorokra vonatkozó IEC 62133 és az ENSZ UN 38.3 szállítási vizsgálat (ellenőrizendő: a hatályos verziók), valamint a közúti kerékpárok és pedelecek járműbesorolására vonatkozó hazai és uniós szabályozás.

Ellenőrizendő állítások. A megadott nyergezési szorzó, a nyeregcső minimális befogási mélysége, a lánc kopási határértékei, a fékbetét minimális vastagsága, a váltó H/L/B csavarok beállítási

értékei, a pedál és hajtókar meghúzási nyomatékai, az elektromos kerékpár akkumulátorának feszültség- és biztonsági adatai, valamint a 250 W és 25 km/h rásegítési határ, az összes gyártói és hatósági adat a kiadás előtt ellenőrizendő. A kerékpár-alkatrészek mérésénél mindig a gyártó aktuális specifikációja a mérvadó.

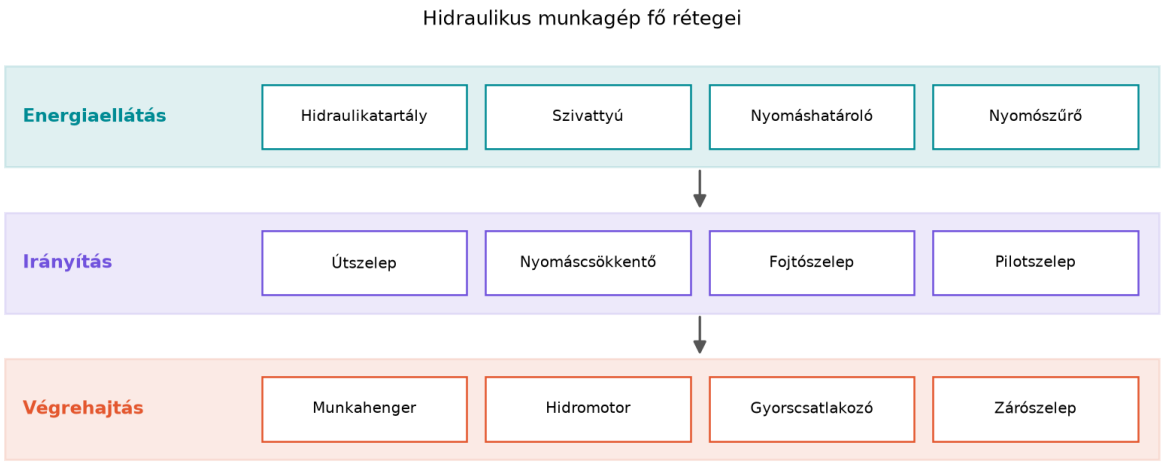
44 Gépkezelő és emelőgépkezelő ismeretek

44.1. Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás

44.1.1. Motiváció és szemléletes kép

A homlokrakodó kanala a műszak elején még megemelkedik, délutánra azonban már csak lassan, és a hidraulikaolaj is feltűnően forró. A gép kezelője a gépnaplóba csak annyit írt, hogy „rendben”. Ha nem tudod, hogy a hidraulikus rendszer milyen rétegekből épül fel, és miért kötelező a műszakkezdés előtti ellenőrzést dokumentálni, akkor az ilyen hibát csak utólag, nagyobb kárral lehet felderíteni. Ugyanez a tudás kell az emelőgép-kezelői feladatoknál is: a hidraulikus munkagép elemeinek megnevezése és a gépnapló vezetése ott már nem bónusz, hanem a biztonságos munkavégzés feltétele.

A következő ábra azt a három funkcióréteget mutatja, amelyre minden munkagép hidraulikáját rá tudjuk rajzolni:



44.1. ábra. Hidraulikus munkagép fő rétegei - Szemléltető rétegábra; a gyártói kapcsolási rajz és a gépkönyv a mérvadó.

A rétegek sorrendje nemcsak a tanulásban, hanem a hibakeresésben is hasznos: először mindig az energiaellátást, azután az irányítást, végül a végrehajtó elemet vizsgáljuk.

44.1.2. Alapfogalmak: hidraulika, pneumatika, gépnapló

Definíció. Hidraulikus hajtásnak (hydraulic drive) nevezzük azt a hajtásrendszert, amely nyomás alatt lévő folyadék, többnyire hidraulikaolaj energiájával hoz létre erőt és mozgást. A folyadékot a szivattyú áramoltatja, a nyomást pedig a terhelés hozza létre.

Definíció. Pneumatikus hajtásnak (pneumatic drive) nevezzük a sűrített levegővel működő rendszert. A levegő a kompresszorból, a légtartályon és légszárítón keresztül jut az irányító szelepekhez, majd a munkahengerekhez vagy más végrehajtókhoz.

Definíció. Gépnapló (machine logbook; gyakran „üzemeltetési napló”) a munkagép üzemeltetését, ellenőrzéseit, karbantartásait, javításait, folyadék- és kenőanyag-felhasználását, valamint a kezelői észrevételeket időrendben rögzítő dokumentum.

A hidraulikus munkahenger erejét a Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő és Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása alfejezetben már megismert összefüggés adja:

$$F = p \cdot A, \qquad A = \frac{d^2 \pi}{4}.$$

Ahol F a dugattyúrúd által kifejtett erő, p a rendszernyomás, A a dugattyú felülete, d a hengerfurat átmérője. Ez az egyetlen képlet elegendő ahhoz, hogy megértsük, miért lehet egy 200 baros hidraulikus rendszer ugyanolyan erőt kifejteni, mint egy jóval nagyobb, nehéz mechanikus szerkezet.

44.1.3. Gépelemek és rajzolvasás a gépkezelő szemszögéből

A gépkezelő rajzolvasásánál nem a gép legyártásához, hanem az üzemeltetéshez és a hiba behatárolásához kell tudni olvasni a kapcsolási vázlatot. A Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása alfejezetben megismert ISO 1219-jelöléseket itt már teljes munkagép-rendszereken alkalmazzuk. A rajz leggyakoribb elemei:

- energiaellátók: hidraulikatartály, szivattyú, kompresszor;
- irányítók: 4/3 útszelep, visszacsapó, nyomáshatároló, fojtószelep;
- végrehajtók: munkahenger, hidromotor, pneumatikus munkahenger;
- kiegészítők: szűrők, hűtők, nyomásmérők, akkumulátorok.

A 4/3 jelölés azt jelenti, hogy a szelepnek négy csatlakozása és három kapcsolási állása van. A munkagépeken gyakori a 4/3 tolattyús útváltó, amely egy henger két irányú mozgatását és a nyugalmi állapotot is tudja biztosítani.

44.1.4. Belsőégésű motorok és elektromos berendezések munkagépeken

A munkagépek többségén a hajtómotor dízelmotor, mert nagy nyomatékot kell tartósan leadni, és a fogyasztás is kedvezőbb, mint az Otto-motoré. A dízel befecskendező rendszer a(z) Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés alfejezetben tárgyalt nagynyomású rendszerhez hasonlóan dolgozik, a munkagép-kezelő számára azonban a motor legfontosabb pontja a műszak eleji ellenőrzés: motorolajszint, hűtőfolyadék-szint, ékszíjak, szivárgások, kipufogógáz-szín.

Az elektromos rész a 12 vagy 24 V-os fedélzeti hálózat. A gépkezelőnek ismernie kell az indítókör alapkapcsolásait, mert a „nem indul” hiba gyakran rossz érintkezésből vagy megnövekedett feszültségesésből adódik. A Indítómotorok alfejezetben tanult 30-as és 50-es kapocsjelölés itt is érvényes: a 30 a közvetlen akkumulátor-plusz, az 50 a gyújtáskapcsolón át vezérelt indítójelfeszültség.

44.1.5. Hidraulikus rendszerek a munkagépeken

A hidraulikus munkagép energiaellátó oldala hidraulikatartályból, szivattyúból, nyomáshatárolóból és szűrőkből áll. A tartály nemcsak olajtároló, hanem hőtágulási tartalékot, levegőleválasztást és ülepítést is biztosít. A szivattyú a motortól kapott mechanikai energiát alakítja olajárammá; a munkagépeken leggyakrabban fogaskerék-, lapát- vagy axiáldugattyús szivattyú fordul elő.

Szabály. A hidraulika nyitott körű, ha az olaj a tartályból a szivattyún át a fogyasztóhoz jut, majd a tartályba folyik vissza. Zárt körben a hidromotor visszatérő ága közvetlenül a szivattyú szívócsatlakozásába jut, így kisebb tartály is elegendő.

A hidraulikus rendszerben a nyomáshatároló a biztonsági elem. Ha a terhelés túl nagy, vagy a henger végállásba ér, a nyomáshatároló kinyit, és az olaj a tartályba folyik. Ezért mondjuk, hogy a szivattyú nem a nyomást, hanem a térfogatáramot szabja meg; a nyomást a terhelés és a nyomáshatároló beállítása adja.

A szűrőket a szívó-, a nyomó- és a visszafolyó ágban is beépíthetik. A szennyeződés okozza a legtöbb hidraulikus meghibásodást, ezért a szűrőbetéteket a gyártói ütemterv szerint cseréljük. A tömítettség belső és külső is lehet. A külső szivárgás látható olajnyom, a belső szivárgás viszont nem feltétlenül, mert a dugattyú vagy a tolattyú mellett folyik át az olaj, és teljesítményveszteséget, melegedést okoz.

Példa. Milyen erőt tud kifejteni egy hidraulikus munkahenger, ha a hengerfurat átmérője $d = 80\,\mathrm{mm}$, és a terhelés alatti nyomás $p = 200\,\mathrm{bar}$?

Számítás. A dugattyúfelület:

$$A = \frac{0{,}080^2 \cdot \pi}{4} = 5{,}03 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^2.$$

A nyomás átszámítva:

$$p = 200\,\mathrm{bar} = 20{,}0\,\mathrm{MPa} = 20{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Pa}.$$

Az erő:

$$F = p\,A = 20{,}0 \times 10^{6} \cdot 5{,}03 \times 10^{-3} = 100{,}6\,\mathrm{kN}.$$

∎

Ez az erő már több tonnányi teher emelésére elegendő, és jól mutatja, miért kell a hidraulikus kört nyomásmentesítés nélkül soha nem bontani.

44.1.6. Pneumatikus rendszerek a munkagépeken

A pneumatikus rendszer a fékműködtetésben, a gépipari munkahengerekben és egyes vezérlésekben jelenik meg. A kompresszor levegőt sűrít a légtartályba, ahol a nyomásjellemző 6–10 bar körül van, de a pontos érték a rendszer típusától függ. A légelőkészítő egység (szűrő, nyomáscsökkentő, ködolajozó; gyakran FRL-nek nevezik) gondoskodik a tiszta, megfelelő nyomású és kenőködöt tartalmazó levegőről. A pneumatikus henger erő kisebb, mint egy hasonló méretű hidraulikus hengeré, de a rendszer egyszerűbb, és nincs olajszivárgási veszteség.

Példa. Egy $d = 50\,\mathrm{mm}$ dugattyúátmérőjű pneumatikus munkahenger $p = 6\,\mathrm{bar}$ nyomáson:

$$A = \frac{0{,}050^2 \cdot \pi}{4} = 1{,}96 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^2,$$

$$p = 6\,\mathrm{bar} = 600\,\mathrm{kPa} = 600 \times 10^3\,\mathrm{Pa},$$

$$F = p\,A = 600 \times 10^3 \cdot 1{,}96 \times 10^{-3} = 1{,}18\,\mathrm{kN}.$$

∎

Ez a hidraulikus példánál körülbelül százszor kisebb erő, ezért a pneumatika elsősorban gyors, kis és közepes erejű műveletekhez alkalmas.

44.1.7. Gazdaságos üzemeltetés

A gépkezelő a gépet akkor üzemelteti gazdaságosan, ha a feladatot a szükséges terhelés mellett, felesleges üresjárat és felesleges nagyfordulat nélkül végzi. A fő üzemeltetési költségek: üzemanyag, motor- és hidraulikaolaj, szűrőbetétek, kopó alkatrészek, karbantartási munkaidő és a hibás üzemelésből fakadó károk. A hosszú hidegüzemi üresjárat, a gyakori maximális fordulatszám, a szennyezett hidraulikaolaj és az elhanyagolt kenés mind növeli az üzemóraköltséget.

A pontos gazdaságossági mutatót a gépnaplóból lehet kiszámolni: a havi felhasznált üzemanyag-mennyiség és az üzemóraszám hányadosa adja a gép fajlagos fogyasztását l/üzemóra mértékegységben (pl. 1 620 l / 180 h = 9,0 l/h). Ezt csak a pontos üzemóra-bejegyzés teszi megbízhatóvá.

Előírás. A gépkezelő a munkagépet csak a gyártó gépkönyvében, a munkavédelmi utasításban és a gép dokumentációjában megadott módon üzemeltetheti. Az ellenőrzések elvégzése és a gépnapló vezetése nem adminisztratív kényelem, hanem az üzemeltetési és munkavédelmi követelmények része (ellenőrizendő: a hatályos munkavédelmi törvény és a munkagépekre vonatkozó előírások pontos rendelkezései).

44.1.8. Gépkezelői adminisztráció és gépjavítási dokumentáció

A gépkezelő napi adminisztrációja három pillérből áll:

1. **Műszakkezdés előtti ellenőrzés** – a gép külső állapota, folyadékszintek, fék, kormány, hidraulika, lámpák, vészleállító, tűzoltó készülék.
2. **Munkavégzés alatti megfigyelés** – a műszerfalon megjelenő hőmérséklet-, nyomás- és szintjelek; szokatlan zaj, szivárgás, rezgés.
3. **Műszakvégi átadás** – a gép tisztítása, a tapasztalt hibák beírása, az üzemóra-állás rögzítése, a következő kezelő tájékoztatása.

A javításhoz kapcsolódó dokumentációban a szerelő a hiba okát, a beavatkozást és a felhasznált alkatrészeket rögzíti. Ez nem tévesztendő össze a gépkezelő gépnaplójával; a kettő gyakran egy dokumentumban fut, de a bejegyzések felelőssége eltérő.

Előírás. A gépnaplóban a műszakkezdés előtti ellenőrzés megtörténtét és az esetleges hibát rögzíteni kell; a hibás, balesetveszélyes gépet a kezelő nem indíthatja el, és az észlelést a munkáltatónak vagy a karbantartó szervezetnek jelentenie kell (ellenőrizendő: a munkagépek biztonsági és üzemeltetési követelményeiről szóló hatályos előírások).

44.1.9. Hibaelhárítás és gépjavítási technológiák

A gépkezelő hibaelhárítása a tünet felismeréséből és a hibabehatárolásból áll; a javítást csak a kijelölt karbantartó végezheti. Az általános lánc: tünet rögzítése → külső látható ellenőrzés → gépnapló és előzmények áttekintése → mérőműszeres ellenőrzés → ok azonosítása → javítás → próbaüzem → dokumentálás.

A leggyakoribb hidraulikus tünetek közé tartozik a lassú munkamozgás, a munkahenger süllyedése, a túlmelegedés, a habos olaj, a szivattyúzaj és a nyomásesés. A tünetekhez egyszerű méréseket rendelünk: rendszernyomás mérése teher alatt, olajhőmérséklet, szint, szűrővizsgálat, tömítettség-ellenőrzés.

A hidraulikus rendszeren végzett javítás alapvető technológiai sorrendje:

1. A munkagép leállítása, rögzítés, a munkaszervek letámasztása vagy biztosítása.
2. A hidraulikus kör teljes nyomásmentesítése a gyártói eljárás szerint.
3. Az elektromos vezérlés kikapcsolása, leválasztó reteszelése, a gép illetéktelen indítás elleni biztosítása.
4. A hibás körhöz tartozó nyomásmérő csatlakozó ellenőrzése nyomásmentes állapotban.
5. Alkatrészcsere, tömítések ellenőrzése, meghúzási nyomatékok a gyártói adat szerint.
6. A rendszer feltöltése, légtelenítése, próbaüzem, tömítettség-ellenőrzés.

44.1.10. Valós életbeli alkalmazás: teleszkópos rakodó hidraulika

A telephelyi teleszkópos rakodó gémje a műszak elején még megfelelően emelt, a nap végére azonban csak lassan, és a hidraulikaolaj hőmérsékletjelzője is magas értéket mutatott. A gépnaplóban az előző napi műszakkezdési ellenőrzésnél csak „rendben” szerepelt. A kezelő nem vette észre, hogy a hidraulikatartály alatti talajon friss olajfolt van, a tartály szintüvegén pedig az olajszint a minimum alatt van. A szivattyú szívóoldali csatlakozása levegőt szívott be; az olaj habos lett, a rendszer hatásfoka lecsökkent, és a belső veszteség melegedést okozott. A karbantartó kicserélte a szivárgó szívótömlőt, a tartályt a gépkönyv szerinti olajjal a jelzésig feltöltötte, a rendszert légtelenítette, az olaj állapotát (hab, szín, víztartalom) ellenőrizte, a talajra folyt olajat felitatóval összegyűjtötte és veszélyes hulladékként kezelte, majd a rendszernyomást is ellenőrizte; a gyártói tartományban találta, így a hibát a gépnaplóba bejegyezve a gépet visszaadta a munkának. A tanulság: ha a gépnapló őszintén rögzítette volna a kora reggeli olajfoltot, a javítás kisebb költséggel járt volna.

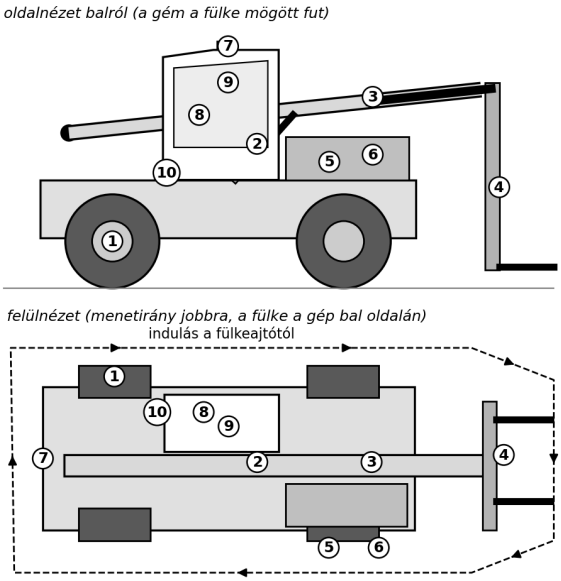
44.1.11. Gyakorlati útmutató: műszakkezdés előtti ellenőrzés és gépnapló-vezetés

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

A következő számozott eljárás a műszakkezdés előtti ellenőrzés lépéseit mutatja egy munkagépen:

1. **Jogosultság és dokumentumok ellenőrzése.** A gépet csak arra kiképzett, a munkáltató által kijelölt személy kezelheti; a gépkönyv, a gépnapló és az aktuális vizsgálati iratok rendelkezésre állnak.
2. **A gép körbejárása.** Sérülés, kilazult elem, szivárgás, vágott gumiabroncs, repedt lánctalp, hiányzó védőburkolat keresése.

3. **Folyadék- és kenőanyagszintek.** Motorolaj, hűtőfolyadék, hidraulikaolaj, fékfolyadék vagy szervoolaj, adott esetben üzemanyag- és AdBlue-szint. A hidraulikatartály szintjét a gyártói állás szerint, a munkaszervek nyugalmi helyzetében ellenőrizzük.
4. **Fék és kormány ellenőrzése.** A rögzítőfék behúzása, a kormánykerék holtjátéka, szivárgás a kormánymű körül.
5. **Világítás, hangjelzés, vészleállító, tolatásjelző.** A figyelmeztető jelzések, a vészleállító működésének rövid próbája.
6. **Motorindítás előtti ellenőrzés.** A kapcsolóváltó üres állásban, a hidraulikus munkaszervek letámasztva vagy alsó helyzetben; figyelmeztető tábla a gép körül, ha szükséges.
7. **Motorindítás.** Hideg motort felesleges nagyfordulaton járatni tilos; a kipufogógáz-szint és a műszerfali jelzéseket megfigyeljük.
8. **Hidraulika- és pneumatikus rendszer próbája.** A munkaszerveket lassan, a teljes tartományban próbáljuk; közben figyeljük a rendszer zaját, az olaj habosságát, a tömítéseket és a nyomásértékeket.
9. **Dokumentálás.** A gépnaplóba beírjuk az üzemóra-állást, a folyadékszintek ellenőrzését, a próba eredményét, és ha hiba van, azt a megfelelő rovatban rögzítjük.



1 gumiabroncsok, keréknyomás (útmutató 2. lépés)

2 hidraulikus munkahengerek és tömlők (útmutató 2. és 8. lépés)

3 gém, teleszkóp csúszólapjai, kenési pontok (útmutató 2. lépés)

4 adapter / villa rögzítőcsapjai (útmutató 2. lépés)

5 motorolaj, hűtőfolyadék, hidraulikaolaj szintje (útmutató 3. lépés)

6 levegőszűrő-eltömődésjelző (útmutató 3. lépés)

7 világítás, villogó, tolatásjelző (útmutató 5. lépés)

8 vészleállító (útmutató 5. lépés)

9 kezelőfülke: biztonsági öv, terhelésdiagram, terhelésnyomaték-jelző (LMI) (útmutató 4., 6. és 8. lépés)

10 tűzoltó készülék (útmutató 2. lépés)

11 gépnapló (útmutató 9. lépés)

44.2. ábra. Teleszkópos rakodó körbejárásos ellenőrzésének pontjai oldal- és felülnézetben, a körbejárási útvonallal (sematikus vonalrajz)

Az ábra számozott pontjai a fenti lépésekhez tartoznak: a körbejárás (2. lépés) az abroncsokat (1), a hidraulikus hengereket és tömlőket (2), a gémet és csúszólapjait (3), a villa vagy adapter rögzítőcsapjait (4) és a tűzoltó készüléket (10) érinti; a folyadékszintek (5) és a levegőszűrő-jelző

(6) a 3. lépés, a világítás és a tolatásjelző (7), valamint a vészleállító (8) az 5. lépés, a kezelőfülke biztonsági elemei (9) a 4., 6. és 8. lépés része; a végén a gépnaplóba írunk (11, 9. lépés). Az interaktív változat pontról pontra végigvezet a körbejáráson, és mindegyiknél leírja, mit nézünk és mi számít hibának.

Figyelem. A hidraulikaolaj kicsi, nehezen látható lyukon is nagy sebességgel léphet ki, és a bőrbe hatolva súlyos, azonnali orvosi ellátást igénylő sérülést okozhat. A hidraulikus csatlakozót nyomás alatt **tilos** megbontani; előtte az emelt munkaszervet biztos alátámasztásba kell engedni, a rendszert nyomásmentesíteni, és a szivárgást tilos kézzel érzékelni. Pneumatikus tartályt és vezetéket csak a nyomásmentesítés után szabad megbontani.

44.1.12. Tipikus hibák

A hidraulikus munkagépeknél gyakori hibák:

1. **Nyomás alatti csatlakozóbontás.** A kezelő a tömítetlen gyorscsatlakozót nyomás alatt próbálja megszorítani, mert a tömítetlenség miatt olajszivárgást észlel. Ez olajbehatolásos sérülést okozhat. A helyes gyakorlat: a rendszer nyomásmentesítése a gyártói eljárás szerint, a munkaszervek letámasztása.
2. **Szennyezett olajjal üzemelés.** A szűrőcsere elmarad, és a hidraulikaolajban fémrészecskék, por vagy víz jelenik meg. Ez a szivattyú és a tolattyús szelepek kopását gyorsítja. A helyes gyakorlat: a gyártói olajtisztasági követelményt szem előtt tartani, a szűrőket ütemterv szerint cserélni, a tartálysapkát tisztán tartani.
3. **A gépnapló formális kitöltése.** A kezelő minden reggel „rendben” bejegyzést ír a tényleges ellenőrzés nélkül. Ez a hiba csak akkor derül ki, amikor egy már régóta fennálló szivárgás vagy kopás károsodássá válik. A helyes gyakorlat: a gépnapló az üzemeltetett gép állapotát rögzíti, ezért csak az elvégzett ellenőrzést szabad leigazolni.
4. **Túltöltött hidraulikatartály.** A kezelő hideg gépnél a maximum fölé tölti az olajat, majd a melegedés miatt az olaj kiszorul, és a környezetbe szivárog. A helyes gyakorlat: a szintet a gyártói mérési helyzetben, a megadott szintjelzések szerint kell beállítani.
5. **Felesleges hosszú hidegüzemi alapjárat.** A motort reggel negyedóráig alapjáraton járatni a gyakorlatban nem takarékos; a rövid indítás utáni terhelés alatti bemelegítés kíméletesebb. A helyes gyakorlat: a gyártói üzemeltetési utasítás szerinti bemelegítés, közben a rendszer ellenőrzése.

44.1.13. Önellenőrzés

1. A hidraulikus szivattyú a rendszernyomást állítja be.
2. A gépnaplót csak a műszak végén kell kitölteni.
3. A pneumatikus túlnyomás elleni védelemre biztonsági szelepet vagy nyomáshatárolót használnak.
4. A hidraulikaolaj bőrbe kerülése elenyésző sérülést okoz.
5. A 4/3 útszelep jelölésében a 4 a csatlakozások számát, a 3 az állások számát jelöli.
6. Nyitott hidraulikus körben az olaj a tartályba folyik vissza.

44.1.14. Feladatok

1. feladat (A) Nevezze meg a hidraulikus munkagép három funkciórétegét, és mindegyikre mondjon két-két elemet!

2. feladat (A) Számítsa ki egy hidraulikus munkahenger dugattyúrúd-erejét, ha a hengerfurat $d = 63\,\text{mm}$, a terhelés alatti rendszernyomás pedig $p = 160\,\text{bar}$!

3. feladat (B) Egy hidraulikus kézi emelő hengerének dugattyúátmérője $d_1 = 12\,\text{mm}$, a munkadugattyú átmérője $d_2 = 80\,\text{mm}$. A kezelő a kis dugattyúra $F_1 = 250\,\text{N}$ erővel hat. Ideális veszteségmentes esetben mekkora erőt kapunk a nagy dugattyún?

4. feladat (B) A műszakkezdés előtti ellenőrzés során a hidraulikatartály olajszintje a minimum alatt van, a tartály alatt pedig olajfolt látható. Sorolja fel a gépkezelő teendőit, és indokolja, miért nem indíthatja el a gépet!

5. feladat (C) Egy rakodógép hidraulikája lassú, az olaj hőmérséklete magas, a szivattyú zúg. Foglalja össze a lehetséges okokat és a hozzájuk tartozó ellenőrzéseket a hibakeresési lánc szerint!

6. feladat (D) A munkahenger terhelés alatt lassan süllyed, külső olajszivárgás nem látható. Adjon meg egy olyan behatárolási lépést, amellyel eldönthető, hogy a belső szivárgás a hengerben vagy az irányító/zárószelepben van! Írja le a mérési logikát, és nevezze meg a szükséges biztonsági lépéseket!

44.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A szivattyú térfogatáramot ad; a nyomást a terhelés és a nyomáshatároló beállítása határozza meg.

2. Hamis. A gépnaplót a műszakkezdés előtti ellenőrzéshez és a műszak közbeni, illetve végi észlelésekhez is vezetni kell.

3. Igaz. A pneumatikus rendszer légtartályán vagy nyomócsövében a túlnyomást biztonsági szelep határolja.

4. Hamis. A hidraulikaolaj bőrbe hatolva súlyos, azonnali orvosi ellátást igénylő sérülést okozhat.

5. Igaz. A 4/3 útszelep négy csatlakozási ponttal és három kapcsolási állással rendelkezik.

6. Igaz. Nyitott körben az olaj a tartályba jut vissza.

1. feladat (A)
A hidraulikus munkagép három rétege: energiaellátás, irányítás, végrehajtás. Energiaellátás: hidraulikatartály, szivattyú, nyomáshatároló, szűrő. Irányítás: útváltó, nyomáscsökkentő, fojtószelep, visszacsapó. Végrehajtás: munkahenger, hidromotor, zárószelep, gyorscsatlakozó.

2. feladat (A)
Adott: $d = 63\,\text{mm} = 0{,}063\,\text{m}$, $p = 160\,\text{bar} = 16{,}0\,\text{MPa} = 16\,000\,000\,\text{Pa}$. Keresett: F.

$$A = \frac{0{,}063^2\,\pi}{4} = 3{,}12 \times 10^{-3}\,\text{m}^2,$$

$$F = 16\,000\,000 \cdot 3{,}12 \times 10^{-3} = 49{,}9\,\text{kN}.$$

Ellenőrzés: az átmérő kisebb, mint az előző 80 mm-es példában, ezért a kisebb felület és a kisebb nyomás miatt 100 kN-nál kisebb erő várható. ∎

3. feladat (B)
Kis dugattyú felülete:

$$A_1 = \frac{0{,}012^2 \pi}{4} = 1{,}13 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^2.$$

A nyomás:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{250}{1{,}13 \times 10^{-4}} = 2{,}21\,\mathrm{MPa}.$$

A nagy dugattyú felülete:

$$A_2 = \frac{0{,}080^2 \pi}{4} = 5{,}03 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^2.$$

A kimenő erő:

$$F_2 = p\,A_2 = 2{,}21 \times 10^{6} \cdot 5{,}03 \times 10^{-3} = 11{,}1\,\mathrm{kN}.$$

∎

4. feladat (B)
A gépkezelő a gépet nem indítja el; a munkaszerveket biztosítja; a gépnaplóba bejegyzi az olajszintet és a látott olajfoltot; értesíti a műszaki vezetőt. Azért nem szabad indítani, mert a szivattyú a szívóágon levegőt szívhat, kenésromlást és kavitációt okozhat, és a szivárgó olaj baleseti kockázatot is jelent.

5. feladat (C)
A lehetséges okok:

- szívóoldali levegőszívás: ellenőrizni a szívótömlőt, csatlakozásokat, tartályszintet; a habos olaj árulkodó jel;
- eltömődött szívószűrő vagy nyomószűrő: ellenőrizni a szűrőbetéteket;
- kopott szivattyú: a rendszernyomás terhelés alatt alacsony, a szivattyú zajos;
- rosszul beállított vagy tömítetlen nyomáshatároló: a rendszer nem éri el a gyártói maximális nyomást;
- túlmelegedett olaj, amelynek viszkozitása túl alacsony: olajhőmérséklet-mérés.

A sorrend: először a külső szivárgás és az olajszint, azután a szűrő, majd a rendszernyomás mérése, végül a szivattyú és a nyomáshatároló belső állapotának vizsgálata. A javítás után próbaüzemet kell tartani, és a gépnaplóba bejegyzést tenni.

6. feladat (D)
A behatárolást csak kijelölt karbantartó végezheti, a gyártói eljárás szerint. (1) A terhet a henger tartja; a veszélyzónát lezárjuk, senki sem tartózkodik a teher alatt; adott ideig (pl. 10 perc; ellenőrizendő) mérjük a süllyedést. (2) A terhet biztos letámasztásra engedjük, a kört a gyártó szerint nyomásmentesítjük. (3) A henger rúdoldali vezetékét bontjuk, a hengeroldali csatlakozást dugóval lezárjuk, a dugattyúoldalt a gyártói módon terheljük; ha a nyitott rúdoldali csatlakozáson olaj folyik ki, a dugattyútömítés szivárog a hengerben, ha nem, az irányító- vagy zárószelep belső szivárgása a valószínű ok (ellenőrizendő: gyártói eljárás). A munkát olajbehatolás

elleni védelemmel (védőszemüveg, kesztyű) végezzük, és a hibát meg a behatárolás eredményét a gépnaplóba bejegyezzük.

44.1.16. Rövid összefoglaló

A munkagép hidraulikus rendszere három rétegből áll: energiaellátás, irányítás és végrehajtás. Az energiaellátó oldal a tartály, a szivattyú, a nyomáshatároló és a szűrők; az irányító oldal az útszelepek, nyomásszelepek és fojtások; a végrehajtó oldal a munkahengerek és hidromotorok. A hidraulikus erőt a $F = pA$ összefüggés adja, ezért a nyomás alatti rendszer bontása súlyos balesetet okozhat. A pneumatikus rendszer sűrített levegővel dolgozik, nyomását a kompresszor, a légtartály és a biztonsági elemek tartják korlátok között. A gazdaságos üzemeltetés a gépnapló pontos vezetésén, a folyadékszintek ellenőrzésén és a felesleges terhelés kerülésén alapul. A gépkezelő a műszakkezdés előtti ellenőrzést végzi, a hibákat dokumentálja, a javítást azonban csak a kijelölt karbantartó hajthatja végre. **Továbbvitt eredmény.** A hidraulikus munkagép részegységeinek megnevezését és a gépnapló-vezetés rendjét használjuk az Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat alfejezetben.

44.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény és végrehajtási rendeletei; a munkagépek biztonsági követelményeire vonatkozó hatályos magyar rendeletek; a gépek biztonsági követelményeiről szóló uniós gépek irányelvét átültető jogszabály; ISO 1219 hidraulikus/pneumatikus rajzjelek; munkaadói belső üzemeltetési utasítás és a gyártói gépkönyv.

- A gépnapló pontos tartalmi elemei, a gépkezelői jogosultság és az ellenőrzési kötelezettség jogszabályi helye típus- és ágazatfüggő; a részletes előírásokat kiadás előtt ellenőrizni kell.
- A hidraulikus és pneumatikus rendszernyomások, szűrőcsere-intervallumok, a hidraulikaolaj-típus és a meghúzási nyomatékok gyártói adatok; minden számérték tanulási példa.
- A gépnapló és a gépkönyv elnevezése munkagépfajtánként eltérhet; a pontos elnevezést a gyártói és a munkáltatói dokumentáció szerint kell használni.

44.2. Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat

44.2.1. Motiváció

Képzeld el azt a tanműhelyi helyzetet, amikor egy nehéz, szabálytalan alakú alkatrészt – például egy leszerelt motort vagy sebességváltót – kell megemelni és áthelyezni a szerelőpadra. A kézi emelés ilyenkor tilos és életveszélyes. Ha nem megfelelő kötözőeszközt választasz, rossz szögben kötöd a terhet, vagy nem ellenőrzöd az emelőgépet műszakkezdés előtt, a teher leeshet, irányíthatatlanná válhat, és súlyos sérülést okozhat. Emelőgépkezelőként – vagy akár autószerelőként, aki műhelyi emelőt használ – a te felelősséged, hogy az emelés minden résztvevő számára biztonságos legyen. Ez az alfejezet azt tanítja meg, hogyan válassz és ellenőrizz kötözőeszközt, hogyan köss terhet helyesen, hogyan irányítsd az emelést kézjelekkel, és hogyan végezd el az emelőgép napi ellenőrzését.

44.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy tanműhelyi futódarut. A daru hídja két magasan futó sínen mozog, rajta egy futómacska, amelyen az emelőmű függ. Az emelőmű drótkötélen vagy láncon engedi le a horogblokkot. A horgon egy kétágú kötélfüggeszték lóg, végein biztonságos horoggal. A talajon egy raklapra helyezett, körülbelül 250 kg tömegű motor áll, rajta erre kialakított emelőszemekkel. A kötöző éppen úgy állítja be a két függőleges kötélág szögét, hogy az ne haladja meg a gyártó által megengedett értéket, mert minél laposabban állnak a kötélágak, annál nagyobb erő ébred bennük. A darukezelő a távirányítóval a kezében várja a kötöző kézjeleit, mielőtt egyáltalán megmozdítaná a terhet.

44.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Emelőgép. Emelőgépnek nevezzük azokat a gépeket, amelyek terhet függőlegesen (és általában vízszintesen is) mozgatnak, és a terhet a mozgatás közben teherfelvevő eszköz tartja. Ilyen például a futódaru, az oszlopos forgódaru, a bakdaru, a láncos emelő, a motoremelő és a műhelyi emelő.

Definíció. Teherbírás (névleges teherbírás). A teherbírás az a legnagyobb tömeg, amelyet az emelőgép vagy a teherfelvevő eszköz a gyártó által meghatározott, biztonságos körülmények között megemelhet. Jele a műszaki dokumentációban gyakran $m_{\max}$, mértékegysége kg vagy t. A teherbírást soha nem szabad túllépni.

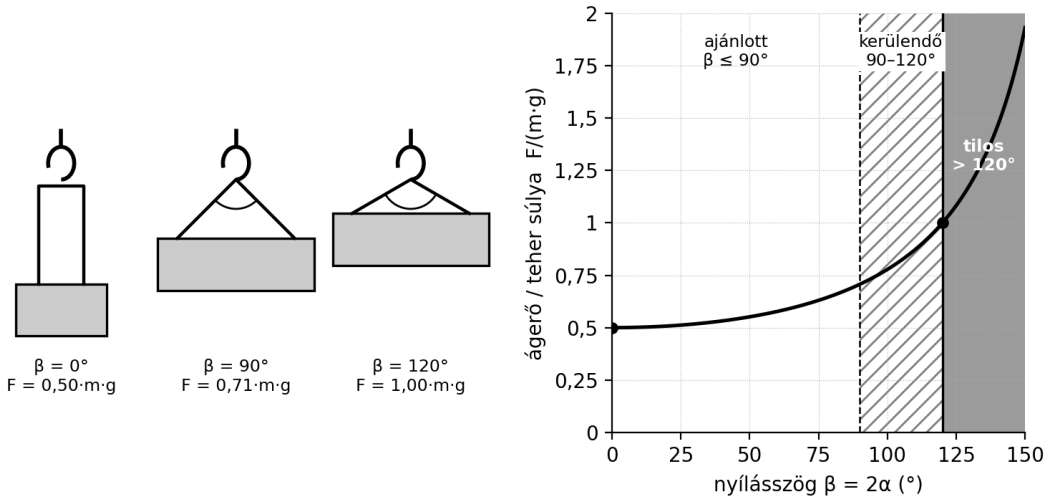
Definíció. Biztonsági tényező. Az emelőeszközök szakítószilárdsága és a megengedett teherbírása közötti viszonyszám. A teherfelvevő és kötözőeszközöknél a biztonsági tényező jellemzően nagy (a gyártói szabvány szerint, ellenőrizendő), hogy a dinamikus erők, anyagfáradás és helytelen használat miatt bekövetkező túlterhelés ne okozzon azonnali szakadást.

Összefüggés. Kötélágban ébredő erő kötözési szögnél. Ha egy terhet két (vagy több) kötélág tart, és a kötélágak a függőlegestől szimmetrikusan α szöget zárnak be (vagy a két kötélág közötti nyílásszög $\beta = 2\alpha$), akkor az egy-egy kötélágban ébredő $F_{\text{kötél}}$ erő:

$$F_{\text{kötél}} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \cos \alpha}$$

ahol m a teher tömege (kg), $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás, α pedig a kötélág függőlegestől mért eltérése. Ha $\alpha = 0^\circ$ (két függőleges kötélág), akkor $\cos 0^\circ = 1$, tehát mindkét kötélág a teher súlyának felét viseli. Ha a kötélágak közötti nyílásszög nő, a koszinusz csökken, így a kötélágban ébredő erő rohamosan nő. Ezért a kötözési szöget korlátozni kell.

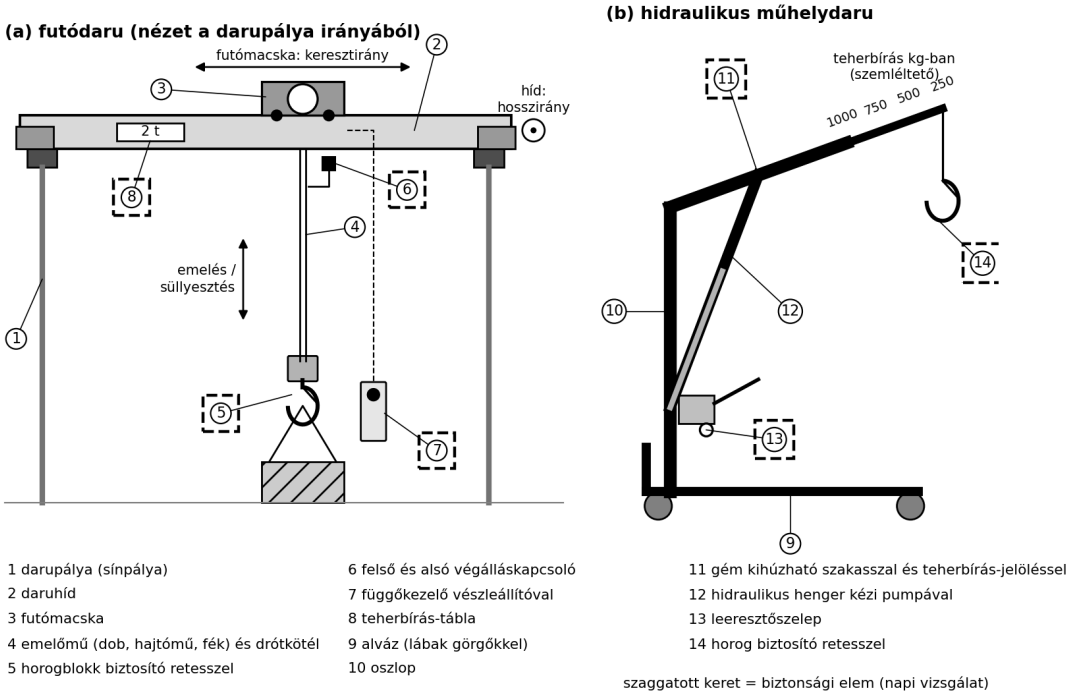
Szabály. Kötözési szög határértéke. A kötözési szög (a kötélág függőlegestől mért szöge vagy a két ág közötti nyílásszög) maximális értékét a kötözőeszköz gyártója adja meg. Általános gyakorlati szabály, hogy a két kötélág közötti nyílásszög lehetőleg ne haladja meg a 90°-ot, és semmiképpen ne haladja meg a 120°-ot, mert 120°-os nyílásszögnél már mindkét kötélágban a teher teljes súlyának megfelelő erő ébred (ellenőrizendő: a konkrét eszköz gyártói adata).



44.3. ábra. Kétágú függeszték ágereje a nyílásszög függvényében: kötözési vázlat 0°, 90° és 120° nyílásszögnél és az $F/(m \cdot g)$–β grafikon

A grafikon szerint egy ágban függőleges ágaknál a teher súlyának fele $(0{,}5 \cdot m \cdot g)$, 90°-os nyílásszögnél kb. $0{,}71 \cdot m \cdot g$, 120°-nál már a teljes súly ébred; a 90–120° közötti sáv kerülendő (sraffozott), a 120° fölötti tilos (sötét). Az interaktív kalkulátorban a tömeg, a szög és egy ág teherbírása állítható; kiírja az ágerőt, és egyszerűsített gyártói táblázat-logikával (ellenőrizendő) jelzi, hogy a függeszték megfelel-e a teljes teherhez.

44.2.4. Emelőgépek fajtái és szerkezettana



44.4. ábra. Futódaru és hidraulikus műhelydaru szerkezete a napi vizsgálat biztonsági elemeivel (szaggatott keret; sematikus vonalrajz)

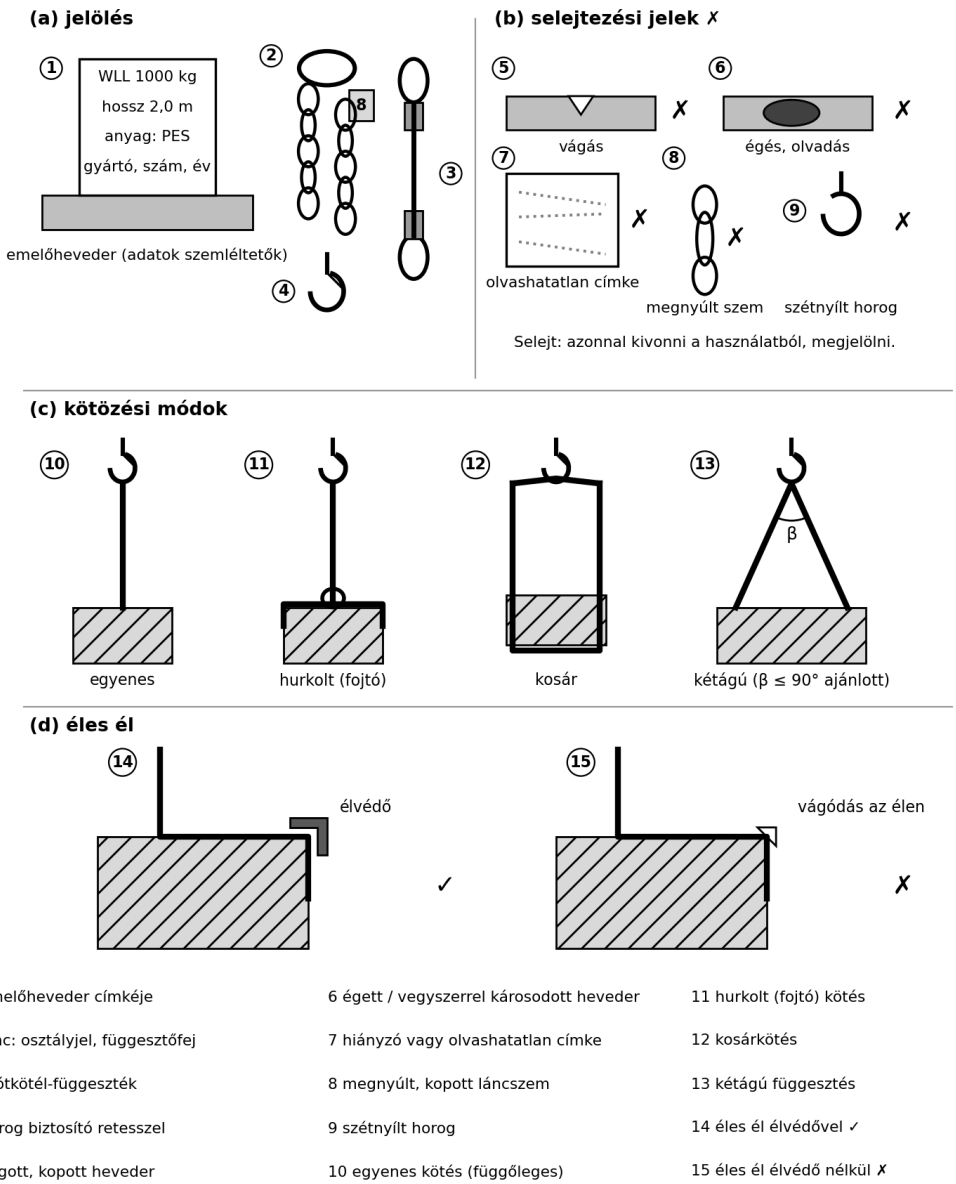
Az ábra (a) része a futódaru darupályáját, hídját, futómacskáját, emelőművét és horogblokkját mutatja, a (b) része a hidraulikus műhelydaru (motordaru) alvázát, oszlopát, kihúzható gémjét, hengerét a kézi pumpával és a leeresztőszeleppel. Szaggatott keretben a műszakkezdéskor vizsgálandó biztonsági elemek: horog biztosító retesszel, végálláskapcsolók, vészleállító, teherbírás-tábla és a gém teherbírás-jelölése (szemléltető értékek). Az interaktív változatban a rámutatott elem neve és napi vizsgálati szempontja jelenik meg.

Az emelőgépeket működési elvük és felépítésük szerint több csoportba osztjuk.

1. **Futódaruk (híddaruk).** A csarnok vagy műhely hosszirányában futó darupályán mozgó hídból, a hídon futó futómacskából és az azon elhelyezett emelőműből állnak. A futódaru képes a terhet függőlegesen (emelés/süllyesztés), a darupálya mentén (hosszirány) és a hídra merőlegesen (futómacska) is mozgatni. A tanműhelyi futódaru jellemzően kis teherbírású (például 1–5 t), és kézben tartott távirányítóval vagy függő nyomógombbal vezérelhető.
2. **Bakdaruk és portáldaruk.** A bakdaru két lábon álló, sínen futó szerkezet, amely alatt a teher áthaladhat. Szabadtéri rakodásra, konténeremelésre gyakori. A portáldaru hasonló, de nagyobb méretű, és gyakran kikötői konténerforgalomban használják.
3. **Oszlopos és konzolos forgódaruk.** A műhelyben egy oszlopra szerelt, elfordítható gémű daru, amelynek végén futómacska vagy emelőmű található. Kis teherbírású, korlátozott munkatérben használatos.
4. **Motoremelő és műhelyi emelő.** Az autószerelő műhelyben elterjedt, mobil, kézi hajtású vagy elektromechanikus emelő. A motoremelő egy állítható gémű, hidraulikus palackemelővel mozgatott szerkezet, amelynek horgára kifejezetten motorok kiemelésére kifejlesztett függesztőelemeket lehet szerelni. A keréken guruló műhelyi emelő a motort a motortérből való kiemelés után kiguríthatja.

Szerkezeti felépítés. Egy emelőgép fő részei: - **Teherfelvevő szerkezet:** horog, mágnes, vákuumos emelő, kanalas markoló vagy egyéb. - **Emelőmű:** a dob vagy lánckerék, a hajtómű, a fék és a hajtás (elektromos, hidraulikus, kézi). - **Szerkezeti váz:** híd, gém, oszlop, bak. - **Futóművek:** a gép vízszintes mozgatását biztosítják (darupálya, sínek). - **Biztonsági berendezések:** végálláskapcsolók, túlterhelésgátló, vészkapcsoló, fékek, horogbiztosító.

44.2.5. Teherfelvevő, kötöző és függesztő eszközök



1 emelőheveder címkéje	6 égett / vegyszerrel károsodott heveder	11 hurkolt (fojtó) kötés
2 lánc: osztályjel, függesztőfej	7 hiányzó vagy olvashatatlan címke	12 kosárkötés
3 drótkötél-függeszték	8 megnyúlt, kopott láncszem	13 kétágú függesztés
4 horog biztosító retesszel	9 szétnyílt horog	14 éles él élvédővel ✓
5 vágott, kopott heveder	10 egyenes kötés (függőleges)	15 éles él élvédő nélkül ✗

44.5. ábra. Teherfelvevő eszközök jelölése és selejtezési jelei, kötözési módok, éles él élvédővel és anélkül (sematikus vonalrajz)

Az ábra (a) része az emelőheveder címkéjének adatait, a lánc osztályjelölését és függesztőfejét, a drótkötél-függesztéket és a biztosított horgot mutatja; a (b) rész a selejtezési jeleket (vágott vagy égett heveder, olvashatatlan címke, megnyúlt láncszem, szétnyílt horog); a (c) rész az egyenes, a hurkolt (fojtó) és a kosárkötést, valamint a kétágú függesztést, amelynek ágereje a nyílásszöggel nő (lásd a kötözési szög ábráját); a (d) rész az éles élen futó hevedert élvédővel (helyes) és anélkül (hibás). A címkeadatok és a színkód szemléltetők (ellenőrizendő: MSZ EN 1492-1, MSZ EN 818-4).

A teherfelvevő eszközök a teher megfogására szolgálnak, a kötözőeszközök a teher és a teherfelvevő eszköz közötti kapcsolatot teremtik meg, a függesztőeszközök pedig a terhet a horgon tartják.

Gyakorlatban használt eszközök: - **Horog:** a legelterjedtebb teherfelvevő elem. A horgon mindig legyen biztonsági retesz, amely megakadályozza a kötél vagy lánc lecsúszását. A horog kopását, repedéseit, kihajlását rendszeresen ellenőrizni kell. - **Sodronykötél-függeszték:** acélsodronyból készült, egy- vagy többágú kötél. Előnye a rugalmasság és a nagy szakítószilárdság, hátránya, hogy éles peremen könnyen sérül. Használatakor éles élekhez kötélvédőt kell helyezni. - **Láncfüggeszték:** acéllláncból készült, rendkívül tartós, jól ellenáll az éles peremeknek. Hátránya a nagyobb önsúly. A láncszemek megnyúlását, kopását, repedéseit vizsgálni kell. - **Kötél-, szalag- és hevederfüggeszték:** vegyi szálból (poliészter, poliamid) készült hevederek, amelyek nem sértik fel a terhet, és könnyűek. Hátrányuk, hogy hőre, UV-sugárzásra és vegyszerekre érzékenyek. Szakadt, vágott, kiégésnyomokat mutató hevedert azonnal selejtezni kell. - **Emelőmágnes, vákuumos emelő:** speciális teherfelvevők, amelyeket főként lemezanyagok, csövek emelésére használnak. - **Emelőszem, fűzőlyuk, csavaros kötözőkapocs:** a teher rögzítésére szolgáló kiegészítő elemek.

Teherbírás és jelölés. Minden kötöző- és függesztőeszközön jól látható, maradandó jelölést kell elhelyezni, amely tartalmazza a gyártót, a teherbírást, a gyártási számot és a gyártási évet. A jelölés nélküli, olvashatatlan vagy sérült eszközt ki kell vonni a forgalomból. A teherbírás a kötözési módtól függ: ugyanaz a kétágú függeszték függőlegesen használva nagyobb terhet emelhet, mint 90°-os nyílásszögű kötözésben. Mindig a gyártó táblázata szerint kell meghatározni a megengedett terhet.

44.2.6. Számítási példák kötözési szögre

1. példa (alapfeladat). Egy $m = 200\,\mathrm{kg}$ tömegű motort kétágú függesztékkel emelünk. A kötélágak függőlegesek ($\alpha = 0^\circ$). Mekkora erő ébred egy kötélágban?

- **Adott:** $m = 200\,\mathrm{kg}$, $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$, $\alpha = 0^\circ$.
- **Keresett:** $F_{\text{kötél}}$ egy ágban.
- **Képlet:** $F_{\text{kötél}} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \cos \alpha}$.
- **Behelyettesítés:** $F_{\text{kötél}} = \frac{200\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}}{2 \cdot \cos 0^\circ} = \frac{1962\,\mathrm{N}}{2 \cdot 1} = 981\,\mathrm{N}$.
- **Eredmény:** $F_{\text{kötél}} = 981\,\mathrm{N}$, ami a teher súlyának fele. Ellenőrzés: a teljes teher súlya $1962\,\mathrm{N}$, két függőleges ágban ennek fele-fele. ∎

2. példa (közepes). Ugyanazt a $200\,\mathrm{kg}$ tömegű motort ugyanazzal a kétágú függesztékkel emeljük, de a kötélágak közötti nyílásszög most 120° (tehát $\alpha = 60^\circ$). Mekkora erő ébred egy kötélágban, és hány százalékkal nőtt az erő a függőleges helyzethez képest?

- **Adott:** $m = 200\,\mathrm{kg}$, $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$, $\alpha = 60^\circ$.
- **Keresett:** $F_{\text{kötél}}$ és a növekedés százalékban.
- **Képlet:** ugyanaz, mint az előbb.
- **Behelyettesítés:** $F_{\text{kötél}} = \frac{200\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}}{2 \cdot \cos 60^\circ} = \frac{1962\,\mathrm{N}}{2 \cdot 0{,}5} = \frac{1962\,\mathrm{N}}{1} = 1962\,\mathrm{N}$.
- **Eredmény:** $F_{\text{kötél}} = 1962\,\mathrm{N}$, ami éppen a teher teljes súlya. A növekedés a függőleges esethez képest 100%. Ezért a 120°-os nyílásszög feletti kötözés veszélyes, mert a kötélágakban a teher teljes súlyánál nagyobb erő ébred, és az eszköz teherbírása drasztikusan csökken. ∎

3. példa (ellenpélda). Egy gyakorlatlan dolgozó azt gondolja, hogy ha két kötélágat 180°-os nyílásszögben (vízszintesen) köt, akkor a két ág együttesen még mindig csak a teher súlyát viseli, tehát biztonságos. Ez téves. Ha $\alpha = 90^\circ$, akkor $\cos 90^\circ = 0$, a képlet szerint a kötélágakban elméletileg végtelen nagy erő ébredne, a valóságban a kötélágak azonnal megfeszülnek, a teher nem emelhető, és a függeszték elszakadhat. Ezt a helyzetet soha nem szabad létrehozni.

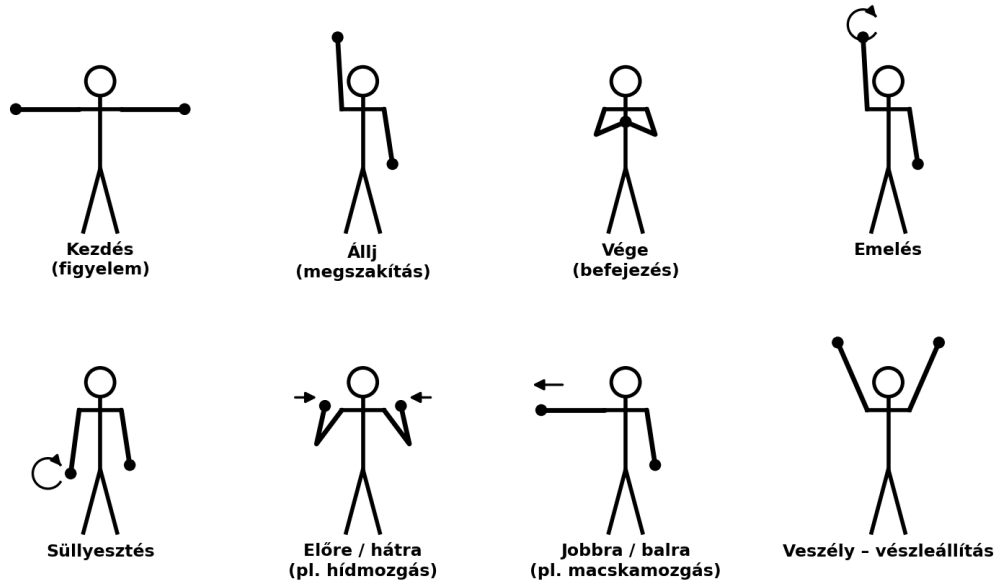
44.2.7. Kötözői és irányítói feladatok, kézjelek

Kötöző feladatai. A kötöző készíti elő a terhet az emelésre: kiválasztja a megfelelő teherbírású és típusú kötözőeszközt, ellenőrzi annak állapotát, a terhet biztonságosan rögzíti, majd az emelés során figyelemmel kíséri a teher mozgását, és szükség esetén kézjelekkel irányítja a gépkezelőt.

Irányítói feladatok. Az irányító (aki általában megegyezik a kötözővel) az egyetlen személy, aki az emelés alatt a gépkezelőnek utasításokat adhat. A gépkezelő csak az irányítótól fogadhat el jeleket, kivéve a vészleállítás jelét, amelyet bárki adhat. A gépkezelőnek minden jelre úgy kell végrehajtania a mozgatást, hogy a teher ne lendüljön ki, és ne ütközzön semmilyen akadálynak.

Egyezményes kézjelek. Az emelőgépkezelő irányításához szabványosított kézjeleket használnak (ellenőrizendő: 92/58/EGK irányelv IX. melléklete, hazai átültetése a 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet, valamint az Emelőgép Biztonsági Szabályzat; a hatályos szöveg szerint). A leggyakoribb jelek:

- **Kezdés (figyelem):** mindkét kar vízszintesen oldalra, tenyér előre.
- **Állj (megszakítás):** a jobb kar felfelé, tenyér előre.
- **Vége:** összekulcsolt kéz mellmagasságban.
- **Emelés:** a jobb kar felfelé, tenyér előre, lassú körzés.
- **Süllyesztés:** a jobb kar lefelé, tenyér befelé, lassú körzés.
- **Daru híd (hosszirány) mozgatás:** kar vízszintesen előre mutat, a mozgás irányába.
- **Futómacska (keresztirány) mozgatás:** kar oldalt, a mozgás irányába.
- **Vészleállítás:** mindkét kar meredeken felfelé, tenyerükkel előre.



Szemből nézve: a jelző jobb karja a rajz bal oldalán. Nyíl: a mozdulat iránya; körív: lassú körzés.

44.6. ábra. Daruirányítás kézjelei a 92/58/EGK irányelv IX. melléklete szerint (hazai átültetés: 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet; ellenőrizendő a hatályos szöveg szerint)

Az ábra nyolc jelet mutat szemből nézve (a jelző jobb karja a rajz bal oldalán van): Kezdés – mindkét kar vízszintesen oldalra, tenyér előre; Állj – a jobb kar felfelé, tenyér előre; Vége – összekulcsolt kéz mellmagasságban; Emelés – jobb kar fel, lassú körzés; Süllyesztés – jobb kar le, tenyér befelé, lassú körzés; Előre/hátra (pl. hídmozgás) – behajlított karral intés; Jobbra/balra (pl. macskamozgás) – vízszintes kar, kis mozdulatok a mozgás irányába; Veszély – mindkét kar

felfelé, tenyér előre. A felsorolás és a rajz a jogszabályi melléklet jeleit követi; eltérés esetén a hatályos mellékletet kell alkalmazni. Az interaktív változat kvízként mutatja a jeleket: előbb a figura, kattintásra a jel neve és leírása.

Emelési gyakorlat szabályai:

1. Az emelés megkezdése előtt meg kell győződni arról, hogy a teher megfelelően van kötve, és a teher súlya nem haladja meg az emelőgép és a kötözőeszköz teherbírását.
2. A terhet csak függőlegesen szabad megemelni, rántani, lendíteni tilos.
3. Személyek a teher felett, alatt vagy közvetlen közelében nem tartózkodhatnak.
4. A terhet nem szabad személyek felett elvinni.
5. Ha a teher kileng, a mozgást lassítani kell, és meg kell várni, amíg a teher lecsillapodik.
6. A terhet csak a kijelölt helyen, stabil alátámasztásra szabad leengedni.
7. A gépkezelő köteles a feladatot megszakítani, ha a látási viszonyok megromlanak, vagy bármilyen veszélyes körülmény lép fel.

44.2.8. Üzemeltetés előtti vizsgálat és emelőgép-napló

Előírás. Az emelőgépekre és teherfelvevő eszközeikre a munkavédelmi előírások szerint időszakos és üzemeltetés előtti vizsgálatot kell végezni. A pontos vizsgálati gyakoriságot, a vizsgálat tartalmát és a dokumentálási kötelezettséget a hatályos magyar jogszabályok és a gyártó üzemeltetési utasítása tartalmazzák (ellenőrizendő: Emelőgép Biztonsági Szabályzat – 47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet; a kezelő és a kötöző képesítési követelményei; az időszakos vizsgálatok típusai: üzem előtti, fő-, szerkezeti vizsgálat; a munkavédelmi törvény és a kapcsolódó rendeletek).

Üzemeltetés előtti karbantartó-műszaki vizsgálat. Minden műszakkezdéskor, használat előtt el kell végezni az alábbi ellenőrzéseket:

1. **Szemrevételezés:** nincs-e látható sérülés a vázszerkezeten, hegesztéseken, csavarokon, csapokon.
2. **Horog ellenőrzése:** nincs-e repedés, kopás, kihajlás; a biztonsági retesz működik-e.
3. **Kötelek és láncok ellenőrzése:** nincs-e huzalszakadás, lapulás, kivirágzás, láncszem-megnyúlás, kopás.
4. **Fékek ellenőrzése:** az emelőmű fékje üresen és terhelés nélkül tart-e, a teher nem csúszik-e meg.
5. **Végálláskapcsolók ellenőrzése:** a felső és alsó végállás működik-e.
6. **Vészleállító ellenőrzése:** a vészkapcsoló megnyomására a gép minden mozgása azonnal leáll.
7. **Távirányító vagy nyomógomb ellenőrzése:** minden funkció a megfelelő irányba mozgatja-e a gépet, nincs-e késlekedés vagy önműködő beindulás.
8. **Jelzőberendezések ellenőrzése:** van-e hang- és fényjelzés, és működik-e.

Emelőgép-napló. Az üzemeltetés előtti vizsgálat eredményét, a talált hibákat és a javítási intézkedéseket az emelőgép-naplóba kell bejegyezni. A naplóban szerepelnie kell az emelőgép azonosító adatainak, a vizsgálat időpontjának, a vizsgáló nevét és képesítését, a vizsgálat eredményét, valamint a hibaelhárításra tett intézkedéseknek. Ha a vizsgálat során olyan hibát találnak, amely a biztonságos üzemeltetést veszélyezteti, az emelőgépet azonnal le kell állítani, és meg kell tiltani a használatát a hiba elhárításáig.

Működési és kezelőszerv-ellenőrzés. Az üzemeltetés előtti vizsgálat része a működési próba is, amelyet terheletlenül kell elvégezni. Ennek során ellenőrizni kell, hogy minden mozgásirány (emelés, süllyesztés, híd- és futómacska-mozgás) a megfelelő irányba, egyenletesen, rendellenes zaj

és remegés nélkül működik-e. A kezelőszerveken és a távirányítón lévő feliratoknak olvashatónak és egyértelműnek kell lenniük.

44.2.9. Minőségellenőrzés

Az emelőgép és a kötözőeszközök ellenőrzésekor az alábbi szempontokra kell figyelni:

- **Teherbírás-összehasonlítás:** a kötözőeszköz teherbírása a választott kötözési módnál legalább akkora legyen, mint a teher súlya.
- **Kötözési szög:** a kötélágak közötti nyílásszög ne haladja meg a gyártó által megadott értéket (általában 120°).
- **Sérülések:** minden olyan kötözőeszközt, amelyen repedés, szakadás, jelentős kopás, korrózió, deformáció vagy olvashatatlan jelölés van, ki kell selejtezni.
- **Mozgások:** az emelőgép minden mozgása egyenletes legyen, rendellenes elakadás, csúszás vagy rezgés nélkül.
- **Dokumentáció:** az emelőgép-naplót naprakészen kell vezetni, és a vizsgálatot végző személy aláírásával kell hitelesíteni.

44.2.10. Gyakorlati útmutató

Munkalap: Emelőgép üzemeltetés előtti vizsgálata teherrel történő próba nélkül

- **Cél:** az emelőgép biztonságos üzemképességének ellenőrzése a napi munka megkezdése előtt.
- **Jármű- és adatazonosítás:** emelőgép típusa, azonosító száma, gyártója, névleges teherbírása.
- **Szükséges eszközök:** a gép kezelőszervei (távirányító vagy nyomógomb), emelőgép-napló, toll, zseblámpa (ha szükséges), egyéni védőeszközök.
- **Anyagok:** nincs szükség anyagokra, csak a naplóra és íróeszközre.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási/üzemeltetési utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. Emelőgép üzemeltetés előtti vizsgálatát csak arra feljogosított, kiképzett személy végezheti. Terhet emelni csak a vizsgálat sikeres elvégzése után szabad.

Munkavédelmi lépések: a munkaterületet körül kell határolni; az emelőgép alatt és közelében senki nem tartózkodhat; a vizsgálat közben viseljünk védősisakot; a terhet soha nem emeljük emberek felett.

Számozott munkalépések:

1. Győződjünk meg arról, hogy az emelőgép nincs terhelés alatt, és a horog biztonsági retesze zárt.
2. Szemrevételezzük a vázszerkezetet: keressünk repedéseket, laza csavarokat, deformációkat.
3. Ellenőrizzük a horgot: nincs-e repedés, kopás, kihajlás; a retesz rugósan zár-e.
4. Ellenőrizzük a kötelet vagy láncot teljes hosszában: nincs-e huzalszakadás, lapulás, láncszem-megnyúlás.
5. Ellenőrizzük a fékeket: üresen indítsuk el az emelőművet lefelé, majd állítsuk meg; a horog nem csúszhat tovább.
6. Ellenőrizzük a végálláskapcsolókat: emeljük a horgot a felső végállásig, majd engedjük le; a gépnek automatikusan le kell állnia.
7. Nyomjuk meg a vészkapcsolót: minden mozgásnak azonnal le kell állnia.

8. Ellenőrizzük a távirányító összes funkcióját: emelés, süllyesztés, híd előre/hátra, futómacska jobbra/balra; mindegyik a jelzésnek megfelelő irányba működjön.
9. Hallgassuk meg a gép működését: rendellenes zaj, recsegés, kattogás esetén a gépet le kell állítani.
10. Töltsük ki az emelőgép-naplót: rögzítsük a vizsgálat időpontját, az eredményt, a talált hibákat és az intézkedéseket.
11. Ha hibát találunk, a gépet jelöljük meg „HASZNÁLATON KÍVÜL” táblával, és értesítsük az oktatót vagy a karbantartóért felelős személyt.

Ellenőrzési pontok: a horog retesz zár; a kötél/lánc ép; a fék tart; a végálláskapcsoló leállít; a vészkapcsoló működik; a távirányító összes iránya pontos; a napló kitöltve.

Tipikus hibák: a vizsgálat elhagyása; a napló hiányos kitöltése; a kötél/lánc ellenőrzésének kihagyása; a vészkapcsoló kihagyása; a hiba jelöletlenül hagyása.

Dokumentálás: emelőgép-napló, munkalap, szükség esetén hibabejelentő.

44.2.11. Tipikus hibák

1. **Helytelen kötözési szög alkalmazása.** Gyakori hiba, hogy a dolgozó 120°-nál nagyobb nyílásszögű kötözést alkalmaz, mert úgy gondolja, hogy a kötélágak így jobban tartják a terhet. Valójában a kötélágakban ekkor a teher súlyánál nagyobb erő ébred, ami túlterhelheti a kötözőeszközt. **Helyes gyakorlat:** mindig a gyártó által megadott kötözési szögön belül dolgozzunk, és ha lehet, minél függőlegesebb legyen a kötélág.

2. **A kötözőeszköz teherbírásának túllépése.** A dolgozó a kétágú függesztéket 45°-os nyílásszögnél érvényes teherbírással használja, de közben 90°-os vagy nagyobb szögű kötözést alkalmaz. **Helyes gyakorlat:** a teherbírást mindig a tényleges kötözési szög figyelembevételével kell meghatározni a gyártó táblázata szerint.

3. **A horog biztonsági retesz hiánya vagy hibás működése.** Ha a horogretesz elhagyja a helyét, a kötél vagy lánc lecsúszhat a horogról. **Helyes gyakorlat:** soha ne használjunk olyan horgot, amelyről hiányzik a retesz, vagy az nem zár megbízhatóan.

4. **Az üzemeltetés előtti vizsgálat elhagyása.** Sok baleset azért történik, mert a gépkezelő nem ellenőrzi a fékeket vagy a végálláskapcsolókat, és a hiba csak terhelés alatt derül ki. **Helyes gyakorlat:** a vizsgálatot minden műszak elején, akkor is, ha „csak egy gyors emelés” következik.

44.2.12. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanműhelyben a tanulók egy leszerelt, 180 kg tömegű motort akarnak a szerelőpadra emelni egy kézi hidraulikus motoremelővel. A kötöző kiválaszt egy kétágú, poliészter hevederfüggesztéket, amelynek címkéjén az áll: „WLL (teherbírás) 1000 kg függőleges használatnál, 800 kg 45°-nál, 500 kg 90°-nál”. A kötöző a motort a gyári emelőszemeknél köti meg, a két hevederág közötti nyílásszög körülbelül 60°. A gépkezelő ellenőrzi, hogy a teher tömege **180 kg**, ami kisebb, mint az eszköz 60°-os nyílásszögnél érvényes teherbírása (interpolálva kb. **700 kg**, ellenőrizendő), tehát az eszköz megfelelő. Ezután a kötöző a meghatározott kézjelekkel irányítja a gépkezelőt: „emelés”, „állj”, „süllyesztés”. Az emelés során a teher stabil marad, a hevederek nem csúsznak, a horogretesz zár. Végül a gépet leállítják, és az emelőgép-naplóba bejegyzik a vizsgálatot és a műveletet. Tanulság: a teherbírás táblázatának és a kötözési szögnek a gondos összevetése, valamint az egyezményes kézjelek használata tette biztonságossá az emelést.

44.2.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Ha a két kötélág közötti nyílásszög 60°, akkor mindkét kötélágban a teher súlyánál nagyobb erő ébred. Indokold!
2. Melyik kötözőeszköz előnye, hogy nem sérti fel a terhet, de érzékeny UV-sugárzásra és vegyszerekre?
3. Sorolj fel legalább öt lépést az emelőgép üzemeltetés előtti vizsgálatából!
4. Mi a teendő, ha az emelőgép-naplóba hibát kell bejegyezni, és a gép biztonságosan nem üzemeltethető?
5. Mennyi erő ébred egy kötélágban, ha egy 300 kg tömegű terhet két függőleges kötéllággal emelünk?
6. Miért tilos személyek felett terhet átemelni?

44.2.14. Feladatok

1. feladat (A) Sorolj fel legalább négy különböző emelőgépet, és jellemezd röviden a felhasználási területüket!

2. feladat (A) Mit jelent a teherfelvevő eszközön található „teherbírás” jelölés, és miért fontos a kötözési szög ismerete?

3. feladat (B) Egy 250 kg tömegű sebességváltót kétágú láncfüggesztékkel emelünk. A kötélágak függőlegestől mért szöge $\alpha = 35°$. Számold ki az egy kötélágban ébredő erőt! Az adott láncfüggeszték egy ágának teherbírása függőleges használatnál 1200 kg (az érték egy ágra vonatkozik). Megfelel-e ez a függeszték ehhez az emeléshez? Indokold!

4. feladat (B) Írd le az emelőgép üzemeltetés előtti vizsgálatának lépéseit a horogtól a távirányító ellenőrzéséig! Melyik lépés a legfontosabb a balesetek megelőzése szempontjából, és miért?

5. feladat (C) Tervezz kötözést egy 80 cm hosszú, 60 cm széles, 40 cm magas, 600 kg tömegű, két emelőszemmel ellátott acél gépalapzathoz (kontrollkérdés: mekkora lenne a tömeg tömör acélból, $\rho \approx 7850\,\mathrm{kg/m^3}$? Kb. 1,5 t, tehát a test üreges/hegesztett). Milyen kötözőeszközt választanál, és hová helyeznéd a kötélágakat, hogy a teher stabil legyen, és a kötözési szög ne haladja meg a 90°-ot? Rajzold le szövegesen a kötözési módot, és számold ki az egy kötélágban ébredő erőt 90°-os nyílásszögnél!

6. feladat (D) Egy emelőgép üzemeltetés előtti vizsgálatakor a gépkezelő azt tapasztalja, hogy a horog biztonsági retesze nem záródik, és a fék próbája során a horog terheletlenül is megcsúszik. Mi a teendő? Írd le a helyes eljárást a hiba észlelésétől a dokumentálásig!

44.2.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Ha a nyílásszög 60°, azaz $\alpha = 30°$, akkor $\cos 30° = 0{,}866$, így az egy ágban ébredő erő $F = \frac{m \cdot g}{2 \cdot 0{,}866} \approx 0{,}577 \cdot m \cdot g$, ami a teher súlyának kb. 57,7%-a, tehát kisebb, mint a teljes súly. Csak akkor lépjük túl a teljes súlyt, ha $\alpha > 60°$, azaz a nyílásszög $> 120°$.
2. A kötél-, szalag- vagy hevederfüggeszték.
3. Szemrevételezés, horogretesz-ellenőrzés, kötél/lánc ellenőrzése, fékpróba, végálláskapcsoló-ellenőrzés, vészkapcsoló-ellenőrzés, távirányító ellenőrzése, jelzőberendezések ellenőrzése.

4. A gépet azonnal le kell állítani, „Használaton kívül” táblával meg kell jelölni, a hibát az emelőgép-naplóba be kell jegyezni, és értesíteni kell az oktatót vagy a karbantartóért felelős személyt.
5. $F = \frac{300\,\text{kg}\cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2}{2} = 1471{,}5\,\text{N} \approx 1{,}47\,\text{kN}$.
6. Mert ha a teher vagy a kötözőeszköz meghibásodik, a leeső teher súlyos sérülést vagy halált okozhat; a személyek védelme érdekében a tehernek mindig szabad terület felett kell mozognia.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A) Futódaru (csarnokban, hossz- és keresztirányú mozgatásra), bakdaru (sínen futó lábakon álló, rakodásra), oszlopos forgódaru (műhelyi, korlátozott munkatérben), motoremelő (autójavító műhelyben motorok kiemelésére).

2. feladat (A) A teherbírás a legnagyobb tömeg, amelyet az eszköz biztonságosan megemelhet. A kötözési szög azért fontos, mert a kötélágban ébredő erő a nyílásszög növekedésével nő, így ugyanaz az eszköz laposabb szögnél kisebb terhet emelhet biztonságosan.

3. feladat (B) - **Adott:** $m = 250\,\text{kg}$, $\alpha = 35^\circ$, egy ág teherbírása 1200 kg függőlegesen. - **Keresett:** $F_{\text{kötél}}$, és megfelel-e. - **Képlet:** $F_{\text{kötél}} = \frac{m\cdot g}{2\cdot\cos\alpha}$. - **Behelyettesítés:** $F = \frac{250\cdot 9{,}81}{2\cdot\cos 35^\circ} = \frac{2452{,}5\,\text{N}}{2\cdot 0{,}819} = \frac{2452{,}5\,\text{N}}{1{,}638} \approx 1497\,\text{N}$. - **Eredmény:** $F \approx 1{,}50\,\text{kN}$. Az egy ág függőleges teherbírása 1200 kg, ami $1200 \cdot 9{,}81 = 11772\,\text{N}$. A 35°-os szögnél keletkező ágerő 1,50 kN, ami kb. 153 kg-nak felel meg ($1497/9{,}81 \approx 153$). Ez azonos mennyiségek (egy ág erő–egy ág teherbírás) összevetésében jóval kisebb, tehát megfelel. A gyakorlatban a teljes 250 kg-os terhet a gyártói táblázat adott szögtartományra érvényes WLL-jével is össze kell vetni (ellenőrizendő). ∎

4. feladat (B) A lépések: (1) szemrevételezés, (2) horog és retesz, (3) kötél/lánc, (4) fék, (5) végálláskapcsoló, (6) vészkapcsoló, (7) távirányító, (8) jelzők. A balesetek megelőzése szempontjából a fékpróba és a vészkapcsoló ellenőrzése a legfontosabb, mert ezek akadályozzák meg a teher leesését és a gép irányíthatatlanná válását.

5. feladat (C) Válasszunk kétágú, acéllánc függesztéket, mert a gépalapzat élei élesek lehetnek, és a lánc jobban ellenáll. A kötélágakat a súlyponttól szimmetrikusan, a két gyári emelőszemhez rögzítjük. A nyílásszög 90°, azaz $\alpha = 45^\circ$. Az egy ágban ébredő erő: $F = \frac{600\cdot 9{,}81}{2\cdot\cos 45^\circ} = \frac{5886\,\text{N}}{2\cdot 0{,}707} = \frac{5886}{1{,}414} \approx 4163\,\text{N}$. Ez 424 kg-nak felel meg. Olyan láncfüggesztéket kell választani, amelynek teherbírása 90°-os nyílásszögnél legalább 600 kg.

6. feladat (D) A gépkezelőnek azonnal le kell állítani a gépet, a hibát rögzíteni kell az emelőgép-naplóban, a gépet „Használaton kívül” táblával meg kell jelölni, és értesíteni kell az oktatót vagy a karbantartóért felelős személyt. A horgot és a féket addig tilos használni, amíg a hibát meg nem javították, és a javítás után újabb vizsgálatot nem végeztek.

44.2.16. Rövid összefoglaló

Az emelőgépkezelés biztonsága a helyes kötözőeszköz-kiválasztáson, a kötözési szög ellenőrzésén, az egyezményes kézjelek szabályos használatán és a gép üzemeltetés előtti vizsgálatán múlik. Minden emelőgépnek és kötözőeszköznek jól látható teherbírás-jelöléssel kell rendelkeznie, és a teherbírást a tényleges kötözési módhoz kell igazítani. A két kötélágban ébredő erő a $F = \frac{m\cdot g}{2\cdot\cos\alpha}$ képlettel számítható; minél laposabb a kötélág, annál nagyobb az erő. Az emelési gyakorlatban tilos a terhet személyek felett mozgatni, és a gépkezelő csak az irányítótól fogadhat el jeleket, kivéve a bárki által adható vészleállítást. Az üzemeltetés előtti vizsgálatnak ki kell terjednie a vázszerkezet, a horog, a kötél vagy lánc, a fékek, a végálláskapcsolók, a vészkapcsoló, a távirányító és a jelzőberendezések ellenőrzésére, és az eredményt az emelőgép-naplóban dokumentálni kell. A hiba észlelésekor a gépet le kell állítani, és csak a javítás után szabad ismét használatba venni. **Továbbvitt**

eredmény: ezeket az emelési és kötözési szabályokat kell alkalmazni a vizsgafelkészülés során a gyakorlati emelési feladatoknál és a munkavédelmi eljárások értékelésénél.

44.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

- **Jogszabályok:** a munkavédelmi törvény (1993. évi XCIII. törvény), az Emelőgép Biztonsági Szabályzat (ellenőrizendő: 47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet és módosításai; a kezelő és kötöző képesítési követelményei), a 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet (jelzések, kézjelek; ellenőrizendő) és a 92/58/EGK irányelv IX. melléklete.
- **Szabványok:** a kötöző- és függesztőeszközök jelölésére, teherbírására és vizsgálatára vonatkozó EU-szabványok (ellenőrizendő: a konkrét szabványok, pl. EN 1492 hevederekre, EN 818 láncokra).
- **Gyártói adatok:** a kötözőeszközök teherbírás-táblázatai a különböző kötözési szögekre (ellenőrizendő: az adott eszköz gyártói adatai).
- **Egyezményes kézjelek:** a hatályos szabvány szerinti jelek (ellenőrizendő: a pontos jelek és jelölések).

A számszerű teherbírási és kötözési szögértékek, valamint a jogszabályi hivatkozások tanulási példák; a mindenkori hatályos előírásokat és a gyártói üzemeltetési utasítást kell alkalmazni.

45 Foglalkoztatás, vállalkozás és ügyfélkapcsolat

45.1. Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése

45.1.1. Motiváció

Friss autószerelőként az első munkahelyeden az üzemvezető eléd tesz egy munkaszerződés-tervezetet: „ezt írd alá, és kezdhetsz is”. A napi műszaki munka mellett ez az a pillanat, amikor arról döntesz, milyen jogokkal, kötelezettségekkel és felelősséggel fogsz dolgozni. Ha nem érted, mit írtál alá, később nehéz lesz bizonyítani, hogy mennyi volt a bér, hány nap szabadság jár, vagy mi történik felmondáskor. Ebben az alfejezetben a munkaviszony alapjait tanuljuk meg úgy, hogy a műhelyben is magabiztosan tudd kezelni a bérlapot, a munkaidő-nyilvántartást és a munkaszerződést.

45.1.2. Szemléletes kép

Képzeld el, hogy a kezedben van egy kétoldalas dokumentum: a munkaszerződés. Az első oldalon a munkáltató adatai (cégnév, cím, adószám) és a te személyes adataid; a második oldalon a munkakör, a munkavégzés helye, a munkabér, a munkaidő, a munkaviszony kezdete és a próbaidő. Aláírás előtt úgy nézd át, mint egy javítási munkalapot: minden rovatban legyen adat, és a bizonytalan pontokat kérdezd meg. A szerződés nem formaság, hanem a munkakapcsolat „kapcsolási rajza”.

45.1.3. A munkaviszony fogalma, felek és jogviszonyfajták

Definíció. A munkaviszony olyan jogviszony, amelyben a munkavállaló a munkáltató irányítása és ellenőrzése alatt, személyesen, a munkakörébe tartozó feladatokat látja el, a munkáltató pedig munkabért fizet és foglalkoztatja a munkavállalót.

Definíció. A munkaszerződés a munkavállaló és a munkáltató kölcsönös megállapodása, amelyben a munkavállaló kötelezettséget vállal a munkavégzésre, a munkáltató pedig a foglalkoztatásra és a munkabér megfizetésére.

A munkaviszony két fő szereplője:

- **munkavállaló** – természetes személy, például te mint autószerelő;
- **munkáltató** – jogi személy vagy természetes személy, például a szervizt működtető gazdasági társaság.

A munkaviszonyt meg kell különböztetni a polgári jogi **megbízási** és **vállalkozási** jogviszonytól. Autószerelőként gyakran találkozol azzal, hogy valakit „számlára” dolgoztatnak, vagy megbízási szerződéssel foglalkoztatnak. Ez nem munkaviszony, ezért eltérőek a jogok és a kötelezettségek.

Jellemző	Munkaviszony	Megbízási jogviszony	Vállalkozási jogviszony
Szabályozás	munka törvénykönyve	polgári törvénykönyv	polgári törvénykönyv
Alárendeltség	erős, utasítási jog	nincs vagy enyhe	nincs
Díjazás	munkabér	megbízási díj	vállalkozói díj
Munkavégzés	személyes, folyamatos	gondos eljárás, eredmény nem garantált	meghatározott eredmény
Felmondás	szigorú szabályok	szabadabban	szabadabban
Biztosítás	általában kötelező TB-jogviszony	adott feltételek szerint	adott feltételek szerint

Az értékek és besorolások tájékoztató jellegűek (ellenőrizendő: hatályos jogszabály, egyéni szerződés).

45.1.4. Munkavállalói jogok, kötelezettségek és felelősség

A munkavállaló legfontosabb jogai: munkabérhez való jog, szabadság, pihenőidő, egészséges és biztonságos munkafeltételek, munkáltatói tájékoztatás, valamint a panasz és a képviselet gyakorlása.

A munkavállaló legfontosabb kötelezettségei: a munkavégzés személyes teljesítése, a munkáltató jogszerű utasításainak betartása, együttműködési kötelezettség, titoktartás, a munkaidő betartása és a károkozás elkerülése.

Szabály. A munkavállaló vétkes károkozásért kártérítési felelősséggel tartozik. Gondatlan károkozásnál a kártérítés legfeljebb négyhavi, súlyosan gondatlan károkozásnál legfeljebb nyolchavi távolléti díj; szándékos károkozásnál a teljes kárt kell megtéríteni (ellenőrizendő: Mt. 179. §). A visszaszolgáltatási vagy elszámolási kötelezettséggel átvett dolgokban bekövetkezett hiányért fokozott, az általánostól eltérő felelősség terheli (ellenőrizendő: hatályos munka törvénykönyve).

Szabály. A munkáltató köteles megtéríteni a munkavállalónak a munkaviszonnyal összefüggésben okozott kárt, ideértve a munkabér-kiesést, a költségeket és a nem vagyoni sérelemdíjat is (ellenőrizendő: hatályos szabály).

45.1.5. Foglalkoztatási formák

A munkaviszony leggyakoribb formái:

- **határozatlan idejű munkaviszony** – a mindennapi gyakorlatban ez az alapforma;
- **határozott idejű munkaviszony** – a tartam nem haladhatja meg az öt évet, beleértve a meghosszabbítást is (ellenőrizendő: hatályos szabály);
- **teljes munkaidős** – napi 8 óra, heti 40 óra;
- **részmunkaidős** – például napi 4 óra, arányos bérrel és időarányos szabadsággal;
- **távmunka** (home office) – a munkavégzés a munkáltató telephelyén kívül, jellemzően informatikai eszközzel történik;
- **munkaerő-kölcsönzés** – a munkavállaló a kölcsönbeadó munkáltatóval áll jogviszonyban, de a tényleges napi utasításokat a kölcsönvevő szerviz adja.

45.1.6. A munkaszerződés létesítése és tartalma

Szabály. A munkaviszonyt munkaszerződéssel kell létesíteni. A munkaszerződést írásba kell foglalni; ha a munkaszerződés nem készül el írásban, érvénytelenségére csak a munkavállaló hivatkozhat, a munkaviszony kezdetétől számított 30 napon belül (ellenőrizendő: Mt. 44. §); a szóbeli megállapodás alapján létrejött munkaviszony egyébként érvényes.

A munkaszerződés minimális tartalmi elemei:

- a felek megnevezése,
- a munkavégzés helye,
- a munkakör megnevezése,
- a munkaviszony kezdete,
- a munkabér,
- a munkaviszony időtartama (határozott vagy határozatlan).

A munkabért legalább a mindenkori minimálbér vagy garantált bérminimum szintjén kell meghatározni (ellenőrizendő: aktuális összegek, autószerelő munkakörben jellemzően garantált bérminimum).

Definíció. A munkaköri leírás a munkakörhöz tartozó feladatokat, elvárásokat és hatásköröket rögzíti; nem helyettesíti a munkaszerződést, de eligazít a napi munkában.

Szabály. A munkáltató köteles a munkavállalót írásban tájékoztatni a munkaviszony alapvető feltételeiről: a munkavégzés helyéről, a munkakörről, a munkabérről, a munkaidőről, a szabadság mértékéről, a felmondási időről és a munkáltatói jogkör gyakorlójáról (ellenőrizendő: hatályos tájékoztatási tartalom és határidő).

Figyelem. Soha ne írj alá munkaszerződést úgy, hogy a munkakör, a munkabér vagy a munkavégzés helye üresen maradt; a későbbi vita esetén a szóbeli ígéretet nehéz bizonyítani.

Továbbvitt eredmény. A munkaszerződés tartalmi elemeit, a próbaidőt, a felmondási időt és a bérszámítás alapjait használjuk a Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv alfejezetben, amikor az álláshirdetésben szereplő jogi feltételeket értelmezzük, valamint a Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok alfejezetben, ahol a járulékokat és a vállalkozói adózást részletezzük.

45.1.6.1. Próbaidő

Definíció. A próbaidő a munkaviszony kezdetén kikötött időszak, amely alatt bármelyik fél azonnali hatállyal, indokolás nélkül megszüntetheti a munkaviszonyt; hossza legfeljebb 3 hónap, kollektív szerződésben legfeljebb 6 hónap (ellenőrizendő: hatályos munka törvénykönyve).

45.1.7. Munkaidő, pihenőidő, készenlét és rendkívüli munka

Szabály. A napi teljes munkaidő 8 óra, a heti munkaidő 40 óra. Munkaidőkeretben a munkaidő egyenlőtlenül is beosztható, de átlagban nem lépheti túl a törvényes mértéket (ellenőrizendő: munkaidőkeret szabályai).

Szabály. A munkavállalót napi 11 óra, hetente legalább 48 óra egybefüggő pihenőidő illeti meg (ellenőrizendő: hatályos munka törvénykönyve).

Definíció. A készenlét az az időtartam, amikor a munkavállaló a munkáltató által meghatározott helyen vagy elérhetőséggel köteles tartózkodni, hogy szükség esetén munkába álljon; ez nem munkaidő, de a munkavégzés megkezdése munkaidőnek számít, és pótlék járhat.

Szabály. Rendkívüli munkaidőnek minősül a munkaidőkereten felüli, vagy a beosztott munkaidőn túli munkavégzés. A rendkívüli munkaidőre járó pótlék tanulási példaként a rendes munkabér 50%-a; ha a rendkívüli munka pihenőnapra vagy munkaszüneti napra esik, magasabb pótlék jár (ellenőrizendő: hatályos munka törvénykönyve). Az éjszakai munkáért további pótlék járhat.

45.1.8. Szabadság és díjazás

Szabály. A munkavállalót évente alapszabadság és pótszabadság illeti meg. Az alapszabadság mértéke tanulási példaként 20 munkanap; ehhez életkori pótszabadság és gyermekek után járó pótszabadság adódik (ellenőrizendő: hatályos mértékek). A szabadság kiadása a munkáltató kötelezettsége; pénzben csak a munkaviszony megszűnésekor váltható meg (ellenőrizendő).

Számítás. A 30 éves, 1 gyermeket nevelő munkavállaló szabadsága ebben a tanulási példában: 20 munkanap alapszabadság + 2 munkanap életkori pótszabadság + 2 munkanap gyermek utáni pótszabadság = 24 munkanap. (Ellenőrizendő: hatályos pótszabadság-mértékek.)

Összefüggés. A munkabér lehet havi bér, órabér vagy teljesítménybér. A munkáltató a munkabérről részletes bérlapot ad, amelyből látni kell a bruttó bért, a levonásokat és a nettó bért.

Számítás. Bruttó 300 000 Ft munkabérnél, 15% SZJA-előleg és 18,5% munkavállalói társadalombiztosítási járulék (példa) esetén:

$$\text{SZJA} = 300\,000 \cdot 0{,}15 = 45\,000\,\text{Ft}$$

$$\text{TB} = 300\,000 \cdot 0{,}185 = 55\,500\,\text{Ft}$$

$$\text{nettó} = 300\,000 - 45\,000 - 55\,500 = 199\,500\,\text{Ft}$$

A munkáltatót terhelő szociális hozzájárulási adó (példaként 13%):

$$\text{SZOCHO} = 300\,000 \cdot 0{,}13 = 39\,000\,\text{Ft}$$

A munkáltató havi összköltsége: 339 000 Ft (ellenőrizendő: aktuális adómértékek).

Megjegyzés. 25 év alatti munkavállalónál a fiatalok SZJA-kedvezménye miatt (ellenőrizendő: Szja tv. 29/F. §, hatályos összeghatár) a 300 000 Ft-os bérből csak a 18,5% TB-járulék vonódik le: nettó $300\,000 - 55\,500 = 244\,500\,\text{Ft}$. A fenti példák kedvezmény nélküli esetet mutatnak; a friss szakember bérlapján ellenőrizd, érvényesül-e a kedvezmény.

Figyelem. A bérlapon mindig ellenőrizd a bruttó bért, a levonásokat és a nettó összeget; a túlórapótlékot és a pótszabadság-megváltást is látni kell.

Szabály. A béren kívüli juttatások (cafeteria) – például SZÉP-kártya, önkéntes nyugdíjpénztár, egészségpénztár, kerékpár, céges autó – adózása kedvező lehet, de az évenkénti keretek és feltételek változnak (ellenőrizendő: adójogszabály).

45.1.9. A munkaviszony megszűnése és megszüntetése

A munkaviszony megszűnésének esetei:

- közös megegyezés,
- rendes felmondás,
- azonnali hatályú felmondás,
- próbaidő alatti azonnali hatályú megszüntetés,
- határozott idő lejárta,
- a munkavállaló halála,
- a munkáltató jogutód nélküli megszűnése.

Szabály. A munkáltatói rendes felmondást indokolni kell; a munkavállalói rendes felmondás nem igényel indokolást. A felmondási idő 30 nap; a munkáltató felmondása esetén a munkáltatónál töltött idő szerint meghosszabbodik: 3 év után 5, 5 év után 15, 8 év után 20, 10 év után 25, 15 év után 30, 18 év után 40, 20 év után 60 nappal (ellenőrizendő: Mt. 69. §). A munkavállaló felmondásánál a felmondási idő nem hosszabbodik.

Szabály. A munkáltató rendes felmondása esetén, ha a munkaviszony legalább 3 éve fennáll, végkielégítés jár; mértéke a munkaviszony hosszától függően tanulási példaként 1–6 havi távolléti díj (ellenőrizendő: aktuális sávok).

Példa. 8 éve fennálló munkaviszony munkáltatói rendes felmondása esetén a felmondási idő 30 + 20 = 50 nap, a végkielégítés 2 havi távolléti díj (ellenőrizendő: Mt. 69. és 77. §).

Tilos. A munkaviszonyt szóban megszüntetni, a felmondási időt egyoldalúan lerövidíteni, vagy a munkavállalót a szabadságáról lemondatni (ellenőrizendő: hatályos szabály).

45.1.10. Adózás, biztosítás és iratok

Előírás. A munkáltató a munkaviszonyt a NAV-hoz bejelenti, a munkabérből levonja az adóelőleget és a munkavállalói járulékokat, majd azokat az adóhatóságnak megfizeti. A munkavállaló ezáltal biztosítottá válik, egészségbiztosítási, táppénz- és nyugdíjjogosultságot szerez. A levonás mértéke és a bejelentési határidők a mindenkori adó- és társadalombiztosítási jogszabályok szerint változnak (ellenőrizendő).

Szabály. A munkaviszony megszűnésekor a munkáltató köteles kiadni a munkáltatói igazolást, az adó- és járulékigazolást, valamint a biztosítási jogviszony igazolását. A munkabért, a szabadságmegváltást és az egyéb juttatásokat a jogviszony végétől számított határidőn belül ki kell fizetni (ellenőrizendő: eljárási határidők).

45.1.11. Minőségellenőrzés

Munkaviszony létesítésekor és fennállása alatt ellenőrizd:

- aláírt, írásos munkaszerződés;
- munkaköri leírás és munkáltatói tájékoztató átvétele;
- próbaidő és felmondási idő rögzítése;
- munkaidő-nyilvántartás vezetése (túlórák, készenlét);
- bérlapok és levonások ellenőrzése;
- NAV-bejelentés megtörténte (biztosítási jogviszony);
- munkaviszony megszűnésekor a munkáltatói igazolás és a kilépő iratok átvétele.

45.1.12. Valós életbeli alkalmazás

Egy fiatal autószerelő aláírta a munkaszerződését, de a munkáltató nem adta át a munkaköri leírást, és a túlórát nem fizette ki. A szerelő először kérte a munkáltatói tájékoztatót és a munkaidő-nyilvántartás hozzáférését. Kiderült, hogy a munkáltató nem vezette a túlórákat, ezért a szerelő saját feljegyzéseivel igazolta a rendkívüli munkaidőt. Az ügy megoldódott: a munkáltató kiegészítette a tájékoztatást, és a következő bérlapon kifizette a túlórapótlékot. Tanulság: az írásos dokumentumok megőrzése és a bérlap ellenőrzése nem felesleges bürokrácia, hanem a munkavállalói jogok érvényesítésének eszköze.

45.1.13. Tipikus hibák

1. **Szóbeli megállapodásra hagyatkozás:** a munkavállaló nem kér írásos munkaszerződést, később nem tudja bizonyítani a bért vagy a munkakört.
2. **A szerződés el nem olvasása:** nem tudja a próbaidő hosszát, a felmondási időt vagy a szabadságot; a jogait nem tudja érvényesíteni.
3. **A munkaviszony és a megbízás összekeverése:** a munkavállaló nem tudja, hogy jár-e szabadság, TB-jogviszony vagy végkielégítés.
4. **A felmondás szóban történő közlése:** a felmondási idő nem számítható, az iratok kiadása késik.
5. **A bérlap ellenőrzésének elmulasztása:** a hibás levonás vagy a ki nem fizetett túlóra észrevétlen marad.

45.1.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A munkaviszony érvényességéhez feltétlenül szükséges az írásos munkaszerződés. Indokold!
2. Gyors számolás: bruttó 400 000 Ft bérnél, 15% SZJA és 18,5% TB levonás esetén mennyi a nettó?
3. Mi a hiba ebben a leírásban? „A próbaidő alatt a munkáltató 60 napos felmondási idővel szüntetheti meg a munkaviszonyt.”
4. Sorolj fel legalább négy tartalmi elemet a munkaszerződésből.
5. Igaz vagy hamis? A munkavállalói rendes felmondást indokolni kell.

45.1.15. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a munkaviszonyt, és sorold fel a munkaszerződés legalább négy tartalmi elemét.

2. feladat (A)
Számítsd ki a szabadságmértéket: 35 éves, 2 gyermeket nevelő munkavállaló; alapszabadság 20 munkanap, életkori pótszabadság 5 munkanap, gyermekek után 4 munkanap (ellenőrizendő: Mt. 117–118. §). Hány munkanap szabadság jár?

3. feladat (B)
Bruttó 350 000 Ft munkabérnél (példa) a levonások: SZJA 15%, TB 18,5%. Mennyi a nettó bér, és mennyi a munkáltató havi összköltsége, ha a szociális hozzájárulási adó 13% (példa)?

4. feladat (B)
Hasonlítsd össze a munkaviszonyt és a megbízási jogviszonyt az alárendeltség, a díjazás és a felmondás szempontjából.

5. feladat (C)
Elemezd: a munkáltató nem adott munkáltatói tájékoztatót, és a munkavállaló nem tudja, hány nap szabadság illeti. Milyen kockázatokat hordoz ez, és mit tegyen a munkavállaló?

6. feladat (D)
Műhelyi helyzet: egy autószerelő szóban felmond, másnap nem jön be. Mi a helyes eljárás a felmondási idővel, a munkabérrel és a munkáltatói igazolással? Mit kockáztat?

45.1.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A munkaviszony létrejöhet szóban is, de a munkáltató köteles írásba foglalni; az írásba foglalás elmaradása esetén a szerződés érvénytelenségére csak a munkavállaló hivatkozhat, a munkába lépéstől számított 30 napon belül (ellenőrizendő: Mt. 44. §). Mégis mindig kérj írásos szerződést.
2. Nettó: $400\,000 - (400\,000 \cdot 0{,}15) - (400\,000 \cdot 0{,}185) = 400\,000 - 60\,000 - 74\,000 = 266\,000$ Ft.
3. A próbaidő alatt a munkaviszonyt azonnali hatállyal, indokolás nélkül lehet megszüntetni; nincs 60 napos felmondási idő.
4. Például: felek megnevezése, munkavégzés helye, munkakör, munkabér, munkaviszony kezdete.
5. **Hamis.** A munkavállalói rendes felmondás nem igényel indokolást.

1. feladat (A)
A munkaviszony olyan jogviszony, amelyben a munkavállaló a munkáltató irányítása alatt, személyesen, munkakörébe tartozó feladatokat lát el, a munkáltató pedig munkabért fizet. Munkaszerződési elemek: felek, munkavégzés helye, munkakör, munkabér, munkaviszony kezdete, időtartam.

2. feladat (A)
$20 + 5 + 4 = 29$ munkanap szabadság jár (ellenőrizendő: Mt. 117–118. §).

3. feladat (B)
SZJA $= 350\,000 \cdot 0{,}15 = 52\,500$ Ft; TB $= 350\,000 \cdot 0{,}185 = 64\,750$ Ft; nettó $= 350\,000 - 52\,500 - 64\,750 = 232\,750$ Ft. SZOCHO $= 350\,000 \cdot 0{,}13 = 45\,500$ Ft; munkáltatói összköltség $= 350\,000 + 45\,500 = 395\,500$ Ft. (Ellenőrizendő: aktuális adómértékek.)

4. feladat (B)
A munkaviszonyban erős az alárendeltség, a munkáltató utasítási joggal bír, a díjazás munkabér, a felmondás szigorú törvényi szabályokhoz kötött. Megbízási jogviszonyban nincs vagy enyhe az alárendeltség, a díjazás megbízási díj, és a felmondásra a polgári jog szerint van mód – a felek szabadabban állapodhatnak meg.

5. feladat (C)
Kockázatok: a munkavállaló nem ismeri a szabadságát, a munkaidőt, a felmondási időt; nem tudja hatékonyan érvényesíteni a jogait. Teendő: kérje írásban a munkáltatói tájékoztatót, kérje a bérlapot és a munkaidő-nyilvántartást, és ha a munkáltató nem teljesít, forduljon a munkaügyi hatósághoz vagy jogi tanácsadóhoz.

6. feladat (D)
A szóbeli felmondás nem szabályszerű; a munkaviszonyt írásban kell megszüntetni. A munkavállalónak le kell töltenie a felmondási időt, vagy meg kell állapodnia a munkáltatóval a rövidebb időben. A munkabér és a munkáltatói igazolás a munkaviszony végéig jár. Ha egyszerűen

nem megy be, a munkáltató azonnali hatályú felmondással élhet, és kártérítést is követelhet a munkavállaló szerződésszegése miatt.

45.1.17. Rövid összefoglaló

A munkaviszony a munkavállaló és a munkáltató közötti, alárendelt munkavégzésre irányuló jogviszony, amelyet munkaszerződéssel kell létesíteni. A munkaszerződés minimális tartalma: felek, munkakör, munkavégzés helye, munkabér, munkaviszony kezdete. A munkavállalót megilletik a munkabér, a szabadság, a pihenőidő, az egészséges munkafeltételek; kötelezettsége a személyes munkavégzés, az utasítások betartása és a károkozás elkerülése. A munkaidő napi 8, heti 40 óra; a rendkívüli munka pótlékot von maga után. A munkaviszony megszüntethető közös megegyezéssel, rendes vagy azonnali hatályú felmondással; a munkáltatói rendes felmondást indokolni kell, és meghatározott esetekben végkielégítés jár. A munkaviszonyt meg kell különböztetni a megbízási és vállalkozási jogviszonytól, mert az utóbbiakra nem a munka törvénykönyve vonatkozik. **Továbbvitt eredmény:** a munkaszerződés tartalmi elemeit és a bérszámítás alapjait a Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv és a Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok alfejezetek használják.

45.1.18. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a munka törvénykönyvéről szóló 2012. évi I. törvény (Mt.); a polgári törvénykönyvről szóló törvény (Ptk.; ellenőrizendő: hatályos szöveg); a személyi jövedelemadóról szóló törvény; a társadalombiztosítás ellátásairól szóló törvény; a NAV foglalkoztatással kapcsolatos tájékoztatói; munkaügyi hatósági útmutatók. Nem ellenőrzött: a példaként megadott százalékok (SZJA, TB, SZOCHO), szabadságméretek, felmondási idők, próbaidő-hossz, végkielégítés-sávok, bérminimumok és a tájékoztatási/bejelentési határidők. Minden konkrét határértéket a kiadás előtt a hatályos jogszabály szerint ellenőrizni kell.

45.2. Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv

45.2.1. Motiváció

Miután letetted a szakmai vizsgát, új helyzetbe kerülsz: már nem tanuló vagy, hanem autószerelő szakember, aki munkát keres. A bizonyítvány önmagában nem küld állásajánlatot. A munkaerőpiacon az lesz előnyben, aki tudja, hogyan kell bemutatni a tudását, hova kell fordulnia, és milyen jogai, illetve kötelezettségei vannak, ha nem azonnal kap állást. Ugyanez a tudás kell ahhoz is, ha külföldön szeretnél dolgozni, vagy ha pár év múlva más szervizbe, esetleg márkaszervizbe vennék fel. Az idegen nyelvi alapszókincs pedig ma már nemcsak a multinacionális cégnél, hanem a magyar műhelyben is egyre gyakrabban kell: munkalapot, hibakódot, javítási utasítást látsz angolul, és az ügyfél sokszor külföldi rendszámú autóval érkezik.

Képzeld el, hogy hétfőn reggel felhív egy szervizvezető, mert látta az önéletrajzodat: „Jöjjön be holnap szakmai beszélgetésre, és hozzon magával munkanaplót vagy portfóliót is.” Ebben az alfejezetben azt gyakoroljuk, hogy ilyen és hasonló élethelyzetekben ne állj üres kézzel.

45.2.2. Szemléletes kép

Egy állásinterjún ülsz a szerviz irodájában. Az asztalon a te önéletrajzod, a munkáltató előtt egy táblázat, amelyben a jelölteket hasonlítja össze. A szomszéd szobában egy külföldi ügyfél autóját szerelik, és a kolléga éppen egy kiállított munkalapot ad át angolul. A főnök azt kérdezi: „Mit tud az Otto-motor vezérműszíj-hibáiról, és hogyan magyarázná el egy német turistának, miért kell olajcsere?” Nem szó szerint ezt fogják kérdezni, de a logikája ugyanez: a szaktudás mellett a kommunikáció, az önbemutatás és a dokumentumok minősége dönt.

45.2.3. Karriertervezés és álláskeresési alapok

Definíció. A karriertervezés azt jelenti, hogy tudatosan végiggondolod, milyen munkakörben szeretnél dolgozni, milyen kompetenciákra van szükséged, és milyen lépésekkel juthatsz el az adott célállapotba.

Az autószerelő szakmán belül több irány létezik, és ezért a cél sem mindenkinek ugyanaz:

- **márkafüggetlen szerviz**: széles járműpark, sokféle márka, gyakori hibakeresés,
- **márkaszerviz**: gyártói folyamatok, speciális célszerszámok, folyamatos márkaképzések,
- **gumi-, futómű- és fékcenter**: gyors szerviz, erős gyakorlati fókusz,
- **haszonjármű-szerviz**: teherautó, autóbusz, gyakran pneumatikus rendszerek,
- **önálló vállalkozás**: saját műhely, ügyfélkapcsolat és adminisztráció is,
- **külföldi munkavállalás**: nyelvtudás, mobilitás, az adott ország szabályainak ismerete.

Szabály. Mielőtt önéletrajzot írsz, készíts rövid önismereti összefoglalót: mihez értesz, mit szeretsz csinálni, milyen munkakörnyezetben tudsz jól teljesíteni, és mi az a terület, ahol még fejlődnöd kell. Pl. ha erős vagy a villamosságban, de gyengébb a dízelbefecskendezés, akkor célzottan kereshetsz olyan pozíciót, ahol villamossági gyakorlatot kaphatsz.

A mobilitás ma fontos tényező: a munkahely nem feltétlenül van a lakóhelyed közelében. A munkába járás módját (autó, tömegközlekedés, költözés) reálisan tervezd meg. A képzések terén a szakmában folyamatosan változnak az elvárások: hibrid és elektromos járművek, ADAS, OBD, klímatechnika. Az élethosszig tartó tanulás már nem csak elv, hanem versenyelőny.

45.2.4. Önéletrajz és motivációs levél

Definíció. Az önéletrajz (angolul CV, németül Lebenslauf) egy tömör, szakmai bemutatkozó dokumentum, amely a munkáltató számára áttekinthetővé teszi a képzettségedet, gyakorlatodat, készségeidet és elérhetőségeidet.

A mai gyakorlatban két jól bevált forma terjedt el:

- **Europass önéletrajz**: az Európai Unió által kidolgozott egységes sablon, amely a tagállamokban ismert, előnye, hogy könnyen kitölthető és nemzetközileg összehasonlítható (ellenőrizendő: a jelenlegi Europass portál elérhetősége és űrlapjai).
- **Klasszikus önéletrajz**: saját szerkesztésű, személyre szabott, legfeljebb egy-két oldal.

A szakmai önéletrajz tartalmi elemei:

1. **Személyes adatok**: név, lakcím, telefon, e-mail, születési idő (csak ha a hirdetés kéri), jogosítvány, elérhetőség.
2. **Szakmai cél**: egy-két mondat, például „autószerelőként szeretnék elhelyezkedni márkafüggetlen szervizben, különös érdeklődéssel a motorirányítás és a villamosság iránt”.

3. **Szakmai tapasztalat**: időrendben visszafelé. Ha még nincs, akkor az iskolai tanműhelyi gyakorlat, nyári munka, családi műhelybeli segítség is felsorolható – lényeg, hogy őszintén.
4. **Végzettség**: autószerelő szakképesítés, érettségi, korábbi iskolák.
5. **Készségek**: járműdiagnosztika, OBD-, ABS-, légzsák-javítási ismeretek, szerszámhasználat, numerikus készségek, nyelvtudás, digitális írástudás.
6. **Egyéb**: kategóriák, targoncavezetői képzettség, elsősegély ismeret, hobbik (rövid, csak ha releváns).

Motivációs levél (angolul cover letter, németül Anschreiben) egy rövid, kísérőlevél, amelyben elmagyarázod, miért érdekel a konkrét munkahely, és miért éppen te lennél jó munkavállaló. Nem ismétli az önéletrajzot, hanem kiemeli a legfontosabb érveket. A motivációs levélhez is készíts vázlatot: megnyíló (ki vagyok, mire jelentkezem), fő rész (miért én, miért ez a cég), lezárás (személyes találkozó kérése).

45.2.4.1. Gyakorlati lépéssor: önéletrajz és motivációs levél elkészítése

Megjegyzés. Adatvédelem. Az önéletrajzban csak a pályázathoz szükséges személyes adatot add meg; a személyes adatokat a pályázat céljából, a jogszabályi keretek között kezeld (ellenőrizendő: GDPR és a hazai adatvédelmi törvény előírásai).

1. Gyűjtsd össze a szükséges dokumentumokat: személyes igazolvány, jogosítvány, bizonyítványok, tanfolyami igazolások, nyelvvizsga, munkáltatói igazolások, referenciák.
2. Készíts egy tiszta mappát a számítógépen: `CV_önéletrajz`, `motivációs_levél`, `bizonyítványok`, `referenciamunkák`.
3. Írd meg az önéletrajzot. Használhatod az Europass online sablonját, vagy készíthetsz saját formátumot. Ügyelj a címekre, az egységes betűtípusra, a helyesírásra.
4. Ellenőrizd az önéletrajzot: minden dátum pontos, nincs üres, magyarázat nélküli időszak, az elérhetőség működik, a fénykép (ha kérnek) professzionális.
5. Írd meg a motivációs levelet az adott álláshirdetésre szabva. Ne tömeges „Tisztelt Cím!” levelet írj, hanem a konkrét cég nevét és a hirdetett munkakört használd.
6. Alakítsd át PDF formátumba, nevezd el szépen: `Kovacs_Jozsef_oneletrajz.pdf`, `Kovacs_Jozsef_motivacios_level.pdf`.
7. Mentsd el mindkét dokumentumot, és küldd el az álláshirdetésben kért módon (e-mail, portál, személyes leadás).
8. Rögzítsd a beadott pályázatokat egy táblázatban: cég, dátum, munkakör, válasz, interjú időpontja.

Tipp. Az önéletrajzod legyen „javításra előkészített”: ha hirdetésre pályázol, mindig igazítsd a hangsúlyokat az adott álláshoz. Ha pl. az állás hibrid járművekre fókuszál, és neked van alapismereted, akkor hozd előre.

45.2.5. Álláskeresési módszerek

Az álláskeresésnek több hatékony módja is van:

- **Online állásportálok**: általános és szakmai portálok; itt kereshetsz autószerelő állásokat.
- **Munkaügyi szervezet (állami foglalkoztatási szolgálat)**: ingyenes állásközvetítés, munkaerőpiaci programok, képzések (ellenőrizendő: a jelenlegi intézményrendszer és elnevezés; korábban Nemzeti Foglalkoztatási Szolgálat).

- **EURES**: az Európai Foglalkoztatási Szolgálat, amely az EU/EGT-tagállamok álláshirdetéseit és mobilitási lehetőségeit közvetíti (ellenőrizendő: az EURES-hálózat jelenlegi elektronikus platformja). Külföldi munkavállalás előtt tájékozódj a célország munkavállalási feltételeiről, szakmai elismerésről, tb- és adószabályokról.
- **Személyes kapcsolatrendszer**: volt gyakorlati hely, iskolai oktatók, családtagok, szakmai ismerősök. Sok autószerelő állást nem hirdetnek meg, hanem ajánlás útján töltenek be.
- **Cégek weboldalai**: márkaszervizek, szervizhálózatok honlapján gyakran van karrieroldal.
- **Közösségi és szakmai platformok**: LinkedIn, Facebook szakmai csoportok, szervizes fórumok.

Valós életbeli alkalmazás. Anna frissen végzett autószerelő. Jelentkezett egy nagyobb multimárkás szervizhez. Először elkészítette Europass önéletrajzát, feltüntetve tanműhelyi gyakorlatát: olajcsere, fékbetétcsere, kerékkiegyensúlyozás, akkumulátorcsere, OBD-hibakódkiolvasás. Motivációs levelében azt emelte ki, hogy a gyakorlatán dízelmotoros járműveken is dolgozott, és szeretne hibrid továbbképzésen részt venni. Az interjún megkérdezték angolul, hogy milyen szerszámot használna egy olajleeresztő csavarhoz, és el tudta mondani: „wrench” (kulcs), „torque wrench” (nyomatékkulcs), „oil drain plug” (olajleeresztő csavar). A szakmai nyelvtudás és a rendezett dokumentumok miatt felvették.

45.2.6. Munkanélküli jogok, kötelezettségek és ellátások

Előírás. A munkanélküliek ellátásának és a foglalkoztatás elősegítésének alapjait az 1991. évi IV. törvény szabályozza (ellenőrizendő: a törvény hatályos szövege és a későbbi módosítások). A következő ismertetés tájékoztató jellegű, a pontos feltételeket a hatályos jogszabályok és az illetékes munkaügyi szerv tájékoztatása alapján kell ellenőrizni.

Álláskeresővé nyilvántartásba vétel. Ha nincs munkád, és szeretnél ellátást igényelni, regisztráltasd magad a lakóhely szerinti illetékes foglalkoztatási szervnél. Ehhez személyes okmányok, adó- és tb-azonosító jelek, iskolai bizonyítványok, munkáltatói igazolások szükségesek (ellenőrizendő: a jelenlegi ügyintézéshez szükséges dokumentumok listája).

Kötelezettségek. A regisztrált álláskeresőnek együtt kell működnie a foglalkoztatási szervvel: elfogadni a felajánlott megfelelő munkahelyet, részt venni a megbeszéléseken, álláskeresési tanácsadáson, képzésben, és jelenteni a változásokat (lakcím, jövedelem, munkaviszony létesítése). A kötelezettségek megszegése az ellátás szüneteltetésével vagy megszüntetésével járhat (ellenőrizendő: hatályos szabályok és a szankciók).

Ellátások. A leggyakoribbak:

- **Álláskeresési járadék** (köznyelven „munkanélküli járadék”): a korábbi munkaviszonyban szerzett jogszerző időtől és a munka bérétől függ, maximum időtartama jellemzően 90 nap (ellenőrizendő: a jelenleg hatályos időtartam és összegszabályok).
- **Nyugdíj előtti álláskeresési segély**: a nyugdíjkorhatár közelében lévő, a járadékot kimerítő álláskeresőknek (ellenőrizendő: Flt.).
- **Foglalkoztatást helyettesítő támogatás (FHT)**: szociális (nem biztosítási) ellátás rászorulóknak, a járási hivatal állapítja meg (ellenőrizendő: Szt.).
- **Közfoglalkoztatás**: a foglalkoztatási szerv által szervezett, államilag támogatott foglalkoztatás, amely természetbeni munkalehetőséget és jövedelmet nyújt (ellenőrizendő: a jelenlegi közfoglalkoztatási jogszabályok és feltételek).

Fontos. A nyilvántartásba vétel nem szégyen, hanem a jogosultságok igénybevételének feltétele. Autószerelőként a munkanélküli időszakot felhasználhatod továbbképzésre, nyelvtanulásra, vizsgákra való felkészülésre.

45.2.7. Szakmai idegen nyelv: angol és német alapok

Előírás. A nyelvvizsga vagy nyelvtudás-igazolás nincs feltétlenül kötelező a munkavállaláshoz, de a nemzetközi ügyfélforgalom és a javítási dokumentáció miatt erős előny. Az alábbi rendszerezés az autószerelői szakma leggyakoribb beszédhelyzeteire készült.

45.2.7.1. Nyelvtani rendszerezés az interjúhoz és a műhelyhelyzethez

1. **Igeidők.** Az interjúban a tapasztalatokat jellemzően **Present Perfect** vagy **Simple Past** időben mondjuk el.
   - Angol: *I have worked / I worked in a workshop.*
   - Német: *Ich habe in einer Werkstatt gearbeitet.*
   - A rendszeres tevékenységeket, tényeket **Present Simple** / **Präsens**:
   - Angol: *I check the brakes.*
   - Német: *Ich prüfe die Bremsen.*
   - A jövőbeli terveket **will / be going to** / **Futur I**:
   - Angol: *I will learn hybrid technology.*
   - Német: *Ich werde die Hybridtechnik lernen.*
2. **Kérdésszerkesztés.** Az interjún te is kérdezhetsz. Angolban a kérdőszó + segédige + alany + ige sorrend. Németben a kérdőszó + ragozott ige + alany.
   - Angol: *Where did you work before? / What tools do you use for brake repair?*
   - Német: *Wo haben Sie gearbeitet? / Welche Werkzeuge benutzen Sie für die Bremsenreparatur?*
   - A műhelyben az ügyfélnek: *What is the problem? / Was ist das Problem?*
3. **Feltételes mód.** Az udvarias kérés, javaslat, lehetőség:
   - Angol: *I would like to learn more about engine management. / Could you show me the diagnostic tool?*
   - Német: *Ich möchte mehr über Motorsteuerung lernen. / Könnten Sie mir das Diagnosegerät zeigen?*
4. **Módbeli segédigék.** *can, could, should, must, may, might* – németül *können, sollten, müssen, dürfen, möchten.*
   - Angol: *You must disconnect the battery before working on the airbag.*
   - Német: *Sie müssen zuerst die Batterie abklemmen, bevor Sie am Airbag arbeiten.*

45.2.7.2. Szakmai szókincs táblázat

Magyar	Angol	Német
autószerelő	car mechanic / automotive technician	Kfz-Mechatroniker / Kfz-Mechaniker
műhely	workshop	Werkstatt
szerszám	tool	Werkzeug
csavarkulcs	wrench / spanner	Schraubenschlüssel
nyomatékkulcs	torque wrench	Drehmomentschlüssel
csavarhúzó	screwdriver	Schraubendreher
emelő	jack	Wagenheber

Magyar	Angol	Német
diagnosztika	diagnostics	Diagnose
hibakód	fault code / DTC	Fehlercode
olajcsere	oil change	Ölwechsel
fékbetét	brake pad	Bremsbelag
féknyereg	brake caliper	Bremssattel
vezérműszíj	timing belt	Zahnriemen
gyújtógyertya	spark plug	Zündkerze
akkumulátor	battery	Batterie
gumiabroncs	tyre / tire	Reifen
kipufogórendszer	exhaust system	Auspuffanlage
hűtőfolyadék	coolant	Kühlmittel
ügyfél	customer	Kunde
munkalap	work order / repair order	Reparaturauftrag / Arbeitsauftrag

Az értékek és a szókincs tanulási példák; a gyakorlatban a márkaszervizek dokumentációjában a gyártó által használt terminológia irányadó.

45.2.7.3. Formanyomtatvány kitöltése idegen nyelven

Definíció. A munkalap (work order / Reparaturauftrag) egy szerviznyilvántartó dokumentum, amelyen az ügyfél adatait, a jármű adatait, a hibajelenséget, a elvégzett munkákat, az alkatrészeket és a díjat rögzítik.

Angolul például: *Customer name: John Smith* (ügyfél neve), *Vehicle: VW Golf 1.4 TSI* (jármű), *Complaint: „engine warning light on, loss of power”* (hibajelenség: motorellenőrző lámpa világít, teljesítménycsökkenés), *Work performed: replaced ignition coil, cleared fault codes* (elvégzett munka: gyújtótekercs csere, hibakód törlés), *Parts: ignition coil 06F905115* (alkatrész), *Cost: 45,000 HUF* (költség).

Németül: *Kundenname: Hans Müller, Fahrzeug: Opel Astra 1.6, Beanstandung: Motor läuft unruhig, Durchgeführte Arbeiten: Zündkerze ersetzt, Fehlercode gelöscht, Preis: 180 Euro.*

Gyakorlat. Töltsd ki a következő angol munkalapsablont saját példa alapján: *Customer name: … Vehicle make/model: … Complaint: … Diagnosis: … Repair: … Parts used: … Total: …*

45.2.8. Idegen nyelvi interjúszituációk és bemutatkozás

Az állásinterjún gyakran kérik: „Tell me about yourself” / „Erzählen Sie etwas über sich”. Erre készíts 30–60 másodperces, kívülről is begyakorolt választ:

- **Angol:** *„My name is Gábor Kovács. I have just completed my car mechanic training. I did my practical training at an independent workshop, where I learned how to change oil, brakes, timing belts and basic diagnostics. I am interested in modern petrol and diesel engines, and I would like to learn hybrid technology.”*
- **Német:** *„Mein Name ist Gábor Kovács. Ich habe meine Ausbildung zum Kfz-Mechatroniker abgeschlossen. Mein Praktikum habe ich in einer freien Werkstatt gemacht. Dort habe ich Ölwechsel, Bremsen und Zahnriemenwechsel gelernt. Ich interessiere mich für moderne Otto- und Dieselmotoren und möchte Hybridtechnik lernen.”*

Gyakorold hangosan, hogy a kiejtés természetes legyen. Az interjún nem a tökéletesség a cél, hanem az érthetőség és a szakmai tartalom.

45.2.9. Tipikus hibák

1. **Önéletrajz túl hosszú.** Sok tanuló három-négy oldalt ír, mert minden tantárgyat felsorol. A jó önéletrajz egy, legfeljebb két oldal. **Helyes:** csak a releváns szakmai ismereteket és tapasztalatokat emeld ki.
2. **Motivációs levél sablonos.** Ha minden céghez ugyanazt a levelet küldöd „Tisztelt Cím!” megszólítással, az munkáltató ezt észreveszi. **Helyes:** mindig a konkrét hirdetéshez és céghez igazítsd.
3. **Nyelvtudás túl-/alulértékelése.** Önéletrajzban sokan „középfokú” nyelvtudást írnak, de interjún nem tudnak válaszolni. Ha nincs folyékony tudás, írd „alapszintű” valósághűen. **Helyes:** a szintet a valós használati képességhez igazítsd.
4. **Munkaügyi kötelezettségek elhanyagolása.** Ha regisztrált álláskereső vagy, és nem jelentkezel, nem jársz be, elveszítheted az ellátást. **Helyes:** tartsd a kapcsolatot a foglalkoztatási szervvel, minden változást jelents.
5. **Idegen nyelvű munkalap pontatlan kitöltése.** A járműazonosító (VIN) elírása, a hibajelenség pontatlan fordítása később kárt okozhat. **Helyes:** használj szótárt, gyártói adatbázist, és ha bizonytalan vagy, kérj segítséget.

45.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az Europass önéletrajz csak magyarul használható, és nem fogadható el más EU-tagállamban. Indokold.
2. Nevezd meg az önéletrajz három kötelező tartalmi elemét.
3. Írd át angolra: „Nyomatékkulccsal húzom meg a kerékcsavarokat.”
4. Hogyan kérdeznél rá németül, hogy mi a probléma az autóval?
5. Mit jelent az, hogy a regisztrált álláskereső együttműködési kötelezettséggel tartozik?
6. Mi a hiba ebben: az önéletrajzban az állásinterjún derül ki, hogy a nyelvtudás szintjeként feltüntetett adat valótlan?

45.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel az autószerelői karrierlehetőségek közül legalább négyet, és mindegyikhez írj egy-egy előnyt vagy hátrányt.

2. feladat (A). Írj angolul két mondatot, amelyben bemutatkozol és elmondod, hogy mi a szakmai érdeklődési területed.

3. feladat (B). Készíts vázlatot egy motivációs levélhez, amelyben egy márkafüggetlen szervizhez jelentkezel. A vázlatban szerepeljen: megszólítás, három érv a felvételed mellett, lezáró mondat.

4. feladat (B). Töltsd ki angol munkalapot a következő adatokkal: ügyfél: Peter Smith, jármű: Ford Focus 1.5 TDCi, hibajelenség: „DPF warning light on, limp mode”, diagnózis: blocked DPF, elvégzett munka: forced DPF regeneration, alkatrész: none, összeg: 20 000 HUF. Írd le a teljes munkalapot angolul.

5. feladat (C). Egy interjún megkérdezik, hogy mit tennél, ha egy hibrid járművön kellene 12 V-os akkumulátort cserélni, de nem vagy kiképezve a nagyfeszültségű rendszerhez. Fogalmazd meg a választ angolul vagy németül, benne a biztonságos munkavégzés elvével.

6. feladat (D). Egy friss autószerelő jelentkezik egy szervizbe. Az önéletrajza három oldalas, a motivációs levelét „Tisztelt Cím!” megszólítással küldte, és az interjún kiderül, hogy a fékbetét csere tapasztalatát „könnyű munkaként” írta le. Az interjún megkérdezik angolul, hogyan hajtana végre fékbetétcserét. Írj legalább öt magyarázó mondatot angolul, amelyek a fékbetétcsere lépéseit mutatják be, és közben használj szakmai szókincset (caliper, brake pad, torque wrench, brake fluid, test drive).

45.2.12. Megoldások

45.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az Europass önéletrajz az EU-ban érvényes sablon, több nyelven kitölthető, és a tagállamokban elfogadott (ellenőrizendő: az Europass portál jelenlegi funkciói).
2. Személyes adatok, szakmai tapasztalat, végzettség (készségek, cél is jó).
3. *I tighten the wheel bolts with a torque wrench.*
4. *Was ist das Problem mit dem Auto?* vagy *Welche Probleme hat das Auto?*
5. Az együttműködési kötelezettség azt jelenti, hogy a nyilvántartásba vett álláskereső köteles a kijelölt időpontokban megjelenni, a felajánlott megfelelő állást elfogadni, a képzéseken részt venni, és a változásokat bejelenteni.
6. A hiba az, hogy az önéletrajzban valótlan adat szerepel; ez a munkáltató bizalmának elvesztését okozza, és a munkaviszony későbbi megszüntetéséhez is vezethet.

45.2.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A). Négy karrierlehetőség: - márkafüggetlen szerviz – előny: sokféle jármű, széles tapasztalat; hátrány: több féle gyártói dokumentációt kell ismerni. - márkaszerviz – előny: célszerszámok, folyamatos képzés; hátrány: gyakran szigorú gyártói előírások, néha monotonabb. - gyorsszerviz (gumi/fék/futómű) – előny: gyors belépés, sok gyakorlat; hátrány: szűkebb terület. - külföldi munkavállalás – előny: magasabb bér, nyelvtudás; hátrány: családtól távol, adminisztráció.

2. feladat (A). Például: *My name is Gábor Kovács. I am interested in engine management and electric vehicles.* (A mondat lehet más is, a lényeg a bemutatkozás és az érdeklődés.)

3. feladat (B). Vázlat: - Megszólítás: *Tisztelt Szervizvezető Úr!* - Három érv: (1) szakirányú végzettség és tanműhelyi gyakorlat, (2) érdeklődés az elektronikus motorirányítás iránt, (3) pontos, megbízható munkavégzés, jó műhelyi munkamorál. - Lezárás: *Bízom benne, hogy személyes beszélgetésen is bemutathatom szaktudásomat. Tisztelettel: [Név]*

4. feladat (B). Angol munkalap: - Customer name: Peter Smith - Vehicle: Ford Focus 1.5 TDCi - Complaint: DPF warning light on, limp mode - Diagnosis: blocked DPF - Work performed: forced DPF regeneration - Parts used: none - Total: 20,000 HUF

5. feladat (C). Például angol: *I would not touch the high-voltage system. I am not trained for it. I would disconnect the 12 V battery only after checking the manufacturer’s instructions, and I would ask a qualified technician to isolate the HV system. Safety first.* (Egyéb helyes válasz is elfogadható.)

6. feladat (D). Például: 1. *First, I lift the car safely and support it on jack stands.* 2. *Then I remove the wheel.* 3. *I inspect the brake pads and caliper for wear.* 4. *I open the brake fluid reservoir.* 5. *I remove the caliper carefully without stretching the brake hose.* 6. *I replace the brake pads and reassemble the caliper.* 7. *I torque the caliper bolts with a torque wrench.* 8. *Finally, I pump the brake pedal and check the brake fluid level, then do a test drive.*

A válaszokban a lényeg a szakmai szókincs használata és a logikus sorrend.

45.2.13. Rövid összefoglaló

A karriertervezés az önismeretre, a mobilitásra és a folyamatos képzésre épül. Az álláskereséshez elengedhetetlen a jól szerkesztett, célzott önéletrajz (Europass vagy klasszikus) és a konkrét álláshirdetésre szabott motivációs levél. Az álláskeresési módszerek között az online portálok, a munkaügyi szerv, az EURES és a személyes kapcsolatrendszer együttesen a leghatékonyabb. A munkanélküli jogait és kötelezettségeit a hatályos foglalkoztatási törvény szabályozza: a regisztráció feltétele az ellátásoknak és a szolgáltatásoknak, az együttműködés elmulasztása szankciókat vonhat maga után. A szakmai idegen nyelv az autószerelő számára ma már alapkompetencia: az igeidők, kérdésszerkesztés, feltételes mód és módbeli segédigék használata az interjún, míg a szerszámok, főegységek és hibajelenségek szókincse a műhelyben nélkülözhetetlen. A munkalap angol/német kitöltése pontosságot és szakmai terminológia ismeretét igényli. **Továbbvitt eredmény.** Az itt elkészített önéletrajz és a begyakorolt idegen nyelvi bemutatkozás a vizsgafelkészülés szóbeli és gyakorlati részén is használható, mert az önbemutatás és a szakmai kommunikáció a teljes szakmai életutat kíséri.

45.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Forrástípusok: hatályos magyar munkaügyi jogszabályok (1991. évi IV. törvény a foglalkoztatás elősegítéséről és a munkanélküliek ellátásáról; ellenőrizendő: hatályos szöveg, módosítások), a foglalkoztatási szerv és a munkaügyi ellátások jelenlegi intézményi nevei, az EURES portál jelenlegi elérhetősége, az Europass portál funkciói, adatvédelem (GDPR).
- Ellenőrizendő állítások: ellátástípusok (álláskeresési járadék, segély, FHT) konkrét feltételei, a közfoglalkoztatás jelenlegi szabályai, a regisztrációhoz szükséges dokumentumok, a munkalap formai követelményei (ha van szabvány), a nyelvtudás-igazolás szabályai.
- A szakmai szókincs táblázat és a munkalapminta tanulási példa, nem hivatalos szójegyzék.

45.3. Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok

45.3.1. Motiváció

Autószerelőként előbb-utóbb találkozol azzal a kérdéssel, hogy alkalmazottként a béredből milyen levonások vannak, vagy ha saját műhelyt indítasz, milyen adókkal és milyen vállalkozási formában dolgozz. A javítás végén kiállított számla nem papírforma: adóhatósági bizonylat, amelynek hiánya vagy hibája pénzbírsággal, vevői vitával és akár az üzlet jó hírét sértő problémával jár. Ugyanígy rossz döntés, ha valaki pusztán „olcsóság” alapján választ vállalkozási formát, mert a korlátlan felelősség, az adóelőleg és a bevételi korlát később sokkal többe kerül.

45.3.2. Szemléletes kép

Képzeld el egy szerviz pultját. A munkalapon az áll: fékbetét- és féktárcsa-csere, munkadíj nettó 40 000 Ft, alkatrész nettó 60 000 Ft. Az ügyfél számlát kér. Ha az autószerelő ÁFA-alany, a javításra általános forgalmi adót számít fel: nettó 100 000 Ft, ÁFA 27 000 Ft, a számla bruttó 127 000 Ft. Ha alanyi ÁFA-mentes egyéni vállalkozó, akkor a számlán ÁFA nem szerepel, de az alkatrész beszerzésének ÁFA-ja nem vonható le. Ebből a pultnál induló példából látod: az adózás közvetlenül meghatározza az árat és a vállalkozás gazdálkodását.

45.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Adónak nevezzük azt a jogszabályon alapuló, ellenszolgáltatás nélküli, rendszeres vagy egyszeri befizetést, amelyet a központi vagy helyi költségvetésnek teljesítenek.

Definíció. ÁFA (általános forgalmi adó) a termékértékesítésre és szolgáltatásnyújtásra rakódó forgalmi adó. Az eladó felszámítja a vevőnek, a beszerzései utáni előzetes ÁFA-t levonhatja, és csak a különbözetet fizeti be, így gazdaságilag a végső fogyasztót terheli.

Definíció. SZJA (személyi jövedelemadó) a magánszemélyek jövedelme utáni állami adó. A munkabérből, vállalkozói jövedelemből, osztalékból származó jövedelmet terheli.

Definíció. Egyéni vállalkozó olyan természetes személy, aki saját nevében, saját kockázatára, rendszeresen, nyereségért végez gazdasági tevékenységet. Felelőssége a vállalkozási vagyonára és általában a magánvagyonára is kiterjed, ha a jogszabály másként nem rendelkezik.

Definíció. Gazdasági társaság jogi személy, amelyet tagok alapítanak, és amely a tagoktól elkülönült vagyonnal rendelkezik; a tagok felelőssége a társasági forma szerint korlátozott vagy korlátlan lehet.

45.3.4. Adóhatóság és az adókötelezettség

Előírás. Magyarországon az adók megállapításának, bevallásának, beszedésének és ellenőrzésének hatásköre alapvetően a Nemzeti Adó- és Vámhivatalhoz (NAV) tartozik. A konkrét szervezeti nevet, illetve a hatásköri szabályokat az adózás rendjére vonatkozó jogszabály aktuális szövege szerint kell ellenőrizni. (ellenőrizendő: hatályos adóigazgatási szabályok)

A NAV-nál kell adószámot kiváltani, bevallást benyújtani, adót befizetni; a hivatal adóellenőrzést tarthat, és mulasztás esetén bírságot szabhat ki.

Összefüggés. Az adókötelezettség alapegysége: adóalany, adótárgy, adóalap, adómérték (kulcs) és a bevallási/befizetési határidő. Ha bármelyik nem tisztázott, a vállalkozás nincs biztonságos adózói helyzetben.

45.3.5. ÁFA: alany, tárgy, mérték, mentesség

ÁFA-alany általában az a személy vagy szervezet, aki gazdasági tevékenységet folytat. Az adóalanyiság nem azonos azzal, hogy ténylegesen ÁFA-t is számolunk fel, mert vannak mentességi szabályok.

ÁFA tárgya a belföldi termékértékesítés, szolgáltatásnyújtás, közösségi beszerzés és termékimport. Az autószerviz javítási munkája szolgáltatásnyújtás, az alkatrész beépítése során a számlán azonban gyakran a szolgáltatás és anyag együtt, a javítási szolgáltatás részeként jelenik meg; a pontos adókezelést a szerződés, a munkalap és az adójogszabály dönti el. (ellenőrizendő: az ÁFA-törvény hatályos rendelkezése)

ÁFA-mértékek. Az általános mérték 27%. Emellett létezik 18% és 5% kedvezményes kulcs bizonyos termékekre és szolgáltatásokra. A járműjavítási munkadíj jellemzően 27%-os kulcs alá esik, de a kedvezményes körök az adott jogszabály szerint változhatnak. (ellenőrizendő: hatályos ÁFA-kulcsok és besorolás)

Figyelem. Az autószervizben a 27% a leggyakoribb kulcs, de nem szabad automatikusan minden tételre alkalmazni; például egyes hatósági vizsgálati díjak vagy támogatott tételek eltérően kezelendők. A tétel ÁFA-besorolását a számla előtt ellenőrizni kell.

Alanyi ÁFA-mentesség. Kis bevételű vállalkozás választhat alanyi mentességet; ilyenkor a számláin nem számít fel ÁFA-t, viszont előzetesen felszámított ÁFA-t sem vonhat le. Az értékhatár (2024-től) évi 18 000 000 Ft (ellenőrizendő: Áfa tv. 188. § hatályos szövege).

Továbbvitt eredmény. A szabályos ÁFA-kezelés és számlatartalom az Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben alfejezetben tér vissza, amikor árajánlatot, munkalapot és számlát kell összhangba hozni.

45.3.6. Nyugta és számla

A készpénzes fizetésnél a vásárlónak nyugtát kell adni, ha nem kér számlát; a nyugta is adóügyi bizonylat. A számla ennél szigorúbb tartalommal igazolja a gazdasági eseményt.

Szabály. A számla kötelező tartalmi elemei jellemzően: a „számla” megjelölés, a számla sorszáma, az eladó neve, címe, adószáma, a vevő neve és címe, a teljesítés időpontja, a szolgáltatás/termék megnevezése és mennyisége, az adóalap, az ÁFA kulcsa és összege, valamint a bruttó végösszeg. Az elektronikus számlában is ezeknek az adatoknak szerepelniük kell. (ellenőrizendő: az adóigazgatási jogszabály hatályos számlatartalmi szabálya)

Szabály. A NAV felé a számlaadatokról elektronikus adatszolgáltatást kell teljesíteni; a számlát úgy kell kiállítani, hogy az adatszolgáltatás ne utólagos javítgatással készüljön. (ellenőrizendő: hatályos online számla és adatszolgáltatási szabályok)

Figyelem. A hiányos vagy hibás számla **nem** „kis adminisztratív hiba”: adóbírságot vagy mulasztási bírságot vonhat maga után, és az ügyfél szavatossági/jótállási igényének bizonyítását is nehezíti.

45.3.7. Szankciók röviden

Adóhiány, be nem vallott adó vagy be nem fizetett adó esetén a NAV adóbírságot, mulasztási bírságot, késedelmi pótlékot szabhat ki; súlyos esetben adószám törlés vagy büntetőeljárás is következhet. A pontos bírságmértékek, határidők és eljárási szabályok az adóigazgatási jogszabályban szerepelnek. (ellenőrizendő: hatályos szankciórendszer)

45.3.8. Személyi jövedelemadó és a munkabér

Összefüggés. Az alkalmazotti béralapból a munkáltató levonja az SZJA-előleget és a munkavállalói társadalombiztosítási járulékot; a levont összeget a NAV-nak fizeti be.

A tanulási példaértékek:

- SZJA-előleg: 15%
- munkavállalói TB-járulék: 18,5%
- munkáltatói szociális hozzájárulási adó (szocho): 13% (a munkáltató költsége, nem a munkavállaló levonása)

(ellenőrizendő: hatályos adó- és járulékmértékek, valamint a családi és egyéb kedvezmények)

Számítás. Ha a bruttó munkabér 450 000 Ft, és nincs kedvezmény:

$$\text{SZJA-előleg} = 450\,000 \times 0{,}15 = 67\,500\,\text{Ft}$$

$$\text{munkavállalói TB-járulék} = 450\,000 \times 0{,}185 = 83\,250\,\text{Ft}$$

$$\text{levonás összesen} = 67\,500 + 83\,250 = 150\,750\,\text{Ft}$$

$$\text{nettó bér} = 450\,000 - 150\,750 = 299\,250\,\text{Ft}$$

Ellenőrzés. A levonás 450 000 Ft 33,5%-a, ami ésszerű nagyságrend: 150 750 Ft.

Megjegyzés. A munkáltatót terhelő szocho 13% a munkavállaló nettóját nem csökkenti, viszont a munkáltató bérköltségét növeli. Az SZJA-előleg év végén az éves adóbevallásban rendezhető, ha adókedvezmény vagy más jövedelem miatt eltérés van.

45.3.9. Egyéni vállalkozó adózási formái

Az egyéni vállalkozó több adózási mód közül választhat; a választás befolyásolja az adminisztrációt, az adóterhet és a költségek elszámolását is. Az autószerviz indításánál a legfontosabb szempontok: árbevétel, költségek aránya, ügyfélkör, és az, hogy a vállalkozó szeretne-e költségeket tételesen elszámolni.

Táblázat. Adózási forma választása autószerviznél (tanulási összefoglaló).

Adózási forma	Jellemző adóalap és teher	Autószerviz szempontból
Vállalkozói SZJA	bevétel − költség, utána jövedelemadó, kivétnél osztalékadó/szocho	akkor előnyös, ha sok elszámolható költség van
Átalányadó	bevétel × költséghányaddal csökkentett jövedelem, SZJA + TB	egyszerű, lakossági javításra gyakran választott
KATA	havi tételes adó	2022-től szűkült feltételek, főleg lakossági ügyfeleknél
Társasági adó	társaságok nyeresége után 9%	Kft./Rt. adózása
EVA	korábbi egyszerűsített forma	2022. december 31-én megszűnt (ellenőrizendő)

Az adatok tanulási példák, a hatályos adómértékeket, bevételi határokat és feltételeket az adott adóév szabályai szerint kell ellenőrizni. (ellenőrizendő: az adóformák hatályos jogszabályi feltételei)

Vállalkozói SZJA. Az egyéni vállalkozó a vállalkozói bevételéből a vállalkozói költségeket levonhatja, a maradékból fizet jövedelemadót. Ez jó választás lehet egy olyan műhelynél, ahol nagy az alkatrész-, bérleti díj-, szerszám- és energia-költség, és a könyvelés vezetése megoldható.

Átalányadó. Az átalányadóban a vállalkozó a bevételének meghatározott hányadát tekinti jövedelemnek, és ehhez igazodik az SZJA és járulék. Az általános költséghányad 40%, vagyis a bevétel 60%-a a jövedelem; egyes felsorolt, főként javító tevékenységekre – valószínűleg a gépjárműjavításra (TEÁOR 45.20) is – emelt, 80%-os költséghányad érvényes, ekkor a jövedelem a bevétel 20%-a (ellenőrizendő: Szja tv. 50. § és melléklete, az adott TEÁOR-szám szerint). A fejezet példái a 40%-ot használják, tanulási példaként. Ez a forma kisebb adminisztrációval jár, de nem éri meg akkor, ha a valódi, dokumentált költségek aránya nagy.

KATA. A kisadózó vállalkozások tételes adója havi fix összeg, jelenlegi tanulási példa szerint 50 000 Ft/fő. A 2022 előttihez képest ma már sokkal szigorúbb feltételekkel vehető igénybe, lényegében csak egyéni vállalkozó, és főként lakossági ügyfelekre. Autószerviznél, ahol más vállalkozások is fizetnek, gyakran nem választható. (ellenőrizendő: hatályos KATA-szabályok)

Társasági adó. A gazdasági társaságoknál az adózás előtti eredményből társasági adót fizetnek; a jelenlegi tanulási kulcs 9%. Ha a tag osztalékot vesz fel, az osztalék után további személyi jövedelemadó terheli. (ellenőrizendő: hatályos társaságiadó-kulcs)

EVA. Az egyszerűsített vállalkozói adó korábbi átalányadó-forma, ma már új adózó nem választja; a meglévő jogviszonyok kivezetésére külön szabályok vonatkoznak. (ellenőrizendő: hatályos EVA-kivezető rendelkezések)

45.3.10. Gazdasági társaságok

Szabály. A gazdasági társaság bejegyzett jogi személy; létrejöttéhez létesítő okirat (társasági szerződés, alapító okirat) és cégbírósági bejegyzés szükséges. A társaságot a vezető tisztségviselő képviseli; a tulajdonosok és a vezetők felelőssége nem azonos. (ellenőrizendő: a Polgári Törvénykönyv és a cégnyilvánosságról szóló törvény hatályos szabálya)

Kft. (korlátolt felelősségű társaság). A tagok a törzsbetétjükkel felelnek a társaság tartozásaiért. A törzstőke tanulási példa szerint minimum 3 000 000 Ft. (ellenőrizendő: a hatályos Ptk. szerinti minimális törzstőke) A kft. ügyvezetője felel a társaság működéséért, de a tagok magánvagyona főszabály szerint nem viselhet felelősséget a cég tartozásaiért, kivéve jogszabályban meghatározott eseteket.

Bt. (betéti társaság). A beltag felelőssége korlátlan, a kültagé pedig vagyoni betétje erejéig korlátozott. A bt. alkalmas lehet családi szervizhez, de a beltag teljes vagyonával kötelezettséget vállal.

Rt. (részvénytársaság). Zártkörűen működő Zrt. alaptőkéje tanulási példa szerint legalább 5 000 000 Ft; nyilvánosan működő rt. ennél magasabb, például 20 000 000 Ft. (ellenőrizendő: hatályos Ptk. szerinti alaptőke-minimum) Az rt. részvényekre osztott alaptőkével működik, és általában nagyobb szervezetet feltételez.

Táblázat. Vállalkozási formák összehasonlítása.

Forma	Tag/felelősség	Tőke szempont	Vezető
Egyéni vállalkozó	természetes személy, jellemzően korlátlan	nincs kötelező alaptőke	maga a vállalkozó
Kft.	tagok korlátozott felelőssége	törzstőke, tanulási példa 3 000 000 Ft	ügyvezető
Bt.	beltag korlátlan, kültag korlátozott	nincs általános alaptőke-minimum	beltag üzletvezető
Zrt.	részvényesek korlátozott felelőssége	alaptőke, tanulási példa 5 000 000 Ft	igazgatóság/vezérigazgató

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: a hatályos társasági jogi előírások).

45.3.11. Kidolgozott példák

Példa 1 – Javítási számla. Egy autószerviz ÁFA-alany egyéni vállalkozó. A munkalap alapján a nettó munkadíj 60 000 Ft, a beépített alkatrészek nettó értéke 40 000 Ft. A javítási szolgáltatás 27% ÁFA-kulcs alá esik. (ellenőrizendő: az adott tétel hatályos besorolása)

Adott: nettó munkadíj 60 000 Ft, nettó anyag 40 000 Ft, ÁFA-kulcs 27%.
Keresett: ÁFA és a fizetendő bruttó összeg.
Képlet:

$$\text{nettó összesen} = 60\,000 + 40\,000 = 100\,000\,\text{Ft}$$

$$\text{ÁFA} = 100\,000 \times 0{,}27 = 27\,000\,\text{Ft}$$

$$\text{bruttó} = 100\,000 + 27\,000 = 127\,000\,\text{Ft}$$

Ellenőrzés: a bruttó 1,27-szerese a nettó összegnek, tehát 127 000 / 100 000 = 1,27, ami megfelel a 27%-os kulcsnak. ∎

Példa 2 – Munkabér nettósítása. Egy autószerelő alkalmazott havi bruttó bére 350 000 Ft; nincs családi kedvezmény. A levonás: 15% SZJA-előleg és 18,5% munkavállalói TB-járulék. (Ellenőrizendő a hatályos járulékmérték.)

Számítás:

$$\text{SZJA-előleg} = 350\,000 \times 0{,}15 = 52\,500\,\text{Ft}$$

$$\text{munkavállalói járulék} = 350\,000 \times 0{,}185 = 64\,750\,\text{Ft}$$

$$\text{levonás} = 52\,500 + 64\,750 = 117\,250\,\text{Ft}$$

$$\text{nettó} = 350\,000 - 117\,250 = 232\,750\,\text{Ft}$$

Ellenőrzés: a levonások a bruttó 33,5%-át teszik ki; 350 000 × 0,335 = 117 250 Ft, tehát a nettó helyes. ∎

45.3.12. Minőségellenőrzés: számla és adóforma ellenőrzőlista

1. A számla minden kötelező adatot tartalmaz: számla megjelölés, sorszám, eladó, vevő, adószám, teljesítés ideje, tétel, mennyiség.

2. A nettó, ÁFA-kulcs(ok), ÁFA-összeg és bruttó összeg egyezik: `bruttó = nettó × (1 + kulcs)`.

3. A munkalap és a számla tételei, valamint az óradíj/alkatrészár megegyeznek.

4. Az adózási forma hatályos: ÁFA-alany vagy alanyi mentes, KATA-korlát, átalányadó-értékhatár ellenőrizve.

5. A NAV online adatszolgáltatás és bevallás határideje ismert.

Figyelem. A számla ellenőrzése nemcsak a vállalkozás, hanem az ügyfél érdeke is: a tételes számla a jótállási és szavatossági igény alapja.

45.3.13. Valós életbeli alkalmazás

Anna autószerelő évekig alkalmazottként dolgozott, majd kis műhelyt nyit. Éves várható bevétele 15 000 000 Ft, ami az alanyi mentesség 18 000 000 Ft-os határa alatt van (ellenőrizendő), főleg lakossági javításokból. Az alkatrész beszerzése számlával történik, de a költségei adminisztrálása sok időt vinne el, ezért az átalányadót választja; a tanulási példában 40% költséghányaddal számol (gépjárműjavításnál emelt, 80%-os hányad is lehetséges; ellenőrizendő: Szja tv. 50. §, TEÁOR szerint). Első számláján nettó 80 000 Ft munkadíj szerepel, de mivel alanyi ÁFA-mentes, ÁFA-t nem számít fel. Később kiderül, hogy több cég is javíttatná a flottáját; a cégeknek a nettó ár és az ÁFA levonási lehetősége fontos, ezért Anna áttér az ÁFA-alanyiságra, és a számláira 27% ÁFA-t tesz. A döntést nem érzésből, hanem a vevőkör és a beszerzési ÁFA levonási lehetősége alapján hozza meg.

Tanulság: az adózási forma nem állandó; az üzlet szerkezete, a vevőkör és az adószabályok változásakor érdemes újraértékelni.

45.3.14. Gyakorlati útmutató – Számla kiállításának gyakorlása

Cél: szabályos javítási számla elkészítése tanulási környezetben.
Adatok ellenőrzése: eladó adószám, vevő adatok, teljesítés dátuma, javítási munkalap.
Számítási lépés: tételenként nettó adóalap, ÁFA-kulcs, ÁFA = nettó × kulcs, bruttó = nettó + ÁFA.

1. Azonosítsd a járművet és az ügyfelet; írd be a munkalap számát.

2. Rögzítsd az eladó nevét, címét, adószámát; jelöld, hogy a számla javítási szolgáltatásról szól.

3. Tételesen sorold fel a munkadíjat és az alkatrészeket; mennyiséget és egységárat adj meg.

4. Minden tételhez rendeld hozzá a helyes ÁFA-kulcsot; ha vegyes, külön soronkénti nettót és kulcsot.

5. Számítsd ki a nettó összeget, a tételenkénti ÁFA-t, majd a teljes ÁFA-t.

6. Add meg a bruttó fizetendő összeget, és ellenőrizd a `bruttó = nettó + ÁFA` összefüggést.

7. Mentsd el a számlát, és győződj meg arról, hogy a NAV felé előírt online adatszolgáltatás teljesül.

Tipikus hibák. A nettó és bruttó felcserélése, az adószám elhagyása, a teljesítés napjának hiánya, helyes ÁFA-kulcs nélküli „egy összeg” feltüntetése.

45.3.15. Tipikus hibák

1. **Nettó-bruttó keverése.** A szerelő magánszemély ügyfélnek nettó árat mond, a számlán azonban a bruttó szerepel – ez fogyasztóvédelmi panaszhoz vezet. Ha pedig csak a nettót szedi be, az ÁFA-t ettől függetlenül be kell fizetnie, ami a vállalkozás vesztesége. Helyes gyakorlat: fogyasztónak mindig bruttó árat mondunk (ellenőrizendő: az árfeltüntetésre vonatkozó rendelet, 4/2009. (I. 30.) NFGM–SZMM), céges ügyfélnek nettó + ÁFA bontásban.

2. **Alanyi mentes adózó ÁFA-t számít fel.** A mentes egyéni vállalkozó nem tehet ÁFA-t a számlára; ha mégis, a NAV-nak be kell fizetnie, a számla pedig jogvita forrása lesz.

3. **A munkáltató szocho téves levonása.** A szocho a munkáltató költsége, nem a munkavállaló bérlevonása; aki levonja a bérből, jogszerűtlenül csökkenti a nettó bért.

4. **Kft. és egyéni vállalkozó felelősségének összekeverése.** A Kft. tagja csak törzsbetétjével felel, míg az egyéni vállalkozó jellemzően magánvagyonával is; a rossz döntés később súlyos pénzügyi kockázatot jelent.

5. **KATA automatikus választása.** Sok autószerelő „reklámból” KATA-t választ, pedig a feltételek ma már szűkebbek; előbb a vevőkört és a 2022 utáni szabályokat kell ellenőrizni.

45.3.16. Önellenőrzés

1. Hány forint ÁFA és bruttó jár egy nettó 100 000 Ft-os, 27%-os kulcsú javítási számlán?

2. Igaz-e, hogy az alanyi ÁFA-mentes adóalany is felszámíthat ÁFA-t, ha a vevő kéri?

3. Melyik levonás terheli a munkavállalót: az SZJA-előleg, a munkáltatói szocho, vagy mindkettő?

4. Sorolj fel legalább öt kötelező tartalmi elemet a számlából.

5. Melyik vállalkozási formában korlátlan a beltag felelőssége: kft., bt., zrt.?

6. Miért nem elég az adókiválasztásnál a havi adó összegét nézni?

45.3.17. Feladatok

1. feladat (A). Egy autószerviz nettó 80 000 Ft munkadíjat és nettó 45 000 Ft alkatrészdíjat számláz. Mindkét tétel 27% ÁFA-kulcs alá tartozik. Számítsd ki a nettó összeget, az ÁFA-t és a

bruttó fizetendőt.

2. feladat (A). Magyarázd el, mi a különbség az ÁFA-alany és az alanyi ÁFA-mentes adózó között a számla szempontjából.

3. feladat (B). Egy munkavállaló havi bruttó bére 500 000 Ft. Nincs adókedvezmény. A levonások: SZJA-előleg 15%, munkavállalói TB-járulék 18,5%. Számítsd ki a nettó bért.

4. feladat (B). Írj fel hét ellenőrzési pontot, amelyet egy javítási számla kiállítása előtt ellenőrizned kell.

5. feladat (C). Hasonlítsd össze, miért választhatja egy lakossági autószerviz egyéni vállalkozóként az átalányadót, míg egy flottákat javító cég inkább ÁFA-alany kft. formában működik. Térj ki a bevételszerkezetre, a költségekre és a felelősségre.

6. feladat (D). Egy számlán a következő szerepel: nettó 100 000 Ft, „ÁFA 25 000 Ft, bruttó 125 000 Ft”. A munkalap szerint 27% ÁFA-kulcs volt. Azonosítsd a hibát, és írd le, milyen következménye lehet a szabálytalan számlának.

45.3.18. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. ÁFA = 27 000 Ft, bruttó = 127 000 Ft.

2. Hamis. Az alanyi mentes adózó nem számít fel ÁFA-t; ha mégis feltünteti, a NAV-nak be kell fizetnie, és a számla vitathatóvá válik.

3. Csak az SZJA-előleg és a munkavállalói TB-járulék terheli a munkavállalót; a munkáltatói szocho a munkáltató költsége.

4. Számla megjelölés, sorszám, eladó neve/címe/adószáma, vevő neve/címe, teljesítés dátuma, tétel megnevezése, nettó összeg, ÁFA-kulcs és -összeg, bruttó összeg.

5. A bt. beltagjának felelőssége korlátlan.

6. Mert az adó mellett a bevételi határ, a költségelszámolás, a vevőkör és a vagyoni felelősség is meghatározza, hogy hosszú távon melyik forma biztonságos.

1. feladat megoldása (A).
Nettó összesen: 80 000 + 45 000 = 125 000 Ft.
ÁFA: 125 000 × 0,27 = 33 750 Ft.
Bruttó: 125 000 + 33 750 = 158 750 Ft.
Ellenőrzés: 125 000 × 1,27 = 158 750. ∎

2. feladat megoldása (A).
Az ÁFA-alany a termékértékesítésre vagy szolgáltatásra felszámítja az ÁFA-t, a beszerzései előzetes ÁFA-ját levonhatja. Az alanyi mentes nem számít fel ÁFA-t a vevőnek, viszont a beszerzéseinél rá eső ÁFA-t nem vonhatja le; az ÁFA-mentesség elsősorban kis bevételnél, lakossági ügyfeleknél egyszerűbb.

3. feladat megoldása (B).
SZJA-előleg = 500 000 × 0,15 = 75 000 Ft.
Munkavállalói TB = 500 000 × 0,185 = 92 500 Ft.
Levonás = 75 000 + 92 500 = 167 500 Ft.

Nettó = 500 000 − 167 500 = 332 500 Ft.
Ellenőrzés: 500 000 − 0,335 × 500 000 = 332 500. ∎

4. feladat megoldása (B).
Ellenőrizendő: számla megjelölés és sorszám; az eladó neve, címe, adószáma; a vevő neve és címe; a teljesítés dátuma; a szolgáltatás/alkatrész megnevezése, mennyisége, nettó egységára; a helyes ÁFA-kulcs; a tételenkénti ÁFA-összeg; a fizetendő bruttó végösszeg; a NAV online adatszolgáltatás megtörténte. (Bármely hét elfogadható.)

5. feladat megoldása (C).
A lakossági szerviznél a vevők nagy része természetes személy, akiknek nem fontos az ÁFA levonása, ezért az egyszerűbb átalányadó és alanyi mentesség is elegendő lehet. A flottás céges ügyfelek viszont általában ÁFA-levonásra jogosultak, és számlát kérnek, ezért a szerviznek ÁFA-alanynak érdemes lennie. A Kft. korlátozott tagi felelősséget ad, ami hosszú távon védi a tulajdonos magánvagyonát. A társasági adó 9% tanulási kulcs, de a flottás javításnál a nagyobb költségek levonhatósága és az ÁFA-elszámolás döntő.

6. feladat megoldása (D).
A hiba: a 100 000 Ft nettóra 27% ÁFA-t kell számítani, azaz 27 000 Ft ÁFA jár; a számlán írt 25 000 Ft és a bruttó 125 000 Ft nem felel meg a 27%-os kulcsnak. Következmény: a számla adóhatóságilag szabálytalan; ha a hibát nem javítják, adóhiány, bírság, az ügyfél kifogásolása, valamint a NAV online adatszolgáltatási ellenőrzés eltérést jelezhet.

45.3.19. Rövid összefoglaló

Az autószerelőnek az adózásban nem kell adótanácsadónak lennie, de szabályosan kell bért, számlát és adóformát kezelnie. Az ÁFA-alany a javítási szolgáltatásra felszámítja az ÁFA-t, a leggyakoribb tanulási kulcs 27%, de a hatályos besorolást ellenőrizni kell. A szabályos számla rögzíti az eladó és vevő adatait, a teljesítést, a tételes nettó összeget, az ÁFA-kulcsot, az ÁFA-összeget és a bruttót. A munkabérből az SZJA-előleg (példa: 15%) és a munkavállalói TB-járulék (példa: 18,5%) kerül levonásra; a munkáltatói szocho (példa: 13%) nem a munkavállalót terheli. Egyéni vállalkozóként a vállalkozói SZJA, az átalányadó, a KATA vagy – társaságnál – a társasági adó közül a bevételszerkezet és a költségek alapján lehet választani. A Kft. korlátozott tagi felelősséget, a Bt. beltagja korlátlan felelősséget hordoz. **Továbbvitt eredmény.** A szabályos számlatartalom, az ÁFA-kezelés és a vállalkozási forma ismeretét az Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben alfejezet használja, ahol az ügyfél felé adott árajánlat, munkalap és a jótállási feltételek a számviteli és adózási háttérrel összhangban készülnek.

45.3.20. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet elsősorban az adóhatósági és adójogszabályi keretekre épít, ezért a konkrét rendelkezéseket a hatályos jogszabályok szerint ellenőrizni kell. Érintett forrástípusok: az adózás rendjéről szóló törvény, az ÁFA-törvény, az SZJA-törvény, a társadalombiztosítási és szociális hozzájárulási adóra vonatkozó törvények, a KATA-törvény, az átalányadó és a társasági adó szabályai, valamint a Polgári Törvénykönyv társasági jogi rendelkezései. Ellenőrizendő pontok: az áfa-kulcsok (27%, 18%, 5%), az alanyi ÁFA-mentesség értékhatára, az SZJA-előleg 15%, a munkavállalói TB 18,5%, a munkáltatói szocho 13%, a társasági adó 9%, a KATA havi 50 000 Ft, a Kft. törzstőke 3 000 000 Ft, a Zrt. alaptőke 5 000 000 Ft, a nyrt. tőkeigénye, valamint a számlaadási és online adatszolgáltatási kötelezettségek. A felsorolt számok tanulási példák; a kiadás előtt mindegyiket a hatályos joganyaghoz kell igazítani.

45.4. Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben

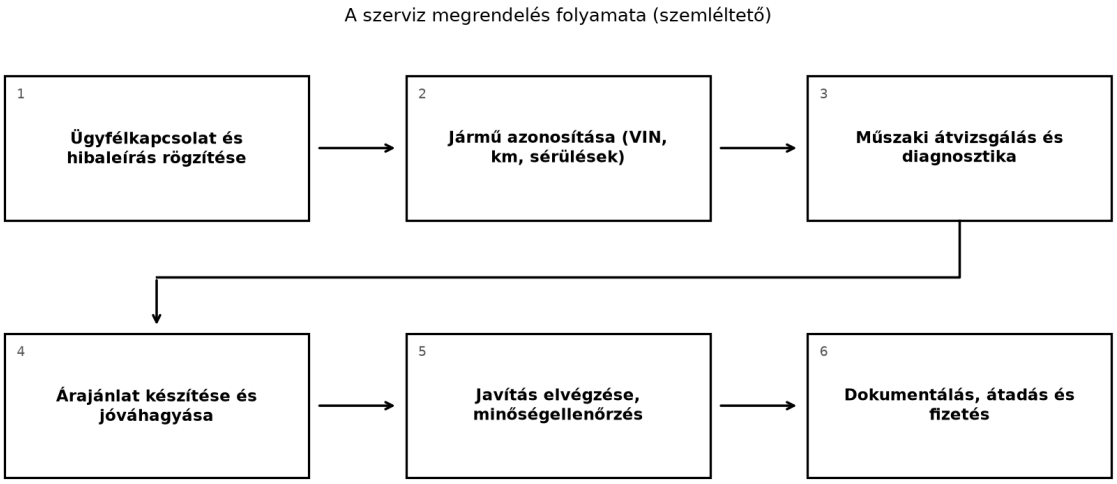
45.4.1. Motiváció

Egy szervizben ugyanaz a szakmai munka lehet kiváló vagy elfogadhatatlan a teljes ügyfélélménytől függően. Képzeld el, hogy a tanuló a vizsga előtti komplex hibakeresési feladatban egy jármű diagnosztikáját önállóan elvégzi. A feladat nem csupán a hiba megtalálása, hanem az is, hogy a vizsgadokumentációban – a munkalapon és az árajánlaton – pontosan, nyomon követhetően rögzíteni tudja a tünetet, az elvégzett méréseket, a javasolt javítást és annak költségét. Ugyanez a helyzet a műhelyben, amikor egy ügyfél „furcsa kopogást” hall, de nem tudja pontosan leírni: a jól felvett munkalap és a tudatos kommunikáció dönti el, hogy a hibakeresés célzott lesz-e, vagy a szerelő órákig találgat. A fogyasztóvédelemi és jótállási szabályok nem jogászkodás, hanem a tisztességes szerviz mindennapi kerete: aki nem ismeri őket, könnyen ad félreérthető ígéretet, rosszul dokumentálja a pótmunkát, vagy elmulasztja a kötelező tájékoztatást, amiből később panasz és bizalomvesztés lesz. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan kell egy javítási megrendelést felvenni, árajánlatot készíteni, a fogyasztó jogait értelmezni, és a panaszokat kezelni.

45.4.2. Szemléletes kép

Képzeld el a munkafelvételi pultot: a tanácsadó laptopja előtt nyitva egy elektronikus munkalap, mellette a jármű kulcsa. A munkalap fejlécében szerepel a műhely neve, címe, adószáma, telefonszáma. Alatta a jármű adatai: rendszám (hatósági jelzés), alvázszám (VIN), forgalmi engedély szerinti tulajdonos és üzembentartó, kilométeróra-állás, üzemanyagszint, külső sérülések jelölése egy karosszéria-vázlaton. A hibaleírás mezőben az ügyfél szavait idézve: „Hidegindítás után 2-3 másodpercig csörög, aztán elmúlik; meleg motornál nem jelentkezik.” A tanácsadó kiegészíti a saját kérdéseivel: mikor jelentkezik, milyen fordulatszámon, van-e hibajelző lámpa, történt-e mostanában szerviz? Ezután közösen megállapodnak a diagnosztikai díjban, és a tanácsadó beírja: „Diagnosztika: tünet reprodukálása, hibakód kiolvasása, vezérléslánc ellenőrzése – 1,2 munkaóra.” A munkalap alján az ügyfél aláírja, hogy a megbízást adja, a megadott adatok valósak, és a vizsgálati díjat akkor is elfogadja, ha a javítást végül nem rendeli meg. Ez a dokumentum a teljes folyamat gerince.

Az alábbi folyamatábra a munkafelvételtől az átadásig mutatja a lépéseket:



45.1. ábra. A szerviz megrendelés folyamata (szemléltető) - Általános tanulási folyamat; a konkrét lépéseket a műhely ügyviteli szabályzata és a gyártói dokumentáció határozza meg.

A folyamat minden lépésénél fontos a nyomon követhetőség: később a munkalap és az árajánlat szolgál bizonyítékul arra, hogy mi hangzott el, mit hagyott jóvá az ügyfél, és mit végzett el a műhely. Ezt az elvet építjük be a Vizsgafelkészülés alfejezetbe is, ahol a komplex gyakorlati feladat dokumentációs részét is hasonló struktúrában kell majd elkészíteni.

45.4.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Fogyasztó. A fogyasztóvédelmi szabályozás szerint fogyasztó az a természetes személy, aki a szakmája, önálló foglalkozása vagy üzleti tevékenysége körén kívül jár el. A szerviz ügyfele tipikusan fogyasztó, ha a saját személygépkocsiját javíttatja magáncélból. Ha viszont egy cég javíttatja a futó járművét, általában nem fogyasztói jogviszonyról van szó, hanem két vállalkozás közötti szerződésről. **(ellenőrizendő: a fogyasztó fogalmának pontos meghatározása a hatályos fogyasztóvédelmi törvényben és az EU-s irányelvekben.)**

Definíció. Vállalkozás. A fogyasztóvédelmi szabályok szerint vállalkozás az, aki a saját nevében vagy javára gazdasági tevékenységet folytat. A szerviz, függetlenül attól, hogy egyéni vállalkozó, betéti társaság vagy kft., a fogyasztóval szemben vállalkozásnak minősül, ezért a fogyasztóvédelmi kötelezettségek őt terhelik.

Definíció. Szolgáltatás és termék. A szerviztevékenység jellemzően vegyes: a munka elvégzése szolgáltatás, a beépített alkatrész pedig termék. A hiba típusától függ, hogy a jótállási vagy szavatossági szabályok a termékre, a szolgáltatásra vagy mindkettőre vonatkoznak. Az alkatrész értékesítése és beszerelése egy szerződésbe tartozik, ezért a jogkövetkezmények is együtt kezelendők.

Definíció. Ár és egységár. Az ár a termék vagy szolgáltatás ellenértéke. Az egységár a termék egy mennyiségi egységére (például 1 liter motorolaj, 1 munkaóra) vetített ár. A fogyasztóvédelmi szabályok előírják, hogy a fogyasztó számára egyértelműnek kell lennie, mennyit fizet összesen, és ahol releváns, mennyi az egységár. **(ellenőrizendő: az árfeltüntetésre vonatkozó hatályos hazai és uniós előírások.)**

Definíció. Jótállás. A jótállás a szerződés teljesítéséért való helytállás, amelyet a vállalkozás jogszabály alapján vagy önként vállal. A jótállás alatt a hibás teljesítésért a vállalkozás akkor is

felel, ha a hibát nem ő okozta, feltéve, hogy a hiba nem a fogyasztó hibájából keletkezett. A jótállás tehát szigorúbb, mint a szavatosság. **(ellenőrizendő: a jótállás pontos időtartama és feltételei a hatályos fogyasztóvédelmi és Ptk. szabályok szerint módosulhatnak.)**

Definíció. Szavatosság (kellékszavatosság). A szavatosság a szerződésszerű teljesítés követelményéből fakadó helytállás. Ha a szolgáltatás vagy termék hibás, a fogyasztó elsősorban kijavítást vagy kicserélést kérhet, ha pedig ez nem lehetséges vagy aránytalan, árleszállítást vagy elállást. A vállalkozás a teljesítéskor fennálló hibáért felel; fogyasztói szerződésnél a teljesítéstől számított egy éven belül felismert hibáról vélelmezni kell, hogy már a teljesítéskor megvolt. **(ellenőrizendő: Ptk. 6:157–6:158. §, és azok értelmezése javítási szolgáltatásnál.)**

Összefüggés. Nyomon követhetőség. A munkalap, a hibaleírás, a diagnosztikai jegyzőkönyv, az árajánlat és az ügyfél jóváhagyása együtt alkotják azt a dokumentációs láncot, amelyből utólag rekonstruálható, mi volt a megbízás tartalma. Ez a lánc védi az ügyfelet és a szervizt is: vita esetén ebből derül ki, hogy volt-e pótmunka-jóváhagyás, milyen hibát rögzítettek, és mennyi volt a közölt ár.

45.4.4. Ügyfélkommunikáció: szóbeli, írásbeli, telefonos és elektronikus

Szabály. Első benyomás és megszólítás. A munkafelvétel az ügyfél megszólításával kezdődik. A hivatalos magyar gyakorlatban természetes személy esetén a „Jó napot kívánok!” mellett a „hölgyem/uram” vagy a névvel történő megszólítás elfogadott; cég esetén a kapcsolattartó nevét és beosztását használjuk. A tegezés csak akkor megengedett, ha az ügyfél egyértelműen kezdeményezte. A bemutatkozásnál elmondjuk a keresztnevünket és a szerepünket: „Kovács Péter vagyok, gépjármű-átvevő tanácsadó. Miben segíthetek?”

Példa. Telefonos ügyfélkapcsolat. A telefonos megkeresésnél a szerviz nevét, a saját nevet és a segítőkészséget elsőként közöljük: „Jó napot kívánok! XY Autószerviz, Kovács Péter. Hogyan segíthetek?” A hívás közben jegyzeteljük a jármű adatait, a tünetet, az ügyfél elérhetőségét. A hívás végén összefoglaljuk a megállapodást: „Tehát holnap reggel 8-ra hozza a járművet, diagnosztikát kérünk, a vizsgálati díj bruttó 19 050 Ft (15 000 Ft + 27% áfa), ezt készpénzben vagy kártyával rendezheti.” Ezután megkérdezzük, van-e kérdése.

Szabály. Írásbeli kommunikáció. A hivatalos levél és az e-mail a szerviz ügyviteli kommunikációjában akkor használatos, amikor az ügyfélnek írásbeli tájékoztatást, árajánlatot, panaszválaszt vagy emlékeztetőt küldünk. A levél formája: fejlécben a szerviz adatai, jobbra a dátum, balra az ügyfél neve és címe, majd a tárgy. A megszólítás: „Tisztelt Ügyfelünk!” vagy „Tisztelt Kovács Úr!”. A zárás: „Tisztelettel: …”. Az e-mailben ugyanaz a szakmai hangnem, de rövidebb formában; a tárgy mindig beszédes legyen, például „Árajánlat a WX-123 rendszámú jármű fékjavítására”.

Szabály. Elektronikus kommunikáció és képek. Az ügyfél gyakran küld fényképet vagy videót a hibáról (például a hibajelző lámpáról, a kopott gumiabroncsról). Ilyenkor a kép a hibaleírás kiegészítése, de nem pótolja a jármű személyes átvizsgálását. Az elektronikus csatornán kapott adatokat a munkalaphoz csatoljuk, és rögzítjük a beérkezés időpontját. A GDPR-ra (adatvédelem) figyelve a képeket csak a megbízás céljához szükséges mértékben tároljuk, és nem osztjuk meg harmadik féllel, kivéve ha az ügyfél ehhez hozzájárult. **(ellenőrizendő: a GDPR és a hazai adatvédelmi törvény aktuális rendelkezései.)**

45.4.5. Munkafelvétel és munkalap

Gyakorlat. Munkafelvétel lépései. A munkafelvétel nem űrlapkitöltés, hanem interjú. A tanácsadó nyitott kérdésekkel deríti ki a tünetet, majd zárt kérdésekkel szűkíti a lehetséges okokat. A jármű átadásakor az alábbiakat mindig rögzítjük:

1. Jármű azonosítása: rendszám, alvázszám (VIN), forgalmi engedély adatai, kilométeróra-állás.
2. Ügyfél adatai: név, cím, telefon, e-mail, számlázási adat.
3. A jelenség pontos leírása: mikor, milyen körülmények között, milyen tünetet észlel.
4. A megbízás tartalma: mit vizsgáljunk vagy javítsunk (például „diagnosztika zörgés miatt”, „olajcsere és átvizsgálás”).
5. A jármű külső állapota: sérülések, karcolások, üzemanyagszint, felszereltség (pótkerék, emelő, szerszámkészlet, vonóhorog, tetőcsomagtartó).
6. Az ügyfél hozzájárulása a vizsgálati vagy diagnosztikai díjhoz.
7. Aláírás és dátum.

Szabály. Hiba leírása. A hibaleírást az ügyfél szavaival, idézőjelben rögzítsük, utána a tanácsadó kiegészítő megfigyeléseivel. Például: „Ügyfél szerint: ‘hidegindítás után rövid ideig csörög, utána megszűnik’. Tanácsadó kérdései alapján: a csörgést indítás után 2–3 másodpercig hallja, meleg motornál nem; nem jár együtt hibajelzővel.” A tünet pontos rögzítése azért fontos, mert a szerelő ebből indul ki, és később a diagnosztikai eredményt ezzel a kiindulási leírással vetjük össze.

Előírás. Munkalap kötelező tartalma. A fogyasztóvédelmi és vállalkozási szabályok szerint a szolgáltatás nyújtása során a vállalkozásnak egyértelmű tájékoztatást kell adnia a szolgáltatás díjáról, és a munka megkezdése előtt meg kell állapodnia az ügyféllel a díjról vagy annak számítási módjáról. A munkalap akkor megfelelő, ha tartalmazza a felek azonosító adatait, a jármű azonosítását, a megbízás tárgyát, az árat vagy az árképzés módját, és az ügyfél aláírását. **(ellenőrizendő: a fogyasztóvédelmi törvény és a Ptk. vállalkozási szerződésre vonatkozó szabályai.)**

45.4.6. Árajánlat, kalkuláció és pótmunka

Definíció. Árajánlat. Az árajánlat a szerviz által az ügyfélnek adott, a javítás várható költségét tartalmazó írásbeli vagy szóbeli nyilatkozat. Az árajánlat általában tartalmazza a munkaórák számát és a munkaóradíjat, az alkatrészek listáját és árát, a segédanyagokat, a környezetvédelmi díjakat, valamint az áfát. A kiállított árajánlatot az ügyfél elfogadhatja, módosítást kérhet vagy elutasíthat.

Szabály. Pótmunka jóváhagyása. Ha a javítás közben olyan hibát találunk, amely a megbízásban nem szerepelt, azt az ügyféllel jóvá kell hagyatni, mielőtt elvégeznénk. A pótmunka jóváhagyása történhet telefonon, e-mailben vagy írásban; a jóváhagyás tényét a munkalapra fel kell jegyezni időponttal és a jóváhagyó személy nevével. Ha az ügyfél nem érhető el, a pótmunkát nem végezzük el, hanem a járművet a megbízás szerint készítjük el, és a további hibát átadáskor jelezzük.

Számítás. Munkaóra- és alkatrész-kalkuláció. A javítási költség kalkulációjánál a munkaórák számát a gyártói javítási idők, vagy a műhelyben alkalmazott munkaidő-nyilvántartás alapján határozzuk meg. A munkaóradíj a műhely ára, amelyet a műhely szabályzata rögzít. Az alkatrész-árat a beszerzési ár + árrés adja. A kalkuláció lépései:

1. Határozd meg a szükséges munkaórákat (például fékbetétcsere első tengelyen: 1,1 munkaóra).
2. Szorozd meg a munkaóradíjjal: $1{,}1\,\text{h} \times 18\,500\,\text{Ft/h} = 20\,350\,\text{Ft}$.
3. Add össze az alkatrészek nettó árát: fékbetétszett 24 800 Ft, kopásjeladó 3 200 Ft, összesen 28 000 Ft.
4. Add hozzá a segédanyagot (fékzsír, tisztító): 900 Ft.
5. Nettó munkadíj + anyag: $20\,350 + 28\,000 + 900 = 49\,250\,\text{Ft}$.
6. Áfa: $49\,250 \times 0{,}27 = 13\,297{,}5\,\text{Ft}$; bruttó: $49\,250 + 13\,297{,}5 = 62\,547{,}5\,\text{Ft}$, kerekítve 62 548 Ft (készpénzes fizetésnél 62 550 Ft).

A végső árban az áfát a hatályos adómérték szerint tüntetjük fel. Az árajánlatot mindig nettó és bruttó összeggel, valamint az áfa mértékével írjuk ki. **(ellenőrizendő: az aktuális áfa-mértékek, mert azok jogszabályban változhatnak.)**

Előírás. Árfeltüntetés. A fogyasztói árakat bruttó összegben kell feltüntetni. A szervizben a munkaóradíjat, a diagnosztikai díjat és az alkatrészek fogyasztói árát jól láthatóan, egyértelműen ki kell írni. Ha az árajánlattól eltérő végösszeg várható, az ügyfelet a lehető leghamarabb tájékoztatni kell. **(ellenőrizendő: az árfeltüntetési kötelezettség pontos jogszabályi hivatkozása.)**

45.4.7. Fogyasztóvédelmi alapfogalmak és jogérvényesítés

Előírás. A fogyasztó jogai. A fogyasztót megilleti a szerződésszerű teljesítéshez való jog. Ha a szerviz hibásan teljesít (például a hiba nem szűnt meg, a beépített alkatrész hibás, vagy a javítás során sérült a jármű), a fogyasztó a következő jogokkal élhet: elsődlegesen kijavítást vagy kicserélést kérhet; ha ez nem lehetséges, árleszállítást kérhet vagy elállhat a szerződéstől. A szolgáltatás jellege miatt a kijavítás az elsődleges, a kicserélés a termékre (alkatrészre) értelmezhető. **(ellenőrizendő: a Ptk. és a fogyasztóvédelmi törvény szerinti pontos jogkövetkezmények, különös tekintettel a vállalkozási szerződésre.)**

Előírás. Jótállás és szavatosság időtartama. Az új alkatrészekre a jótállás jellemzően a hatályos rendelet szerinti időtartam, de ennek pontos hossza termékkörönként eltérhet. A gépjármű javítására – ha a díj a rendeletben meghatározott összeget meghaladja – kötelező jótállás vonatkozik (ellenőrizendő: 249/2004. (VIII. 27.) Korm. rendelet: időtartam, díjhatár, jótállási jegy/munkalap tartalma); emellett a szavatossági jogok is fennállnak. Fontos, hogy a jótállási határidő a termék átadásától, a szavatossági határidő a teljesítéstől számít, de a pontos időtartamokat a mindenkori jogszabály határozza meg. **(ellenőrizendő: a jótállási és szavatossági időtartamok, a jótállási jegy tartalmi követelményei, valamint a hibás teljesítés vélelme körüli szabályok.)**

Szabály. Panaszkezelés és békéltető testület. Ha az ügyfél panaszt tesz, a szerviznek a panaszt jegyzőkönyvbe kell vennie, és írásbeli választ kell adnia a jogszabályban meghatározott határidőn belül. A panaszkezelés folyamata: a panasz rögzítése, a hiba megvizsgálása, a megoldási javaslat megtétele, és ha az ügyfél nem fogadja el, tájékoztatni kell a békéltető testülethez fordulás lehetőségéről. A békéltető testület egy ingyenes, bíróságon kívüli vitarendezési fórum, amely a fogyasztói jogvitákban segíti az egyezséget. **(ellenőrizendő: a panaszkezelésre és a békéltető testületre vonatkozó hatályos jogszabályi előírások, különösen a határidők és a testület illetékességi szabályai.)**

Előírás. Adatvédelem. A szerviz ügyfél- és járműadatait csak a megbízás teljesítéséhez szükséges mértékben, a GDPR és a hazai adatvédelmi törvény szerint kezelheti. A munkalap, a számla és a kamerafelvételek személyes adatokat tartalmazhatnak, ezért a megőrzési időt a számviteli és adószabályokhoz igazodva kell meghatározni. Az ügyfelet tájékoztatni kell az

adatkezelés céljáról, jogalapjáról és az őt megillető jogokról. **(ellenőrizendő: az adatvédelmi tájékoztató tartalmi elemei a GDPR szerint.)**

45.4.8. Minőségellenőrzés: a dokumentum és a munka együttese

Ellenőrzőlista. Munkalap és árajánlat ellenőrzése.

- ☐ A jármű azonosítása (VIN, rendszám, km) egyezik a forgalmi engedéllyel és a járművön található adatokkal.
- ☐ Az ügyfél hibaleírása szó szerint és kiegészítő megfigyelésekkel szerepel.
- ☐ A megbízás tárgya egyértelmű: mit vizsgálunk, mit javítunk.
- ☐ A vizsgálati díj, a munkaóradíj és az anyagköltség számítása átlátható, nettó + áfa bontásban.
- ☐ Az árajánlat az ügyfél számára elfogadható formában (írásban vagy e-mailben) elérhető, és az elfogadás ténye dokumentált.
- ☐ A pótmunka-jóváhagyás időpontja és módja rögzített.
- ☐ A panaszkezeléshez szükséges adatvédelmi tájékoztató elérhető.
- ☐ A munkalap alján az aláírások és dátumok szerepelnek.

Szabály. Dokumentációs fegyelem. A munkalapot nem utólag, a munka elvégzése után „szépítjük”. A valós adatokat rögzítjük, mert a későbbi reklamáció vagy hatósági vizsgálat csak így védi a feleket. Ha a hibaleírás pontatlan volt, azt a szerelés során pontosítjuk, és az ügyfélnek jelezzük.

45.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Kopogó futómű félreérthető megbízással. Egy ügyfél azzal hozza be az autóját, hogy „valami kopog elöl, főleg kanyarban”. A tanácsadó kérdései alapján kiderül, hogy a kopogás kanyarodáskor, terhelésváltáskor hallható, és a jobb első kerék felől érkezik. A munkalapra bekerül: „Ügyfél szerint: kanyarodáskor kopog elöl jobbról. Tanácsadói kiegészítés: hideg motornál nem reprodukálható, meleg futóműnél jobban hallható.” A megbízás: futómű-diagnosztika. A szerelő a járművet megemeli, a kerékjátékot, a gömbcsuklókat, a stabilizátor rudat és a lengéscsillapító felfogatását ellenőrzi. A jobb oldali stabilizátor összekötő rúd (himbaszár) gömbcsuklója kottyanós, a bal oldali határesetben. Az árajánlat: két stabilizátor rudat cserélnek, mert párban cserélendő, a becsült költség 1,4 munkaóra + alkatrész. Az ügyfél nem elérhető, ezért a szerelő a megbízás szerint jár el: a diagnosztikát elvégzi, a hibát dokumentálja, és az árajánlatot átadáskor ismerteti. Az ügyfél elfogadja, a javítást időpontra ütemezik. A munkalapra felkerül: „Diagnosztika: stabilizátor összekötő rúd jobb oldali gömbcsukló kopott; pótmunka javasolt: jobb és bal oldali rúd cseréje. Ügyfél tájékoztatva, időpontot kér.” Ez az eset mutatja, hogy a pontos hibaleírás és a dokumentációs fegyelem megelőzi a félreértést és a váratlan költségeket.

45.4.10. Gyakorlati útmutató: munkafelvétel és árajánlatkészítés

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

45.4.10.1. Cél

Vegyél fel egy javítási megbízást munkalapon, készíts árajánlatot, és dokumentáld az ügyfél hozzájárulását.

45.4.10.2. Szükséges eszközök és anyagok

- Munkalap-sablon (papír vagy elektronikus), toll, számítógép
- Jármű forgalmi engedélye, járműkulcs
- Fényképezőgép vagy okostelefon a sérülések rögzítésére (ha az ügyfél hozzájárul)
- Árkalkulációhoz: munkaóradíj-táblázat, alkatrész-árak (beszerzési lista)
- Áfakalkulátor vagy számológép

45.4.10.3. Munkalépések

1. **Ügyfél fogadása és bemutatkozás.** Köszöntsd az ügyfelet, mutatkozz be a szerepeddel.
2. **Figyelmes meghallgatás.** Kérdezd meg, mi a panasz, mikor jelentkezik, milyen körülmények között. Ismételd vissza, hogy biztos legyél a megértésben.
3. **Jármű azonosítása.** Olvasd le a rendszámot, ellenőrizd a forgalmi engedély adatait, jegyezd fel a VIN-t és a kilométeróra-állást. A VIN-t a jármű adattáblájáról is ellenőrizd, ne csak a forgalmiból.
4. **Külső állapot rögzítése.** Menj körbe a járművön, jelöld a sérüléseket, a karcolásokat a munkalap karosszéria-vázlatán. Jegyezd fel az üzemanyagszintet, a pótkerék meglétét, a felszereltséget.
5. **Hibaleírás pontosítása.** Ha szükséges, kérd meg az ügyfelet, mutassa meg a jelenséget, vagy írja le újra. A szakkifejezést ne erőltesd, az ügyfél szavait rögzítsd.
6. **A megbízás tárgyának meghatározása.** Állapodj meg, hogy diagnosztikát, vizsgálatot vagy konkrét javítást (például olajcsere) kér. Ha a hiba nem ismert, diagnosztikai megbízást vegyél fel.
7. **Vizsgálati díj ismertetése.** Közöld a diagnosztikai díjat és annak feltételeit (például: „Ha a javítást nálunk végezteti, a diagnosztikai díjat beszámítjuk a munkadíjba.” – ezt csak akkor ígérd, ha a műhely valóban így jár el).
8. **Árajánlat készítése, ha a hiba ismert.** Ha már tudod a javítás várható költségét, készíts kalkulációt: munkaórák, alkatrészek, nettó + áfa. Az árajánlatot add át az ügyfélnek, és hagyj időt a döntésre.
9. **Az ügyfél hozzájárulásának rögzítése.** Ha az ügyfél elfogadja az árajánlatot, írasd alá a munkalapot. Ha telefonon/emailben fogadja el, ezt jegyezd fel a munkalapra az időponttal.
10. **Átadás és tájékoztatás.** A munka elvégzése után mutasd be az elvégzett munkát, a lecserélt alkatrészeket, és adj részletes számlát. Hívd fel a figyelmet a jótállási feltételekre és a kapcsolattartási lehetőségre.
11. **Dokumentálás.** Rögzítsd a munkalapot, a javítási jegyzőkönyvet, a diagnosztikai adatokat és a számlát a szerviz ügyviteli rendszerében. A megőrzési időt a számviteli szabályok határozzák meg.

Tipikus hiba a gyakorlatban. Ha a tanuló nem rögzíti az ügyfél szavait idézőjellel, hanem átfogalmazza, a későbbi vita során nem lehet tudni, mi volt az eredeti panasz. Ezért mindig az ügyfél által használt kifejezéseket írjuk le.

45.4.11. Tipikus hibák

Hiba 1: A pótmunka jóváhagyásának elmulasztása. A szerelő a diagnosztika során talál egy repedt féktárcsát, és mivel „úgyis veszélyes lenne visszaadni”, megrendeli és beszereli az ügyfél megkérdezése nélkül. A fogyasztóvédelmi szabályok szerint a vállalkozás nem végezhet olyan munkát, amelyhez az ügyfél nem járult hozzá, és a költséget nem számíthatja fel egyoldalúan.

Helyes gyakorlat: a pótmunkát mindig jóvá kell hagyatni, és ha az ügyfél nem elérhető, a járművet a megbízás szerint készítjük el.

Figyelem. Ha a talált hiba a közlekedésbiztonságot közvetlenül veszélyezteti (pl. repedt féktárcsa, szivárgó fékvezeték, kormány- vagy futóműhiba), a járművet a javítás nélkül csak írásos, az ügyféllel aláíratott figyelmeztetéssel (»a jármű a hiba elhárításáig nem üzemeltethető biztonságosan«) adjuk át, és ezt a munkalapon rögzítjük.

Hiba 2: Az áfa és a nettó keverése. A tanuló a nettó árat közli az ügyféllel, és a számlán derül ki, hogy a végösszeg magasabb. **Helyes gyakorlat:** a fogyasztót mindig bruttó árban tájékoztatjuk, az árajánlaton nettó és bruttó összeget is feltüntetünk.

Hiba 3: A jótállási igény figyelmen kívül hagyása. Az ügyfél visszahozza a járművet, mert a cserélt alkatrész hibás. A szerelő azt mondja: „Az alkatrész gyári hibája, forduljon a gyártóhoz.” Ez rossz. A jótállásért a vállalkozás tartozik helytállni, az ügyfélnek nem kell a gyártót felkeresnie. **Helyes gyakorlat:** a hibás teljesítést a szerviz rendezi, és a beszállítóval szemben érvényesíti a saját igényét.

45.4.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A munkalapon a hibaleírást elegendő a szerelő szavaival rögzíteni, nem szükséges az ügyfél eredeti kifejezéseit idézni. Indokold!
2. Számítás: Egy fékbetétcsere munkaideje 0,9 óra, a műhely nettó óradíja 20 000 Ft (a magánszemély ügyfélnek mindig bruttó árat mondunk, áfa 27%). Mennyi a munkadíj bruttó értéke?
3. Mi a különbség a jótállás és a szavatosság között a szerviz gyakorlatában?
4. Mit kell tenni, ha a javítás során olyan hibát találsz, amely a megbízásban nem szerepelt, és az ügyfél nem elérhető?
5. Milyen adatok kellenek legalább a jármű azonosításához a munkalapon?
6. Miért fontos a pótmunka jóváhagyásának időpontját is rögzíteni?

45.4.13. Az önellenőrzés megoldásai

1. Hamis. A hibaleírást az ügyfél szavaival, idézőjelben kell rögzíteni, mert ez adja a megbízás tartalmát. A szerelő saját megfigyelését külön, a tanácsadói kiegészítés rovatban tüntetjük fel.

2. Számítás. Nettó munkadíj: $0{,}9\,\text{h} \times 20\,000\,\text{Ft/h} = 18\,000\,\text{Ft}$. Bruttó: $18\,000 \times 1{,}27 = 22\,860\,\text{Ft}$. Az eredmény kerekítve 22 860 Ft.

3. Jótállás és szavatosság. A jótállás a vállalkozás által jogszabály vagy önként vállalt szigorúbb helytállás: a hiba esetén akkor is felel, ha a hiba nem tőle származik, feltéve, hogy nem a fogyasztó hibájából keletkezett. A szavatosság a szerződésszerű teljesítéshez kapcsolódik: a fogyasztó kijavítást vagy cserét, stb. kérhet a hibás teljesítésért, de a vállalkozás a teljesítéskor fennálló hibáért felel. A gyártott/javított termékre és a javítási szolgáltatásra is vonatkozhat kötelező jótállás (ellenőrizendő: 249/2004. (VIII. 27.) Korm. rendelet), a szavatossági jogok emellett fennállnak; a határidőket jogszabály rögzíti.

4. Pótmunka ügyfél elérése nélkül. A pótmunkát nem végezzük el, ha az ügyfél nem hagyta jóvá. A járművet a megbízás szerint készítjük el, a talált hibát átadáskor jelezzük, és írásban is rögzítjük az árajánlatot.

5. Járműazonosítás. Legalább a rendszám (hatósági jelzés), az alvázszám (VIN), a forgalmi engedélyben szereplő adatok (típus, motorszám ha van), valamint a kilométeróra-állás. A VIN-t a jármű adattáblájáról is ellenőrizni érdemes.

6. Időpont rögzítése. A pótmunka jóváhagyásának időpontja azért fontos, mert későbbi vita esetén bizonyítja, hogy az ügyfél a munka előtt, és nem utólag hagyta jóvá a költséget. A pontos idő adatvédelmi és polgári jogi szempontból is a nyomon követhetőség része.

45.4.14. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a munkalap kötelező adatait, amelyek a jármű azonosításához és a megbízás tartalmához szükségesek. Indokold, miért fontos a VIN ellenőrzése a járművön.

2. feladat (A). Egy egyszerű olajcsere munkadíja 0,5 munkaóra, a műhely nettó óradíja 18 000 Ft (a számla bruttó összegét kérjük; áfa 27%). Az olaj 5 liter, literenként 5 200 Ft nettó, az olajszűrő 6 800 Ft nettó, a leeresztő csavar tömítése 350 Ft nettó. Számítsd ki a teljes bruttó árat.

3. feladat (B). Készíts rövid, 1 mondatos hibaleírást a munkalapra, ha az ügyfél ezt mondja: „Fékezéskor a kormány rángat, és mintha jobbra húzna az autó. Leginkább 80-ról erős fékezésnél rossz.” Írd be az ügyfél szavait idézőjellel, majd fogalmazd meg a tanácsadói kiegészítést.

4. feladat (B). Egy javítás során a szerelő megállapítja, hogy a jobb első féktárcsa a kopási határ alatt van, és a fékbetétek is cserések. A megbízás csak „első fékbetét-csere” volt. Milyen lépéseket kell tenni a pótmunka jóváhagyására? Írd le a folyamatot számozott lépésekkel.

5. feladat (C). Hasonlítsd össze a szavatossági és jótállási igény érvényesítését egy szervizben, ha az ügyfél azt mondja: „Tegnap cserélték az akkumulátort, ma reggel nem indult az autó.” Milyen kérdéseket tennél fel, és mely jogintézményre hivatkoznál?

6. feladat (D). Egy panasz érkezik: az ügyfél szerint a műhelyben elvégzett légkondicionáló-javítás után a hűtés nem megfelelő, és a klímakompresszor folyamatosan kapcsolgat. Az ügyfél bemutatja a számlát, amelyen 1,2 munkaóra klíma-töltés és kompresszor-ellenőrzés szerepel. Hogyan kezelnéd a panaszt? Írd le a vizsgálat, a kommunikáció és a lehetséges megoldás lépéseit.

45.4.15. A feladatok megoldásai

1. feladat (A). A munkalap kötelező adatai: ügyfél azonosító adatai (név, cím, elérhetőség), jármű rendszáma, VIN-je, típusa, kilométeróra-állása, a hiba leírása, a megbízás tárgya, a vizsgálati díj vagy árajánlat, aláírás és dátum. A VIN ellenőrzése a járművön azért fontos, mert a forgalmi engedélyben szereplő adat eltérhet a jármű valódi alvázszámától (elütés, átalakítás, lopott jármű), és a gyártói javítási adatok is a VIN-ből azonosíthatók pontosan.

2. feladat (A). Nettó munkadíj: $0{,}5\,\text{h} \times 18\,000\,\text{Ft/h} = 9\,000\,\text{Ft}$. Nettó anyagköltség: $5\,\text{l} \times 5\,200\,\text{Ft/l} = 26\,000\,\text{Ft}$; plusz olajszűrő 6 800 Ft, plusz tömítés 350 Ft; anyag összesen $26\,000 + 6\,800 + 350 = 33\,150\,\text{Ft}$. Nettó összesen: $9\,000 + 33\,150 = 42\,150\,\text{Ft}$. Bruttó: $42\,150 \times 1{,}27 = 53\,530{,}5\,\text{Ft}$, kerekítve 53 531 Ft. **Ellenőrzés:** a munkadíj kb. 21%-a a teljes nettó összegnek, az anyagköltség a nagyobb tétel, ez reális egy olajcserénél.

3. feladat (B). Hibaleírás: „Ügyfél szerint: ‘Fékezéskor a kormány rángat, és mintha jobbra húzna az autó. Leginkább 80-ról erős fékezésnél rossz.’ Tanácsadói kiegészítés: az ügyfél szerint normál fékezésnél enyhébb, 80 km/h feletti erős fékezésnél kifejezett. A jelenség a kormányon érezhető, jobbra húzó tendenciával. Javasolt fék- és futómű-vizsgálat, különös tekintettel a féktárcsa oldalütésére és a féknyereg vezetésére.”

4. feladat (B). Pótmunka jóváhagyásának folyamata: 1. A szerelő észleli, hogy a féktárcsa és a betétek a kopási határ alatt vannak. 2. A tanácsadó értesíti az ügyfelet telefonon vagy e-mailben,

ismerteti a hibát és a javasolt javítást, valamint a várható költséget. 3. Az ügyfél szóban vagy írásban jóváhagyja a pótmunkát, vagy kér további időt. 4. A jóváhagyás tényét rögzítjük a munkalapon: dátum, idő, a jóváhagyó személy neve, a jóváhagyás módja (telefon/e-mail). 5. Ha az ügyfél nem elérhető, a pótmunkát nem végezzük el, hanem a megbízás szerint járunk el; közlekedésbiztonságot veszélyeztető hibánál (pl. repedt féktárcsa) a járművet írásos, az ügyféllel aláíratott figyelmeztetéssel adjuk át, és ezt a munkalapon rögzítjük. 6. A pótmunka elvégzése után a végösszeget módosítjuk, és az ügyfél a számlát a jóváhagyott pótmunkával együtt kapja.

5. feladat (C). Az ügyfél panasza: „Tegnap cserélték az akkumulátort, ma reggel nem indult.” Először tisztázandó, hogy a jármű az akkumulátorcsere után nem indult el, vagy a csere előtt is fennállt a hiba. Kérdések: „Indult-e az autó a csere után? A hibajelző lámpák világítanak-e? Az indítómotor forgat-e? Milyen a feszültség az akkumulátoron?” Ha a hiba a beépített akkumulátorra vezethető vissza, akkor az új termék hibája miatt a jótállás az irányadó, mert az alkatrészre a vállalkozás jótállással tartozik. Ha a hiba a szerelésből fakad (például nem húzták meg a sarukat), akkor a szolgáltatás hibás teljesítése miatt kellékszavatossági igény lép fel. A gyakorlatban a szerviz mindkét esetben a saját költségére javítja a hibát, ha a hiba a teljesítésből vagy a termékből ered, és nem az ügyfél hibás használatából.

6. feladat (D). Panaszkezelés lépései: 1. A panaszt türelemmel meghallgatjuk, és jegyzőkönyvbe vesszük az ügyfél adatait, a panasz tárgyát, a dokumentumokat (számla). 2. Ellenőrizzük a korábbi munkalapot és a számlát: mi volt a megbízás (klíma-töltés, kompresszor-ellenőrzés), milyen méréseket végeztek. 3. A járművet berendeljük diagnosztikára. Ellenőrizzük a klímaköri nyomásokat, a hűtőközeg mennyiségét, a kompresszor kapcsolási ciklusát, a szivárgást. 4. Ha a hiba a korábbi javításból fakad (például tömítés, nem megfelelő töltés), akkor a szerviz saját költségére kijavítja, és jegyzőkönyvet készít. 5. Ha a hiba új, a megbízással nem összefüggő hiba (például a kompresszor mechanikai kopása), ezt mérésekkel igazoljuk, és az ügyfélnek árajánlatot adunk a javításra. 6. A panasz kivizsgálásának eredményéről írásbeli tájékoztatást adunk, és ha az ügyfél nem fogadja el, tájékoztatjuk a békéltető testülethez fordulás lehetőségéről. 7. Az egész folyamatot a panaszkezelési szabályzatnak megfelelően, határidőn belül dokumentáljuk.

45.4.16. Rövid összefoglaló

Az ügyfélkapcsolat a szervizben jogilag és szakmailag is a minőség része. A munkafelvétel során az ügyfél szavait pontosan, idézőjellel rögzítjük, a járművet a VIN és a kilométeróra-állás alapján azonosítjuk, és a külső sérüléseket dokumentáljuk. A munkalap és az árajánlat együtt adja a megbízás tartalmát: a hibaleírás, a vizsgálati díj, a munkaóra- és alkatrész-kalkuláció nettó + áfa bontásban, valamint az ügyfél aláírása. A pótmunkát mindig jóvá kell hagyatni a munka elvégzése előtt, és a jóváhagyás időpontját is rögzíteni kell. A fogyasztóvédelmi szabályok értelmében a fogyasztót megillető jogok a hibás teljesítés esetén a kijavítás, kicserélés, árleszállítás vagy elállás; a javítási szolgáltatásra a rendeletben meghatározott feltételek mellett kötelező jótállás (ellenőrizendő: 249/2004. (VIII. 27.) Korm. rendelet), emellett a szavatossági jogok is fennállnak. A panaszkezelés jegyzőkönyvvezetéssel, érdemi válasszal és a békéltető testülethez fordulás lehetőségével zárul. Az adatvédelmi szabályokat a GDPR és a hazai törvény határozza meg. **Továbbvitt eredmény.** A munkalap és az árajánlat dokumentációs fegyelmét és a vizsgálati lépések nyomon követhetőségét az Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok alfejezetben használjuk fel, ahol a komplex szervizfeladatok dokumentációs részét ezzel a módszerrel kell elkészíteni.

45.4.17. Források és ellenőrzési hiányok

- A fogyasztóvédelemmel kapcsolatos hazai jogszabályok: a fogyasztóvédelemről szóló törvény, a Polgári Törvénykönyv szavatossági és jótállási szabályai, az árfeltüntetésre vonatkozó rendeletek (ellenőrizendő: pontos jogszabályszámok, hatályos módosítások, határidők).
- Az Európai Unió fogyasztóvédelmi irányelvei (ellenőrizendő: az áruk és szolgáltatások értékesítésére vonatkozó irányelvek pontos megnevezése, pl. (EU) 2019/771 az áruk adásvételére, (EU) 2019/770 a digitális tartalomra – ellenőrizendő, hogy a szolgáltatásra melyik alkalmazandó).
- A békéltető testületre vonatkozó szabályozás (ellenőrizendő: a hatályos fogyasztóvédelmi törvény idevágó részei és a békéltető testület eljárási szabályai).
- A GDPR (az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2016/679 rendelete) és a hazai adatvédelmi törvény (ellenőrizendő: az Infotv. aktuális megnevezése és tartalma).
- A szerviz ügyviteli és panaszkezelési szabályzata (ellenőrizendő: a konkrét műhely belső szabályzata, munkaóradíjak, alkatrész-árak, adatkezelési tájékoztató szövege).
- Az áfa-mértékek és a számlázási szabályok (ellenőrizendő: az általános forgalmi adóról szóló törvény mindenkori hatályos szövege).

46 Vizsgafelkészülés

46.1. Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok

46.1.1. Motiváció

Képzeld el, hogy leülsz az írásbeli vizsgára, megnyitod a feladatsort, és egy olyan számítási példát látsz, amelyben egy 1,8 literes motor nyomatékából kell teljesítményt számolnod. A képletet ismered, de a mértékegységeket elkapkodod: a köbcentimétert nem váltod köbméterre, a fordulatszámot nem váltod szögsebességre, és olyan eredmény jön ki, amelyet fizikai érzékkel azonnal el kellene vetned. A vizsgán nem az a kérdés, hogy hallottál-e a képletről, hanem az, hogy nyomás alatt is következetesen végig tudod-e vinni a számolást. Ez a fejezet arra készít fel, hogy a teljes tananyagot vizsgatémák szerint lásd, és a jellemző írásbeli, illetve szóbeli feladattípusokat begyakorold.

46.1.2. A vizsga szerkezete és értékelése

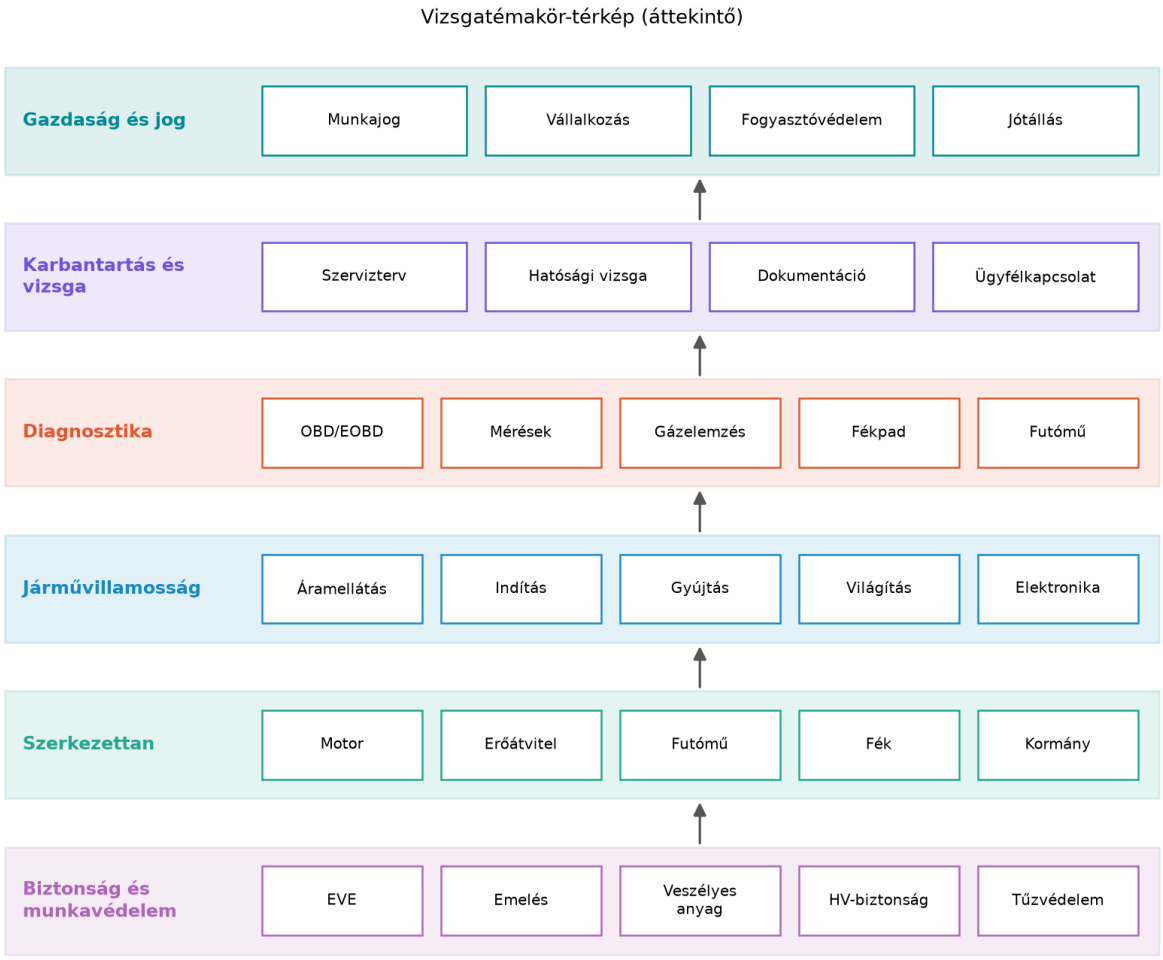
A szakmai vizsga szerkezetét a hatályos vizsgaleírás határozza meg. A korábbi, OKJ 54 525 02 szerinti autószerelő képzést felváltotta a Szakképzés 4.0 szerinti szakmajegyzék, ezért a pontos megnevezést, a vizsgarészeket és a pontozást mindig az aktuális vizsgaleírásban kell ellenőrizni (ellenőrizendő: hatályos szakmajegyzék és vizsgaleírás).

Előírás. A szakmai vizsga jellemzően írásbeli, szóbeli és gyakorlati vizsgarészből áll; az egyes részek időtartamát, a használható segédeszközöket, a pontozást és a vizsgára bocsátás feltételeit a vizsgaleírás tartalmazza (ellenőrizendő: aktuális vizsgaleírás). A vizsgán a gyártói javítási adatokat nem kell fejből tudnod, de a képleteket, a mértékegység-átváltásokat, a szerkezetek működését és a biztonsági szabályokat igen.

A gyakorlati vizsgán a munkavédelmi szabályok megszegése, a biztonsági rendszerek kiiktatása vagy a gyártói előírás figyelmen kívül hagyása nemcsak pontlevonással jár, hanem kizáró ok is lehet. A HV-rendszeren csak arra jogosult, kiképzett személy dolgozhat.

46.1.3. Témakör-térkép

A vizsgára készülés első lépése, hogy a tananyagot ne fejezetszámok, hanem vizsgatémák szerint rendszerezd. Az alábbi rétegábra a szakmai vizsga fő témaköreit mutatja.



46.1. ábra. Vizsgatémakör-térkép (áttekintő) - A szakmai vizsga fő témakörei a könyv részeihez rendelve; tanulási térkép, nem hatósági tételsor. Az alsó réteg az alap, a nyíl felfelé az egymásra épülést jelzi.

A legalsó réteget alkotja a biztonság és munkavédelem: ebből bármelyik szerkezettani vagy villamossági tételnél be kell mutatnod, hogyan kerülöd el a sérülést, a környezetszennyezést és a tűzveszélyt. A középső rétegek a szakmai mag: szerkezettan és villamosság, majd ezekre épül a diagnosztika. A felső réteg a karbantartás, a hatósági vizsga, az ügyfélkapcsolat és a vállalkozási ismeretek. A szóbeli tétel akkor jó, ha ezt a vertikumot használja: a szerkezet mellett elmondja, hogyan ellenőrzöd, hogyan javítod, és milyen jogszabályi vagy biztonsági követelmény vonatkozik rá.

Továbbvitt eredmény. Ez a vizsgatémák szerinti rendszerezés közvetlenül megalapozza a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetet, ahol már nem különálló kérdéseket, hanem összetett tüneteket és munkaszituációkat kell megoldanod.

46.1.4. Mintafeladat-katalógus

Az írásbeli vizsgán visszatérő számítási témák az alábbiak. A képleteket a könyv korábbi fejezetei már levezették; itt a cél a gyors, hibátlan felidézés.

Téma	Kulcsképlet	Tipikus egység	Figyelmeztetés
Motorjellemzők	$V_H = i \cdot \frac{\pi}{4} D^2 s$; $P_e = M\omega$; $\omega = \frac{2\pi n}{60}$	cm³, l, Nm, kW	A furat/löket átszámítása m-re; n helyett ω-t használj.
Menetellenállás	$F_g = f \cdot G$; $F_l = \frac{1}{2}\rho c_W A v^2$; $P = (F_g + F_l)v$	N, kW	A sebességet m/s-ban kell beírni, a tömegből a súlyerőt ($G = m \cdot g$, N) kell képezni.
Áttétel	$i = \frac{n_{be}}{n_{ki}} = \frac{z_2}{z_1}$	–, 1/min	Több fokozat áttétele összeszorzódik: $i_{ö} = i_s \cdot i_0$.
Fékút	$a = z \cdot g$; $s = \frac{v^2}{2a}$; $s_{teljes} = v \cdot t_r + s$	m, m/s²	A reakcióidő alatt megtett utat külön számold.
Ohm törvénye	$U = I \cdot R$; $P = U \cdot I$	V, A, Ω, W	Soros/párhuzamos kapcsolásnál az ellenállást előbb rendszerezd.
Akkumulátor	$Q = I \cdot t$; $\mathrm{SoC} = \frac{Q_{\text{töltés}}}{Q_{\text{névleges}}} \cdot 100\%$	Ah, %, A	A kapacitás Ah, a töltés Ah; az áram A, az idő h.
Gázelemzés	$\lambda = \frac{\text{mért levegő}}{\text{elméleti levegő}}$; CO, HC, CO_2	%, ppm, λ	A határértékek járműfüggők; a λ=1 nem mindig „jó”.

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: hatályos vizsgakövetelmény, gyártói adat).

46.1.5. Kidolgozott példák

Példa 1: motorjellemzők írásbeli feladatra.
Adott: négyhengerű, négyütemű Otto-motor; furat $D = 80\,\mathrm{mm}$, löket $s = 90\,\mathrm{mm}$, fordulatszám $n = 4000\,1/\mathrm{min}$, nyomaték $M = 180\,\mathrm{Nm}$.
Keresett: egy henger lökettérfogata V_h, a teljes lökettérfogat V_H, és az effektív teljesítmény P_e.
Megoldás: először a mértékegységeket váltjuk: $D = 0{,}08\,\mathrm{m}$, $s = 0{,}09\,\mathrm{m}$.

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 s = \frac{\pi}{4}(0{,}08\,\mathrm{m})^2 \cdot 0{,}09\,\mathrm{m} = 4{,}52 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^3 = 452\,\mathrm{cm}^3.$$

$$V_H = i \cdot V_h = 4 \cdot 452\,\mathrm{cm}^3 = 1808\,\mathrm{cm}^3 \approx 1{,}8\,\mathrm{l}.$$

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 4000}{60} = 418{,}9\,1/\mathrm{s}.$$

A teljesítmény:

$$P_e = M \cdot \omega = 180\,\mathrm{Nm} \cdot 418{,}9\,1/\mathrm{s} = 75{,}4\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: egy 1,8 literes szívó benzinmotor 4000 1/min-en 180 Nm nyomatékkal 75 kW teljesítményt ad; ez reális nagyságrend.

Példa 2: fékút írásbeli feladatra.
Adott: $v = 90\,\text{km/h}$, $z = 0{,}8$, reakcióidő $t_r = 1{,}0\,\text{s}$.
Keresett: a tisztán fékezési út és a teljes megállási út.
Megoldás: először m/s-ra váltunk:

$$v = \frac{90}{3{,}6} = 25{,}0\,\text{m/s}.$$

A lassulás:

$$a = z \cdot g = 0{,}8 \cdot 9{,}81 = 7{,}85\,\text{m/s}^2.$$

A fékezési út:

$$s_f = \frac{v^2}{2a} = \frac{25{,}0^2}{2 \cdot 7{,}85} = \frac{625}{15{,}7} = 39{,}8\,\text{m}.$$

A reakcióút:

$$s_r = v \cdot t_r = 25{,}0 \cdot 1{,}0 = 25{,}0\,\text{m}.$$

A teljes megállási út:

$$s_{teljes} = 39{,}8 + 25{,}0 = 64{,}8\,\text{m}.$$

Ellenőrzés: száraz aszfalton, jó tapadással 90 km/h-ról a 65 m körüli megállási út reális; vizes úton a fékhatás kisebb, ezért az út hosszabb.

46.1.6. A szóbeli tétel felépítése

A szóbeli tétel a vizsgán nem önálló definíciók felsorolása, hanem egy szerkezet vagy rendszer bemutatása a teljes javítási lánc mentén. Használd mindig a következő receptet.

Recept: szóbeli tétel felépítése.

1. **Nevezd meg a szerkezetet és a feladatát.** Például: „A generátor a fedélzeti fogyasztók energiaellátását és az akkumulátor töltését biztosítja.”
2. **Vázold a felépítését.** Sorold a fő részeket: hajtószíj, rotor, állórész, egyenirányító, feszültségszabályozó, B+ és D+ kapcsok.
3. **Mondd el a működését.** A mágneses tér forgatása feszültséget indukál, az egyenirányító egyenfeszültséget állít elő, a feszültségszabályozó a gerjesztőáramot szabályozza.
4. **Térj ki a jellemző hibákra.** Laza szíj, kopott szénkefe, hibás dióda, szabályozó, B+ vezeték feszültségesése.
5. **Mutasd be a vizsgálatot.** Multiméterrel mérd az alapjárati és terhelt feszültséget a B+ és a test között, majd ellenőrizd a feszültségesést a B+ vezetéken.
6. **Ismertesd a javítást és az ellenőrzést.** Szíjcsere, generátorcsere, vezetékjavítás, próbaút, töltésjelző lámpa ellenőrzése.

7. **Zárd a biztonsággal és a környezetvédelemmel.** A generátorcsere előtt le kell kötni az akkumulátort; a hulladékot szelektíven kell kezelni.

Ezt a sablont alkalmazd a fékszerkezetre, a motorirányításra, a futóműre és a HV-rendszerre is. A vizsgáztató gyakran úgy tesz fel kiegészítő kérdést, hogy a mérési eljárásból kérdez vissza, ezért a 4–6. lépést ne hagyd ki.

46.1.7. Minőségellenőrzés

A felkészülés minőségét mérhetővé kell tenni. Írj magadnak ellenőrzőlistát:

- **Elméleti tételek:** minden fenti témakörből legalább egy tételt el tudsz mondani a 7 lépéses szerkezetben.
- **Számítások:** minden mintafeladat-típushoz egy-egy saját számot behelyettesítve, 5 percen belül hibátlanul megoldasz.
- **Mértékegységek:** minden számítás végén ellenőrzöd, hogy a kapott mértékegység a várt mennyiségé.
- **Rajzolvasás:** egy kapcsolási rajzon felismered a `30`, `15`, `31`, `50`, `D+`, `B+`, `58` kapcsokat, és el tudod mondani, mi működik, ha a gyújtáskapcsoló zár.
- **Hatósági kérdések:** fel tudod sorolni a műszaki vizsga fő ellenőrzési pontjait és a vizsga előtti felkészítés lépéseit.

46.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy vizsgázó a szóbeli tétel során a generátor töltőkörét kapja. A 7 lépéses sablon szerint elmondja a szerkezetet, a működést és a hibákat. A vizsgáztató ezután megkérdezi: „Mit mérnél, ha a töltésjelző lámpa halványan világít?” A jelölt felidézi a feszültségesés-mérést: a multimétert egyenáramra kapcsolja, a pozitív mérőzsinórt a generátor B+ kapcsára, a negatívot az akkumulátor pozitív sarujára köti, majd terhelés alatt méri. Ha a feszültségesés például 0,8 V, akkor a B+ vezeték vagy a csatlakozó hibás. Ez a válasz azért erős, mert nemcsak a hiba nevét mondja, hanem a mérés konkrét módját és a példaértéket is. A vizsgán ez különbözteti meg a magoló jelöltet a gondolkodó szerelőtől.

46.1.9. Tipikus hibák

1. Hiba: a km/h-t elfelejtik m/s-ra váltani a fékút- vagy menetellenállás-számításnál. Ha a sebességet 90 km/h értékkel írod be a fékképletbe, a fékezési út irreálisan nagy lesz, mert a képlet mértékegysége m/s. **Helyes gyakorlat:** mindig először váltsd át: $v_{\mathrm{m/s}} = v_{\mathrm{km/h}}/3{,}6$.

2. Hiba: az effektív és az indikált teljesítményt összekeverik.
A vizsgán az adott nyomatékból általában a effektív teljesítményt kell számolni, mert a nyomatékot a főtengelyen mérik. Az indikált középnyomás vagy az indikált teljesítmény a belső folyamatokra vonatkozik. **Helyes gyakorlat:** ha a feladat nyomatékot ad, akkor $P_e = M\omega$; ha indikált adatot ad, akkor a mechanikai hatásfokkal kell átszámolni.

3. Hiba: a szóbelin csak a szerkezetet mondják el, a hibát és a mérést kihagyják.
A vizsgáztató értékelni fogja, ha a szerkezet bemutatása után elmondod, mi romlik el, és hogyan méred. **Helyes gyakorlat:** minden tételt a 7 lépéses sablonnal dolgozz fel, és gyakorolj hangosan.

46.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A fékezési út a sebességgel egyenesen arányos. Indokold.
2. Egy gázelemzés eredménye: $\lambda = 1{,}05$, CO = 0,1%, HC = 60 ppm. Mit jelent ez?
3. Egy kapcsolási rajzon mit jelöl a `31` kapocs?
4. Melyik képlettel számítod ki az áttételt, ha a bemenő fordulatszám 3000 1/min és a kimenő 1000 1/min?
5. Hogyan ellenőrzöd a HV-rendszer feszültségmentességét a gyakorlati vizsgán? (Csak a feszültségmentesítés utáni mérést nevezd meg, ne dolgozz feszültség alatt.)

A válaszok a `### Megoldások` elején találhatók.

46.1.11. Feladatok

1. feladat (A)
Egy négyhengerű, négyütemű motor furata $D = 84\,\text{mm}$, lökete $s = 90\,\text{mm}$. Számítsd ki a teljes lökettérfogatot literben.

2. feladat (A)
Egy sebességváltó fogaskerékpárja $z_1 = 25$, $z_2 = 75$. Mekkora az áttétel? Mekkora a kimenő fordulatszám, ha a bemenő 3000 1/min?

3. feladat (B)
Számítsd ki a jármű menetellenállási teljesítményét: $m = 1600\,\text{kg}$, $f = 0{,}012$, $v = 130\,\text{km/h}$, $c_W = 0{,}30$, $A = 2{,}2\,\text{m}^2$, $\rho = 1{,}2\,\text{kg/m}^3$.

4. feladat (B)
Egy 12 V-os indítóakkumulátor névleges kapacitása 70 Ah.
a) Mennyi töltést tud leadni ideális esetben?
b) Hány óráig üzemeltet egy 4 A-t felvevő fogyasztót?
c) Mekkora a fogyasztó teljesítménye?

5. feladat (C)
A fékpadon az első tengely fékereje 6200 N, a hátsóé 3100 N, a jármű súlya $G = 14\,000\,\text{N}$. Számítsd ki az üzemi fékhatást, és vesd össze a hatályos határértékkel (tanulási példa: 50%; ellenőrizendő). Milyen további mérést kell elvégezni a teljes minősítéshez?

6. feladat (D)
Egy benzinmotor hidegen nehezen indul, melegen jól jár. A műszeres mérés szerint a hűtőfolyadék-hőmérséklet-jeladó ellenállása 20 °C-os hideg motornál 0,9 kΩ, a lambda-szonda jele meleg járásnál 0,1–0,9 V között váltakozik. A gyártói adat szerint a hőmérséklet-jeladó 20 °C-on 2,5 kΩ, 80 °C-on 0,3 kΩ ellenállású. Mi a gyanús alkatrész? Indokold a mérési adatokkal.

46.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A fékezési út a sebesség négyzetével arányos: $s = v^2/(2a)$. Ha kétszeres a sebesség, négyszeres a fékút.
2. A $\lambda = 1{,}05$ enyhén szegény keveréket jelent; a CO alacsony, a HC mérsékelt. Ez katalizátoros motornál elfogadható lehet, de a pontos határértékeket a járműspecifikus adatok alapján kell ellenőrizni (ellenőrizendő: hatályos emissziós határérték).
3. A `31` a testkapocs, azaz a negatív pólus vagy a járműtest galvanikus kapcsolata.

4. $i = n_{be}/n_{ki} = 3000/1000 = 3$, lassító áttétel.
5. A HV-rendszeren csak jogosult személy dolgozhat. A feszültségmentesítés után CAT III műszerrel, előtte–utána ellenőrizve, minden pólus között és pólus–test között feszültségmentességet kell mérni, dokumentálva.

1. feladat megoldása
Átszámítás: $D = 0{,}084\,\mathrm{m}$, $s = 0{,}09\,\mathrm{m}$.
Egy henger térfogata:

$$V_h = \frac{\pi}{4}(0{,}084)^2 \cdot 0{,}09 = 4{,}99 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^3 = 499\,\mathrm{cm}^3.$$

Teljes lökettérfogat:

$$V_H = 4 \cdot 499 = 1996\,\mathrm{cm}^3 \approx 2{,}0\,\mathrm{l}.$$

2. feladat megoldása
Az áttétel:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{75}{25} = 3.$$

A kimenő fordulatszám:

$$n_{ki} = \frac{n_{be}}{i} = \frac{3000}{3} = 1000\,1/\mathrm{min}.$$

3. feladat megoldása
Sebesség m/s-ban:

$$v = \frac{130}{3{,}6} = 36{,}1\,\mathrm{m/s}.$$

Gördülési ellenállás:

$$F_g = f \cdot G = f \cdot m \cdot g = 0{,}012 \cdot 1600 \cdot 9{,}81 = 188\,\mathrm{N}.$$

Légellenállás:

$$F_l = \frac{1}{2}\rho c_W A v^2 = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}3 \cdot 2{,}2 \cdot 36{,}1^2 = 516\,\mathrm{N}.$$

Összes menetellenállás:

$$F_{\ddot{o}} = 188 + 516 = 704\,\mathrm{N}.$$

Teljesítmény:

$$P = F_{\ddot{o}} \cdot v = 704 \cdot 36{,}1 = 25{,}4\,\mathrm{kW}.$$

4. feladat megoldása
a) A töltés:

$$Q = C = 70\,\text{Ah}.$$

b) Az üzemidő:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{70}{4} = 17{,}5\,\text{h}.$$

c) A teljesítmény:

$$P = U \cdot I = 12 \cdot 4 = 48\,\text{W}.$$

5. feladat megoldása
A fékhatás:

$$z = \frac{F_{f,\text{össz}}}{G} \cdot 100\% = \frac{6200 + 3100}{14\,000} \cdot 100\% = \frac{9300}{14\,000} \cdot 100\% \approx 66{,}4\%.$$

A fékhatás a jármű összes fékerejének és súlyának hányadosa (nem egyetlen tengelyé). Ez meghaladja a tanulási példa 50%-os határértékét (ellenőrizendő), tehát a hatásosság teljesül. A teljes minősítéshez azonban ellenőrizni kell a kerékfékerő-eltérést és az erőingadozást is, mert ezek a fékerő nagyságától függetlenül is balesetveszélyt okozhatnak (ellenőrizendő: hatályos vizsgálati határértékek).

6. feladat megoldása
A hűtőfolyadék-hőmérséklet-jeladó gyanús. 20 °C-on a jeladónak 2,5 kΩ-ot kellene mutatnia; a mért 0,9 kΩ kb. 45–50 °C-nak felel meg (ellenőrizendő: jelleggörbe). Mivel az NTC-jeladó ellenállása melegítéskor csökken, az ECU melegnek látja a hideg motort, nem ad hidegindítási dúsítást – a keverék szegény, a motor nehezen indul. A lambda-szonda váltakozó jele meleg motornál normális, tehát az üzemanyag-szabályozás alapvetően működik. A javítás: a hőmérséklet-jeladó ellenőrzése a gyártói jelleggörbével, majd csere, hibakód-törlés és hideg próbaindítás.

46.1.13. Rövid összefoglaló

A szakmai vizsgára készüléskor a tananyagot vizsgatémák szerint kell rendszerezni: biztonság és munkavédelem, szerkezettan, járművillamosság, diagnosztika, karbantartás és hatósági vizsga, gazdaság és jog. Az írásbeli feladatokban a motorjellemzők, menetellenállás, áttétel, fékút, Ohm-törvény, akkumulátor és gázelemzés számításai jellemzőek. Minden számításnál először a mértékegységeket kell rendezni: a km/h-t m/s-ra, a cm-t m-re, a fordulatszámot szögsebességre váltani. A szóbeli tétel erős, ha a szerkezet–működés–hiba–vizsgálat–javítás láncot követi, és a biztonsági, valamint környezetvédelmi szabályokkal zárul. A hatályos vizsgaleírás és a jogszabályok mindig elsőbbséget élveznek. **Továbbvitt eredmény.** Az itt felépített vizsgatémák rendszere a Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok alfejezetben a gyakorlati vizsgafeladatok megoldásának keretét adja.

46.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: hatályos szakképzési jogszabályok és vizsgaleírások (IKK), a szakmai vizsga hivatalos útmutatói, a könyv korábbi fejezetei (motorjellemzők, menetdinamika, fék, elektrotechnika, akkumulátor, gázelemzés), valamint a gyártói javítási adatok és diagnosztikai eljárások.

Ellenőrizendő állítások: a szakmai vizsga pontos részei, időtartama, pontozása és a vizsgára bocsátás feltételei; a szakma pontos megnevezése a hatályos szakmajegyzékben; az írásbeli és szóbeli tételek aktuális listája; a gázelemzési és fékhatás-határértékek; a kidolgozott példákban szereplő fékhatás és hőmérséklet-jeladó értékek gyártói adatokként ellenőrizendők.

46.2. Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok

A gyakorlati vizsga az a pillanat, amikor nem elég tudni, hogyan kellene egy alkatrészt kicserélni: a vizsgaértékelés azt nézi, hogy a jelölt egy zavaros, több rendszert érintő hibát szisztematikusan, biztonságosan és dokumentálva old-e meg. Az alábbi fejezet ezért nem új szerkezeteket tanít, hanem a korábban tanult diagnosztikai és szerelési lépéseket kapcsolja össze egyetlen, időre végzett vizsgafeladatban.

46.2.1. Motiváció

Egy gyakorlati vizsgán például ilyen feladatot kapsz: „A jármű nem indul, az indítómotor forgat, de a motor nem fut. Vizsgálja meg, azonosítsa a hibát, javítsa ki, és dokumentálja a munkát.” A felügyelő nem azt várja, hogy azonnal kicseréld a legdrágább alkatrészt, hanem azt, hogy a tanult hibakeresési lánc mentén haladj: rögzítsd a tünetet, állíts fel hipotéziseket, mérj, szűkítsd a hiba helyét, javíts, és ellenőrizd. Ugyanez igaz egy szerelési feladatra: nem a sebesség a legfontosabb, hanem a gyártói előírás, a biztonság, a környezetvédelem és a munkalap pontossága.

Szemléletes kép. Képzeld el a vizsgahelyszínt. A vizsgaautó elöl emelőbakokon áll, a kerekeit kitámasztották, az akkumulátor negatív pólusa le van kötve. A szerelőkocsin a csavarok rendezett mágneses tálcán, a vizsgabiztos a távolból figyel. A kezedben lévő munkalapon szerepel a jármű azonosítója, a tünet, a mért értékek rovata és a javítási lépések sora. Az időmérő fut. Ez a kép mutatja, miért kell a hibakeresést előre begyakorolni, és miért számít minden dokumentált adat.

46.2.2. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Komplex hibakeresés. A komplex hibakeresés olyan vizsgálati folyamat, amelyben a hiba tünete egyszerre több járműrendszerre is utalhat, és a megoldáshoz a tünet, a lehetséges okok, a mérések, a szerelés és az ellenőrzés egymásba kapcsolódó láncát kell végig járni. Nem egyetlen műveletről van szó, hanem több rendszer vizsgálatáról, amelyek közül a mérési eredmények választják ki a valódi okot.

Definíció. Vizsga-munkalap. A vizsga-munkalap az a dokumentum, amelyre a jelölt a tünetet, a diagnosztikai hipotéziseket, a mért értékeket, a javítási lépéseket és az ellenőrzés eredményét jegyzi fel. A pontozás egyik fő eleme, hogy a munkalapból harmadik személy számára is visszakövethető legyen a gondolatmenet.

Definíció. Időre végzett szerelési feladat. Olyan szerelési munkafeladat, amelynél a vizsga a szakszerűséget, a biztonságos munkavégzést, a gyártói előírás betartását és a dokumentálást értékeli, nem kizárólag a meglévő időkeretet. Az időtartam arra kényszeríti a jelöltet, hogy előre felépített munkalépésekkel dolgozzon, ne próbálgasson.

46.2.3. A gyakorlati vizsga felépítése és a pontozási szempontok

A gyakorlati vizsga a hatályos vizsgaszabályzat szerint általában két fő részből áll **(ellenőrizendő: a hatályos vizsgaszerkezet és a vizsgakövetelmények)**, de a vizsgaszervező a két részt össze is kapcsolhatja:

1. **Hibakeresési feladat** – a jelölt egy előre beépített vagy valós hibát azonosít, megméri a hibát, majd javít, vagy ha a hiba nem javítható a vizsgaidő alatt, pontos diagnózist és javítási javaslatot ad.
2. **Szerelési feladat** – a jelölt egy meghatározott szerelési műveletet végez el (például fékbetétcsere, vezérműszíj-csere, futómű-alkatrész csere, generátorcsere), majd ellenőrzi és dokumentálja a végeredményt.

A vizsgabiztos jellemzően az alábbi kategóriákban pontoz **(ellenőrizendő: a konkrét ponttáblázat és súlyozás)**:

- munkavédelem és biztonság: jármű alátámasztása, védőfelszerelés, gyújtás kikapcsolása, akkumulátorlekötés, forgó részek;
- diagnosztikai lánc: a tünet rögzítése, a hipotézisek felsorolása, a mérések elvégzése és a helyes mérőműszer-választás;
- a hiba pontos behatárolása: a mért értékek és a gyártói adatok összehasonlítása;
- szerelési minőség: a csavarok meghúzási nyomatéka, a kopási értékek figyelembevétele, a beállítások;
- környezetvédelem: a keletkezett hulladék gyűjtése, a folyadékok kezelése;
- dokumentálás: a mért értékek, a javítás, a felhasznált anyagok és az ellenőrzés bejegyzése;
- kommunikáció: a vizsgabiztos érti-e, amit a jelölt csinál, és a verbális magyarázat szakmailag helyes-e.

46.2.4. Hibakeresési esetek kidolgozva

Az alábbi hat tipikus vizsgaeset a teljes tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás láncot gyakoroltatja. A `fault` típusú kidolgozásokat mindegyiknél mérési értékekkel, lehetséges okokkal és ellenőrzéssel mutatjuk be.

46.2.4.1. 1. eset: Nem indul – az indítómotor forgat, a motor nem fut

Tünet. A kulcs elfordításakor az indítómotor pörgeti a motort, de az nem indul be, vagy beindul, de azonnal leáll. Az akkumulátor feszültsége indítás közben nem esik le túlzottan (például 10,5 V felett marad). A kipufogóból nincs jellegzetes szaga, vagy éppen erős benzin szaga érezhető.

Hipotézisek. Lehetséges okok csökkenő valószínűség szerint: nincs szikra (gyújtás), nincs tüzelőanyag-befecskendezés, nincs üzemanyagnyomás (relé, szivattyú, biztosíték, szűrő), a vezérmű fogasszíj elszakadt vagy megugrik, a motorvezérlő relé hibás, a főrelé nem kap vezérlést, az immobilizer nem engedélyez, a fordulatszám-jel hiányzik.

Mérési sorrend. Először a gyújtás rendszerét vizsgáljuk. Szikravizsgálóval (állítható szikraközös vagy induktív tesztlámpával) ellenőrizzük a szikrát indítóztatás közben; előtte a befecskendezést a gyártó szerint letiltjuk (pl. a befecskendező csatlakozójának bontásával), hogy benzin ne jusson a hengerbe és a katalizátorba. **Tilos** a gyújtókábelt kézben vagy szerszámmal a testhez tartva próbálni (20–40 kV, áramütés- és tűzveszély). Ha nincs szikra, a gyújtásmodul, a főtengely-jeladó, a relé és a tápfeszültség kerül sorra. Ha van szikra, a benzinnyomást mérjük meg a gyártói tesztcsatlakozón, a gyújtás be-, majd az indítómotor működtetése közben. Ha benzinnyomás van, a befecskendező szelepek vezérlését vizsgáljuk Noid-lámpával vagy oszcilloszkóppal.

Példa mérési értékre. Egy benzines vizsgaautón az üzemanyagnyomás indítás közben 1,2 bar, a gyártói előírás viszont 3,0–3,5 bar. A 12 V-os biztosíték jó. A relé cseréje után a nyomás 3,2 bar. Az ok: a tüzelőanyag-szivattyú relé kontaktusa szennyezett; a relé cseréje után a motor indul. **Ellenőrzés.** A motor bemelegítése után a lambdaszonda és a fordulatszám jel élő adata megmarad, a MIL nem világít, a readiness-kódok beállnak.

46.2.4.2. 2. eset: Egyenetlen alapjárat

Tünet. A motor alapjáraton rángat, a fordulatszám ingadozik, esetleg a MIL is világít. A jármű terhelés alatt elfogadhatóan gyorsít, de alapjáraton „döcög”.

Hipotézisek. Vákuum-szivárgás a szívócsőben, hibás fojtószelep-helyzet jeladó, piszkos vagy hibás alapjárati szabályozó, gyújtáskihagyás (gyertya, kábel, tekercs), injektor tömítetlensége vagy eldugulása, légtömegáramlás-jel hibája, EGR-szelep nyitva ragadt.

Mérés. Először a hibakódokat olvassuk ki. Ha például P0301 (1. henger gyújtáskihagyás) tárolódott, a gyújtógyertyát vizsgáljuk, a henger kompresszióját mérjük, és a henger injektorát ellenőrizzük. Ha nincs hibakód, a szívórendszer tömítettségét füstgenerátorral (leállított motornál) vagy kézi vákuumszivattyúval vizsgáljuk. **Tilos** gyúlékony spray-t (indítószert, féktisztítót) a járó motor szívócsöve köré fújni. A légtömegjeladó élő adatát az alapjárati fordulatnál a gyártói jelleggörbéhez hasonlítjuk.

Példa. Egy 2,0 l benzinmotor alapjáraton 780 1/min fordulaton a légtömegáram 4,8 kg/h, a gyártói várt érték 6–8 kg/h (ellenőrizendő), a rövid távú üzemanyag-korrekció +18%. A szívócső tömítése szivárog: a légtömegmérőn kívül bejutó levegőt az ECU nem látja, ezért a mért érték a vártnál alacsonyabb, a vezérlő pedig dúsít. A tömítés cseréje után a légtömeg 7,2 kg/h, a motor járása egyenletessé válik. **Ellenőrzés.** A rövid távú üzemanyag-korrekció 0 környékére áll vissza, az alapjárat stabil 800 1/min, nincs gyújtáskihagyás.

46.2.4.3. 3. eset: MIL világít

Tünet. A műszercsoporton világít a hibajelző lámpa, a motor teljesítménye csökkenhet, de lehet, hogy a vezető nem észlel változást.

Munkalépés. A hibakódot OBD/EOBD rendszerteszterrel olvassuk ki; a kód mellett a fagyasztott adatkeret (freeze frame) mutatja a hiba bekövetkezésének üzemállapotát. A kódot ne töröljük azonnal, előbb a kódhoz tartozó diagnosztikai lépéseket hajtjuk végre. Ha például P0420 (katalizátor hatásfoka alacsony) jelenik meg, a lambda-szondák jelét oszcilloszkóppal, a katalizátor előtti és utáni jel amplitúdóját elemezzük. A katalizátor utáni szonda jele egy jól működő katalizátornál sima, alacsony frekvenciájú. Ha a jel gyorsan követi a szabályozást, a katalizátor hatásfoka romlott, és a szonda is lehet hibás.

Ellenőrzés. A cserélt alkatrész után a hibakódot töröljük, a működési ciklust lefuttatjuk, és ellenőrizzük, hogy a MIL kialszik-e, és a readiness-monitorok beállnak-e.

46.2.4.4. 4. eset: Fékpadi eltérés

Tünet. A hatósági vagy műhelyi fékpad vizsgálata a bal és jobb kerék között nagy fékerő-különbséget mutat. Például a bal első 3800 N, a jobb első 2900 N; a különbség 900 N, az arány 24%. Tanulási példahatár: a tengelyen belüli fékerő-különbség a nagyobbik érték 30%-át ne haladja meg **(tanulási példa; ellenőrizendő: 2014/45/EU irányelv és 6/1990. KöHÉM rendelet)**; a 24% a határ alatt van, de műhelyben már vizsgálandó.

Hipotézis. A jobb oldali féknyereg csúszkája be van állva, a dugattyú szorul, a betét elkopott, a fékfolyadék-hidraulika levegős, vagy a dobfék önműködő utánállítója hibás.

Mérés. A fékpadon a kerék lefékezése után a kereket kézzel forgatva ellenőrizzük a fék oldott állapotát. A féknyereg hőmérsékletét infravörös hőmérővel mérjük; egy oldott, nem szoruló fék hőmérséklete hasonló a két oldalon. A csúszkát zsírozó anyaggal megmozgatjuk, az elállítást elvégezzük. A javítás után újra fékpadon mérünk: a fékerő-különbség 100 N alá csökken.

46.2.4.5. 5. eset: Töltési hiba

Tünet. A műszerfalon a töltés visszajelző világít, vagy a rendszer feszültsége indítás előtt 12,2 V, indítás után 11,8 V, és nem nő.

Áramútrajz-elemzés. A töltőáramkör a generátor B+ kimenetétől az akkumulátor pozitív pólusáig, a D+ gerjesztő körön át a testelésig terjed. A hiba lehet a generátor belső hibája, a szabályozó hibája, a szíj csúszása, a B+ vezeték feszültségesése, a testvezeték, vagy a gyújtáskapcsoló és a műszercsoport gerjesztő áramköre.

Mérés. A motor járásakor a generátor kimeneti feszültségét a generátor B+ csatlakozóján és az akkumulátor pozitív pólusán mérjük. Ha a generátornál 14,2 V, az akkumulátor pozitív pólusán 13,0 V, akkor a töltővezeték és a csatlakozók ellenállása, vagy a tápoldali biztosíték kontaktusa okoz feszültségesést. A feszültségesés mérése terhelés alatt, a fogyasztók bekapcsolásával történik. Ha a generátor D+ jele alacsony, a gerjesztő kábel vagy a műszerfali visszajelző izzó lehet szakadt.

Javítás. A szennyezett B+ csatlakozó tisztítása, a kábel cseréje vagy a generátor felújítása. **Ellenőrzés.** A feszültség az akkumulátornál 14,0–14,4 V legyen terhelés alatt is, a feszültségesés 0,3 V alatt (tanulási példa, ellenőrizendő).

46.2.4.6. 6. eset: CAN-kommunikációs hiba

Tünet. A járműben több vezérlőegység hibakódot tárol, egyes rendszerek nem működnek, a műszercsoport elveszíti a motorfordulatszám kijelzést, vagy a diagnosztikai műszer nem éri el a motorelektronikát.

Hipotézis. A CAN-busz érszakadása, rövidzár a testre vagy a tápfeszültségre, a lezáró ellenállások hibája, egy vezérlőegység belső hibája, vagy a csatlakozó korróziója.

Mérés. A CAN-mérést a gyártói áramútrajz alapján az OBD-csatlakozó 6-os és 14-es lábán, vagy a vezérlőegység csatlakozóján végezzük. Nyugalomban (recesszív szint) mindkét vezeték testhez képest kb. 2,5 V-on van, a differenciál kb. 0 V; kommunikáció közben domináns bitnél a CAN-H kb. 3,5 V, a CAN-L kb. 1,5 V (ellenőrizendő: gyártói adat). A lezáró ellenállás a hálózat két végén 120 Ω párhuzamosan 60 Ω legyen. Ha a mért ellenállás 120 Ω, az egyik lezáró hiányzik; ha 0 Ω, rövidzár van.

Javítás. A sérült CAN-vezeték vagy csatlakozó cseréje, a rossz lezáró ellenállás pótlása. **Ellenőrzés.** A diagnosztikai kommunikáció visszaáll, a hibakódok törölhetők, a műszercsoport jele helyes.

46.2.5. Gyakorlati útmutató: összetett szerelési feladat munkalapja

A következőkben egy általános vizsga-munkalapot adunk, amely a fékjavítás, a vezérműszíj-csere, a futómű-alkatrész csere és a generátorcsere feladataira egyaránt alkalmazható. A konkrét értékeket minden esetben a gyártói javítási adatból kell átvenni, ezért a lépéseknél `(ellenőrizendő: gyártói adat)` jelölést használunk. A számozott lépések alkotják a `recipe`-t.

46.2.5.1. Cél

A vizsgázó a jármű adatait azonosítja, a biztonsági előírásokat betartja, a javítási lépéseket dokumentálja, az alkatrész cseréjét elvégzi, és a végeredményt ellenőrzi.

46.2.5.2. Szükséges szerszámok és anyagok

- emelő, bakok, kerékékek, gumikalapács, nyomatékkulcs, szerelőszerszámkészlet;
- diagnosztikai műszer (OBD/EOBD), multiméter, mérőóra, fékfolyadék-vizsgáló, forgatónyomatékkulcs etalon;
- anyagok: új alkatrész, fékfolyadék, motortisztító, kenőanyag, hulladékgyűjtő, csavarrögzítő.

46.2.5.3. Biztonsági korlát

A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák. A jármű alá csak a gyártói emelési pontokon felemelt és mechanikusan reteszelt műhelyi járműemelőn, vagy bakra támasztva szabad bemenni; a kocsiemelővel tartott jármű alatti munkavégzés **tilos**. A negatív pólust mindig először kötjük le, és utoljára kötjük vissza. A fékport nem fújjuk sűrített levegővel; régi járműveken azbeszt lehetősége miatt porvédő maszkot használunk.

46.2.5.4. Munkalépések

1. **Jármű- és adatazonosítás.** Kiolvassuk az alvázszámot, a motorkódot, a gyártási évet, és bejegyezzük a munkalapra. Ellenőrizzük, melyik gyártói javítási adat érvényes.
2. **Munkaterület előkészítés.** A gyújtást kikapcsoljuk, a kulcsot eltávolítjuk, a negatív pólust lekötjük, ha a gyártó előírja. Az elektromos fogyasztókat kikapcsoljuk. A járművet az emelési pontokon felemeljük, és bakokra támasztjuk.
3. **Hibafelvétel és dokumentálás.** A vizsga tünetét, a fékpad értékét, a hibakódot vagy a zajt pontosan bejegyezzük, a műszercsoporton látható visszajelzőket és a csavarkötések állapotát megfigyeljük.
4. **A szerelési feladat elvégzése.** A kiválasztott feladatnak megfelelően:

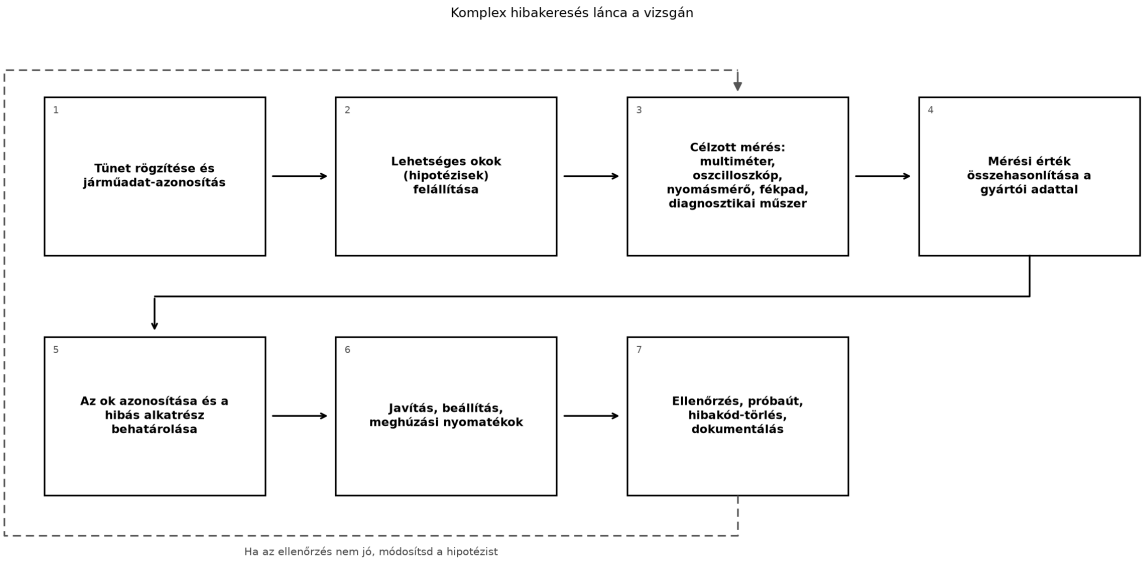
    - **Fékjavítás:** a féknyerget lecsavarozzuk, a betéteket eltávolítjuk, a csúszkát megvizsgáljuk, a dugattyút a gyártói szerszámmal visszanyomjuk. Új betétet, kopott tárcsát a gyártói határérték szerint szerelünk. A légtelenítést a gyártói sorrendben végezzük, a fékfolyadék-szintet beállítjuk.

- **Vezérműszíj-csere:** a gyártói jelölések szerint a motort a beállítási jelekhez állítjuk, a régi szíjat megfeszítés megszüntetése után eltávolítjuk, a feszítő- és vezetőgörgőt kicseréljük, az új szíjat a nyilaknak megfelelően felhelyezzük, a feszítést a gyártói értékre állítjuk.
- **Futómű-alkatrész csere:** a lengéscsillapítót, szilentet vagy gömbcsuklót a gyártói sorrendben le- és felszereljük, az újdonságot például nyomatékkulccsal rögzítjük. A csuklós csatlakozókat a megadott szögben húzzuk meg, ha a gyártó írja elő.
- **Generátorcsere:** a szíjfeszítőt meglazítjuk, a csatlakozókat leválasztjuk, a generátort kiszereljük, az új generátort behelyezzük, a csatlakozókat visszacsatlakoztatjuk, a szíjat beállítjuk. A feszültséget járatás közben ellenőrizzük.

5. **Meghúzási nyomatékok.** Minden csavart a gyártói nyomatékkal húzunk meg (ellenőrizendő: gyártói adat; tanulási példa: kerékcsavar 120 Nm, féknyereg-tartó csavar 35 Nm, vezérműszíj-feszítő 25 Nm).
6. **Beállítások és ellenőrzés.** A féknél a pedál fogáspontja, a folyadékszint és a fékpadi fékerő; a vezérműszíjnál a motorfordulat, a lefúvatás, a fogasszíj nyoma; a futóműnél a kerékdőlés, az összetartás, a csapágyhézag; a generátornál a töltőfeszültség, a feszültségesés.
7. **Takarítás és hulladékkezelés.** A fáradt fékfolyadékot, olajos rongyot, elhasznált alkatrészt veszélyes hulladékként gyűjtjük, a műhelyben a szelektív edényzet szerint.
8. **Dokumentálás.** A munkalapra beírjuk a mért értékeket, a javítási lépéseket, a felhasznált anyagokat, a kilométeróra-állást, a járatás utáni ellenőrzést és a nyomatékokat.

46.2.6. Hibajavítás lánc vizualizálva

A következő folyamatábra azt mutatja, hogyan haladjon a vizsgázó egy komplex hibánál a tünetrögzítéstől a javításig.



46.2. ábra. Komplex hibakeresés lánca a vizsgán - A lépések a tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás–ellenőrzés láncot követik; a mérési adat mindig a gyártói értékkel összehasonlítandó.

46.2.7. Gyakori hibák a vizsgán és elkerülésük

Hiba. A jelölt azonnal szétszerel, mielőtt a tünetet és a mérési értékeket rögzítené. **Elkerülés.** Először a munkalapra írjuk a tünetet, a kilométeróra-állást, a hibakódot, a fagyasztott adatkeretet; csak utána kezdjük a szerelést.

Hiba. A negatív pólust nem kötik le, vagy a lekötést elfelejtik az áramútrajzon jelölni. **Elkerülés.** Az elektromos munka előtt mindig a negatív pólus le- és visszakötését gyakoroljuk, és a vizsgabiztosnak jelentsük: „az akkumulátor negatív pólusa le van kötve”. A korszerű járművön a gyártói adatmentést is végezzük el, ha előírja.

Hiba. EPB-vel szerelt autón a féknyereg dugattyúját szerviz üzemmód nélkül, erővel nyomják vissza, ami tönkreteszi az elektromos rögzítőfék orsómechanizmusát. **Elkerülés.** A dugattyút csak a diagnosztikai műszerrel bekapcsolt szerviz üzemmódban, a gyártói eljárás szerint állítjuk vissza, és a lépést dokumentáljuk.

Hiba. A vezérműszíj cseréjekor a motort nem állítják a gyártói beállítási jelhez, ezért a szelepek és a dugattyúk összeütközhetnek. **Elkerülés.** A fogasszíj eltávolítása előtt a főtengelyt és a vezérműtengelyt a jelhez állítjuk, a jeleket lefényképezzük, és a forgatási irányt a gyártói utasítás szerint ellenőrizzük.

Hiba. A mért értéket nem hasonlítják a gyártói adathoz, például a kompressziómérés eredményét csak egymáshoz, és nem a gyártói minimális kompresszióhoz viszonyítják. **Elkerülés.** A munkalapra minden mért érték mellé beírjuk a gyártói referenciaértéket vagy tűrésmezőt.

Hiba. A csaknem minden esetben feltűnő MIL-lámpánál a vizsgázó azonnal hibakódot töröl, hogy „eltűnjön a lámpa”. **Elkerülés.** A kódolvasás és a kódhoz tartozó diagnosztikai lépések után, a javítás után töröljük a kódot, és a readiness-értékek beállását ellenőrizzük.

46.2.8. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A jármű alatt kocsiemelővel tartott autón is szabad dolgozni, ha a vizsgaidő rövid.
2. Számítsd ki a fékpadi fékerő-különbséget: bal 4200 N, jobb 3300 N. Mennyi a különbség százalékban a nagyobbik értékhez képest?
3. A CAN-hálózat lezáró ellenállása a két vezeték között 60 Ω. Ha a mért érték 120 Ω, mi a hiba?
4. Mi a helyes sorrend az akkumulátor lekötésénél: először negatív, majd pozitív, vagy fordítva? Indokold.
5. Milyen mérési hibát követ el az, aki az üzemanyagnyomást csak bekapcsolt gyújtásnál, de nem indítóztatás közben méri?
6. Sorold fel a vizsga-munkalap öt alapvető rovatát.

46.2.9. Feladatok

1. feladat (A). Írd le a hibakeresési lánc hat elemét, és magyarázd el, miért nem szabad a mérést a hipotézis felállítása előtt elvégezni.

2. feladat (A). Egy vizsgán a jelölt azt méri, hogy az akkumulátor feszültsége indítás előtt 12,4 V, indítás közben 9,8 V. Az indítómotor lassan forgat. Melyik két hiányzó mérést kell elvégezni, és mit várunk?

3. feladat (B). Egy benzines motor nem indul. Van szikra, az üzemanyagnyomás 3,2 bar, a befecskendező vezérlőjelet Noid-lámpa mutatja. A motor mégsem indul. Melyik további rendszert ellenőriznéd, és miért?

4. feladat (B). Egy fékpadi vizsgálat során a bal és jobb hátsó kerék fékerő-különbsége 35%. A kézifék rögzített helyzetben is hasonló. Milyen hibára gyanakszol, és milyen sorrendben ellenőrzöd?

5. feladat (C). Egy CAN-hálózaton a gyújtás bekapcsolása után az OBD-csatlakozó 6-os és 14-es lába között 12 V differenciális feszültséget mérünk; a testhez képest a 6-os lábon 12,0 V, a 14-es lábon 0 V van. Add meg a lehetséges hibát, és magyarázd el, hogyan lokalizálnád.

6. feladat (D). Egy vizsgán az autó be sem indul, az indítómotor nem forog. A gyújtást bekapcsolva a műszerfalon a visszajelzők nem világítanak, a fényszórók is sötétek. Az akkumulátor feszültsége a pólusokon 12,6 V. Készíts hibakeresési láncot: tünet, hipotézisek, mérési sorrend, várható javítás.

46.2.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A kocsiemelő nem biztonságos alátámasztás, csak emelőbakokon szabad a jármű alatt dolgozni.
2. A különbség $4200 - 3300 = 900\,\text{N}$. Százalékban: $900/4200 \cdot 100 = 21{,}4\%$. Ez a 30%-os tanulási példahatár alatt van, de műhelyben már vizsgálandó (`tanulási példa; ellenőrizendő: hatályos határérték`).
3. Ez azt jelenti, hogy a hálózat egyik végén hiányzik a $120\,\Omega$ lezáró ellenállás, vagy a vezeték szakadt.
4. Először negatív, utoljára pozitív. Az indoklás: a negatív pólus lecsatlakoztatásával megszakítjuk az áramkört, és a későbbi szerelési munkáknál nem képződik rövidzár a test felé.
5. Ez hiba, mert a szivattyú csak akkor szállítja a maximális üzemanyag-nyomást, ha a motor forog. Indítóztatás alatt a nyomás leeshet a fojtott szűrő vagy a hibás pumpa miatt.
6. Járműazonosítás, tünet/ügyfélpanasz, mért értékek, diagnózis/ok, javítási lépések, alkalmazott alkatrészek, ellenőrzés/beállítások – ezek közül legalább ötöt felsorolni.

1. feladat megoldása. A hat lépés: tünet → hipotézis → mérés → ok → javítás → ellenőrzés. A mérést a hipotézis felállítása után végezzük, mert a méréshez tudnunk kell, mit és melyik mérőponton mérünk. Ha előbb mérünk, összefüggéstelen adatokat kapunk, és nem tudjuk, mivel hasonlítsuk össze.

2. feladat megoldása. Ellenőrizni kell az indítóáram felvételét lakatfogóval és az akkumulátor kapocsfeszültségét terhelés alatt. Az indítóáram legyen a gyártói érték közelében (például 150–250 A (`ellenőrizendő: gyártói adat`)). Ha az áram nagy és a feszültség erősen letörik, az akkumulátor gyenge; ha az áram kicsi, a kábel vagy a testpont ellenállása nagy.

3. feladat megoldása. Ellenőrizni kell a henger kompresszióját és a gyújtás időzítését. Lehetséges ok: a vezérmű fogasszíj megugrott, így a szikra és az üzemanyag ugyan rendben van, de a dugattyúk és a szelepek nem a megfelelő időben mozognak.

4. feladat megoldása. Ha a kézifék behúzásával is hasonló a különbség, akkor a hiba nem a rögzítőfék mechanizmusában, hanem a hátsó kerékfékben, a betét vagy a dobfék utánállításában, a féknyereg csúszkában vagy a hidraulikus oldalban van. Ellenőrzési sorrend: fékfolyadék szintje, a féknyereg csúszkája, a dobfék utánállító, a betétek vastagsága, majd a fékpadi mérés.

5. feladat megoldása. A 12 V a CAN-H és 0 V a CAN-L testhez képest azt jelenti, hogy a CAN-H vezeték rövidzárlatba került a tápfeszültséggel, vagy a CAN-L testzárlatos. A lokalizálás sorrendje: a hálózatot szakaszosan leválasztjuk, például a vezérlőegységek csatlakozójánál, és figyeljük, mikor tér vissza a recesszív, kb. 2,5 V / 2,5 V nyugalmi szint (kommunikáció közben domináns bitnél kb. 3,5 V / 1,5 V; ellenőrizendő). Azután a sérült szakaszt vagy vezérlőegységet azonosítjuk.

6. feladat megoldása. Tünet: nincs indítómotor-forgás, nincs fedélzeti feszültség a műszerfal és a fényszórók felé, az akkumulátor feszültsége rendben. **Hipotézisek:** fő biztosíték, biztosítéktábla hiba, gyújtáskapcsoló tápellátás, testelési hiba, akkumulátorcsatlakozó korrózió. **Mérési sorrend:** multiméterrel az akkumulátor pozitív pólusától a gyújtáskapcsolóig és a biztosítéktábláig feszültségesést mérünk, majd a testcsatlakozást ellenőrizzük. **Várható javítás:** a fő biztosíték cseréje, a csatlakozó tisztítása, a testpont újra rögzítése.

46.2.11. Rövid összefoglaló

A gyakorlati vizsgán a komplex hibakeresés a tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás láncon alapul, és minden lépést dokumentálni kell. A vizsgafeladatban a tünet több rendszert is érinthet, ezért a mérési értékeket a gyártói adatokkal hasonlítjuk össze, és a munkalapról a gondolatmenetnek visszakövethetőnek kell lennie. A szerelési feladatoknál a gyártói meghúzási nyomatékok, a kopási határok, a beállítási sorrend, valamint a biztonsági előírások betartása a fő értékelési szempont. A fékjavításnál a fékpadi oldalkülönbséget, a vezérműszíj-cserénél a gyártói jelöléseket, a futóműnél a csuklók állapotát, a generátorcserénél a töltőfeszültséget és feszültségesést ellenőrizzük. A környezetvédelmi és munkavédelmi lépések – járművű alátámasztás, akkumulátorlekötés, EPB-szervizüzemmód, a fékpor és a fáradt folyadék kezelése – szintén pontozottak. **Továbbvitt eredmény.** A komplex hibakeresési lánc, a vizsga-munkalap és a szerelési munkalapok a Próbavizsga és önértékelés alfejezetben a teljes vizsgaszimulációban hasznosulnak.

46.2.12. Források és ellenőrzési hiányok

Forrástípusok: a hatályos szakképzési és vizsgaszabályzat, a vizsgakövetelmények és a vizsgaszerkezet **(ellenőrizendő: a hatályos jogszabályok és a vizsgakövetelmények pontos megnevezése)**; gyártói javítási utasítások, munkalapok, szervizkönyvi bejegyzések és az EOBD-diagnosztikai előírások. A fékpadi határértékek, a töltőfeszültség-tartományok, a CAN-feszültségszintek és lezáró ellenállások, a meghúzási nyomatékok, a diagnosztikai műszer menüi és a vizsga pontozási szempontjai **mind ellenőrizendők** a konkrét jármű, a gyártói adat és a hatályos előírás szerint.

46.3. Próbavizsga és önértékelés

46.3.1. Miért éppen próbavizsga?

A vizsga előtti hetekben a legnagyobb kérdés már nem az, hogy „tudom-e az anyagot”, hanem az, hogy „tudom-e időre, vizsgakörülmények között is megmutatni”. A tanuló gyakran otthon, tankönyvvel és megoldókulccsal dolgozik, közben véletlenül bepillant a következő bekezdésbe, vagy nem méri az időt. A valódi vizsgateremben viszont a feladatlap, az óra és a saját döntésképessége marad csak. A próbavizsga éppen ezt a részt erősíti: az igazi értéke nem a pontszám, hanem az, hogy pontosan kimutatja, mi hiányzik még.

46.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy vizsgára felkészítő foglalkozást a tanműhelyben. Az asztalon fekszik egy nyomtatott feladatlap, mellette toll, számológép, rajzlap, valamint egy gyakorló panel, amelyen 12 V-os indítókör, biztosító, relé, kapcsoló és indítómotor-modellező van felépítve. Az oktató megkéri a tanulót, hogy először az írásbeli részt 60 perc alatt oldja meg, utána húzzon egy szóbeli tételt, majd a panelen keresse meg a beépített hibát. A gyakorlat során nem a tananyag ismételtetése a cél, hanem annak felmérése, hogyan viselkedik a tanuló akkor, amikor mindent neki kell összeraknia. Ez a próbavizsga képe.

46.3.3. Próbavizsga és önértékelés alapjai

Definíció. A próbavizsga olyan szimulált vizsgahelyzet, amely a valódi vizsga részeit, időkeretét és eszközhasználatát utánozza, azzal a céllal, hogy a tanuló saját tudását és vizsgaképességét visszacsatolással mérje. Az önértékelés nem a pontok összeadása, hanem a hibák okainak csoportosítása és célzott javítási terv készítése.

Szabály. A próbavizsgát úgy érdemes megoldani, mintha valódi vizsga lenne:

- nincs tankönyv, mobiltelefon vagy puskázás;
- a megadott idő leteltével le kell tenni a tollat;
- a gyakorlati résznél a munkavédelmi lépéseket ugyanúgy be kell tartani, mint a valódi vizsgán;
- a javítást csak a próbavizsga befejezése után, megoldókulccsal vagy oktatóval kell elvégezni.

Továbbvitt eredmény. A próbavizsga során felírt pontszámok, valamint az alábbiakban szereplő megoldókulcs és önértékelő táblázat adja a vizsgafelkészülés utolsó tanulási tervét; ezt használjuk a Gyakorlati vizsgafelkészülés során bemutatott hibakeresési és szerelési feladatok ismétléséhez is.

46.3.4. A próbavizsga lefolytatása (recept)

A próbavizsga hat lépésből áll:

1. **Készítsd elő a környezetet.** Válassz csendes helyet, készíts ki feladatlapot, üres lapot, számológépet, rajzeszközt és órát. A gyakorlati részhez kérj oktatói felügyeletet, mert áram alatt lévő panelen és járművön önállóan nem dolgozhatsz tanulóként.
2. **Oldd meg az írásbeli feladatokat időre.** Például 60 perc áll rendelkezésre a rövid válaszokra és a számítási feladatokra (ellenőrizendő: a hatályos vizsgaszabályzat időkerete). Írj minden számításnál képletet, behelyettesítést, mértékegységet és ellenőrző megjegyzést.
3. **Elemezd ki a hibákat megoldókulcs alapján.** Jelöld meg, hogy tudás-, számolási vagy figyelmetlenségi hiba-e. A tudáshiba más tanulási tervet igényel, mint a számolási hiba.
4. **Tedd le a szóbeli tételeket hangosan.** Tarts 10–15 perces kidolgozási időt, majd mondd el a vázlatot kerek mondatokban. Rögzítheted hangfelvételen, és visszahallgathatod.
5. **Végezd el a gyakorlati hibakeresési vagy szerelési feladatot.** Tartsd be a gyártói utasítás szerinti munkavédelmi lépéseket, a feszültségmentesítést, a szerszám- és mérőeszköz-ellenőrzést.
6. **Készíts önértékelő táblázatot és tanulási tervet.** A táblázatból látni fogod, melyik témakörben kell ismételned, és melyik készséget kell gyakorolnod.

Ez a folyamat mutatja meg, hogy a próbavizsga nem a tananyag ismétlése, hanem a saját vizsgateljesítmény mérése.

46.3.5. Írásbeli próbavizsga minta

Az alábbi példa három részből áll: rövid válaszokból, egy motortechnikai számításból és egy fékdinamikai számításból. A pontszámok tanulási példák; a valódi vizsga szerkezete ettől eltérhet (ellenőrizendő: a hatályos szakmai és vizsgakövetelmény).

46.3.5.1. 1. feladat (rövid válaszok, 6 pont)

a) Írja le a 30, 15, 31, 50 kapocsjelek jelentését.

b) Nevezze meg a négyütemű Otto-motor munkaütemeit a helyes sorrendben.

c) Miért kell az indítókör feszültségesés-vizsgálatánál a testoldalt is mérni, nemcsak a pozitív vezetéket?

46.3.5.2. 2. feladat (motorteljesítmény, 6 pont)

Egy négyütemű szívó benzinmotor lökettérfogata $V_{\mathrm{H}} = 1{,}998\,\mathrm{L}$, effektív középnyomása $p_{\mathrm{me}} = 12\,\mathrm{bar}$, fordulatszáma $n = 4200\,1/\mathrm{min}$.

Számítsa ki az effektív teljesítményt P_{e}-t kW-ban.

46.3.5.3. 3. feladat (fékút, 6 pont)

Egy jármű $v = 50\,\mathrm{km/h}$ sebességgel halad. A vezető reakcióideje $t_{\mathrm{r}} = 0{,}8\,\mathrm{s}$, a fékezés során elért átlagos lassulás $a = 8{,}0\,\mathrm{m/s^2}$.

Számítsa ki a teljes megállási utat.

46.3.6. Megoldási kulcs az írásbeli próbavizsgához

1. feladat

a) A gépjármű-villamossági kapocsjelölésben (DIN 72552 szerinti hazai gyakorlat, ellenőrizendő a gyártói rajz alapján):

- `30`: akkumulátorról közvetlenül érkező állandó plusz;
- `15`: gyújtáskapcsolás után kapcsolt plusz;
- `31`: test/negatív kapocs;
- `50`: indításvezérlő kapocs az indítómotor felé.

b) A négyütemű motor ütemei: szívás, sűrítés, munka, kipufogás. A főtengely két fordulata alatt játszódik le egy teljes munkaciklus.

c) Az indítóáramkörben a pozitív vezeték és a testvezeték sorba kapcsolódik. A testoldalon fellépő feszültségesés ugyanúgy csökkenti az indítómotor kapcsaira jutó feszültséget, mint a pozitív oldali hiba, ezért a testelést is mérni kell.

2. feladat – kidolgozott példa

Az effektív teljesítmény négyütemű motorban:

$$P_{\mathrm{e}} = p_{\mathrm{me}} \cdot V_{\mathrm{H}} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60}$$

A két osztója a négyütemű működés miatt kell, mert minden második főtengelyfordulatra jut egy munkaciklus, a 60 pedig a percről másodpercre való átváltás.

Először alakítsuk át a mennyiségeket:

$$V_{\mathrm{H}} = 1{,}998\,\mathrm{L} = 0{,}001998\,\mathrm{m}^3$$

$$p_{\mathrm{me}} = 12\,\mathrm{bar} = 12 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$$

A fordulatszám munkaciklusra átszámítva:

$$\frac{n}{2 \cdot 60} = \frac{4200}{120} = 35\,\mathrm{s}^{-1}$$

Behelyettesítve:

$$P_{\mathrm{e}} = 12 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa} \cdot 0{,}001998\,\mathrm{m}^3 \cdot 35\,\mathrm{s}^{-1}$$

$$P_{\mathrm{e}} = 83\,916\,\mathrm{W} \approx 83{,}9\,\mathrm{kW}$$

Ellenőrzés: Egy 2,0 literes szívó benzinmotornál 83,9 kW reális érték, ezért a számítás nagyságrendje megfelelő. A gyártói teljesítményadatokat mindig az adott motor típusbizonyítványából vagy javítási adatbázisából kell ellenőrizni (ellenőrizendő: gyártói adat).

3. feladat – fékút

A v sebességet m/s-ra váltjuk:

$$v = 50\,\mathrm{km/h} = \frac{50}{3{,}6} = 13{,}9\,\mathrm{m/s}$$

A teljes megállási út a reakcióidő alatt megtett út és a fékezési út összege:

$$s_{\mathrm{f}} = v \cdot t_{\mathrm{r}} + \frac{v^2}{2a}$$

$$s_{\mathrm{f}} = 13{,}9\,\mathrm{m/s} \cdot 0{,}8\,\mathrm{s} + \frac{(13{,}9\,\mathrm{m/s})^2}{2 \cdot 8{,}0\,\mathrm{m/s}^2}$$

$$s_{\mathrm{f}} \approx 11{,}1\,\mathrm{m} + 12{,}1\,\mathrm{m} = 23{,}2\,\mathrm{m}$$

Értelmezés. A példa száraz útra, jó fékbetétekkel és megfelelő gumiabronccsal, tanulási célú lassulásértékkel készült. A valós fékutat a fékhatás, az útburkolat, a tömeg és a gumiabroncs tapadása is befolyásolja; hatósági megfelelőségi mérést mindig a hatályos előírás szerinti görgős fékpadon kell végezni (ellenőrizendő: hatályos vizsgálati előírás).

46.3.7. Szóbeli mintatételek

A szóbeli vizsgán nem a függvényszerű bemagolás a mérce, hanem a szakmai összefüggések bemutatása. Jó, ha a válasz a következő ívre épül: **feladat → felépítés → működés → jellemző hiba → ellenőrzés → javítás → biztonsági szabály**.

46.3.7.1. 1. tételvázlat: Az indítóakkumulátor és az indítókör ellenőrzése

- **Feladat:** Az indítóakkumulátor a belső égésű motor indításához, valamint a fedélzeti hálózat energiaellátásához szükséges.
- **Felépítés:** savas ólomakkumulátor, cellák, kapocsok, fedél, savsűrűség-mérő, hidegindító áram jelölés (EN 50342-1 szerint, ellenőrizendő).
- **Kapocsjelek:** `30` állandó plusz, `15` gyújtáskapcsolás utáni, `31` test, `50` indítás.
- **Jellemző hibák:** lemerülés, szulfátosodás, cellazárlat, kapocskorrózió, nagy testoldali feszültségesés.
- **Ellenőrzés:** nyugalmi feszültség, terhelés alatti feszültség, feszültségesés-mérés, szükség esetén hidegindító áram.
- **Javítás:** töltés, kapocstisztítás, testelő kötés ellenőrzése, akkumulátorcsere.
- **Biztonság:** durranógáz, sav, rövidzárlat; a lekötésnél először a negatív, visszakötésnél utoljára a negatív.

46.3.7.2. 2. tételvázlat: HV-rendszer feszültségmentesítése

HV-biztonság. A nagyfeszültségű rendszeren csak arra kiképzett, jogosult személy dolgozhat a gyártói eljárás szerint. A narancssárga HV-vezetékeket és csatlakozókat csak a gyártói eljárás szerint feszültségmentesített rendszeren, arra jogosult személy bonthatja meg; a tanuló ezt csak jogosult oktató irányításával, feszültségmentesített rendszeren végezheti (ellenőrizendő: hazai HV-jogosultsági szintek). A feszültségmentesítés lépései a gyártó által előírt sorrend szerint:

- jogosultság, EVE ellenőrzése, munkaterület lezárása;
- gyújtás ki, kulcs eltávolítása;
- 12 V-os akkumulátor lekötése;
- HV-szervizcsatlakozó vagy leválasztó eltávolítása és visszakapcsolás elleni biztosítása;
- gyártói várakozási idő betartása;
- feszültségmentesség ellenőrzése megfelelő mérési kategóriájú (CAT III, ellenőrizendő) műszerrel, mérőműszer előtte–utána ellenőrzése;
- dokumentálás.

A tanulónak hivatkoznia kell a Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése alfejezetre.

46.3.7.3. 3. tételvázlat: CAN-adatbusz

- **Feladat:** a vezérlőegységek közötti soros adatátvitel.
- **Felépítés:** CAN-High, CAN-Low, sodort vezetékpár, 120 Ω-os lezáró ellenállás a hálózat két végén.
- **Működés:** differenciális jelátvitel, domináns/recesszív feszültségszintek, prioritásos üzenetrend.
- **Mérés:** multiméterrel lezáró ellenállás mérése, oszcilloszkóppal CAN-jelek vizsgálata.
- **Tipikus hiba:** vezeték szakadás, rövidzár, rossz lezáró ellenállás, zajos jel.

- **Javítás:** célzott vezeték- és csatlakozójavítás a gyártói rajz alapján.

46.3.8. Gyakorlati vizsgafeladat

Cím: Indítókör feszültségesés-mérése és hibakeresés gyakorló panelen.

Időkeret: 45 perc (tanulási példa; a valódi vizsga időkerete ellenőrizendő).

Cél: A panelt úgy állították be, hogy az indítókör testoldalán hibás feszültségesés van. A tanulónak a tünetből kiindulva mérésekkel kell beazonosítania a hibát, és javaslatot kell tennie a javításra.

Szükséges eszközök: digitális multiméter, lakatfogó, gyakorló panel, személyi védőfelszerelés, munkalap.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre, oktató felügyeletére és a gyártói javítási utasítás betartására vonatkozik; a megadott értékek tanulási példák.

46.3.8.1. Munkalépések a vizsgafeladathoz

1. **Azonosítsd a járművet vagy panelt.** Írd fel a típusjelet, az alkalmazott feszültségszintet (12 V) és a mérési pontokat.
2. **Végezd el a munkavédelmi előkészítést.** Győződj meg róla, hogy a panel szigetelt, a mérést oktató felügyeli, és a multiméter mérési kategóriája megfelelő (ellenőrizendő: a műszer kategóriája).
3. **Ellenőrizd a mérőműszert.** Kapcsold be a multimétert, ellenőrizd az egyenfeszültség- és ellenállásmérés funkciót, nézd meg a mérőzsinórok állapotát.
4. **Mérd a nyugalmi feszültséget.** Ha az akkumulátor nyugalmi feszültsége például $U_0 = 12{,}45\,\mathrm{V}$, az megközelítőleg 70%-os töltöttségű akkumulátorra utal (ellenőrizendő: a valós hőmérsékletfüggő táblázat).
5. **Mérd a feszültséget indítás közben.** Például $U_{\mathrm{ind}} = 10{,}1\,\mathrm{V}$. Ez még elvileg elfogadható lehet hideg időben, de a hálózatot tovább kell vizsgálni.
6. **Mérd a pozitív oldali feszültségesést.** Például a `30`-as kapocstól az indítómotor pozitív csatlakozójáig $U_{+} = 0{,}3\,\mathrm{V}$. Ez tanulási példa szerint elfogadható (ellenőrizendő: a gyártói küszöb lehet szigorúbb).
7. **Mérd a testoldali feszültségesést.** Például az indítómotor testpontja és az akkumulátor negatív kapcsa között $U_{-} = 0{,}8\,\mathrm{V}$. Ez túl nagy, tipikus testelési hiba.
8. **Szemrevételezéssel erősítsd meg.** Keresd meg a laza, korrodált testkábelt vagy szennyezett testelési pontot.
9. **Javasold a javítást.** A testelő kötés tisztítása, meghúzása, szükség esetén új testkábel vagy új testpont kialakítása a gyártói előírás szerint.
10. **Dokumentáld a méréseket.** Írd fel a munkalapra a mért értékeket, az elfogadási határokat, a hiba okát és az elvégzett javítást.

Környezetvédelem. Az elektromos mérés és a kötések tisztítása során a keletkező hulladékot – például szennyezett rongyot, csiszolópapírt – a tanműhely veszélyesanyag-kezelési szabályzata szerint kell gyűjteni (ellenőrizendő: a hulladékkezelési útmutató).

46.3.9. Értékelési szempontok és önértékelő táblázat

A gyakorlati feladatot például az alábbi szempontok szerint lehet értékelni:

1. munkavédelmi előkészítés és eszközellenőrzés;
2. mérési sorrend betartása;
3. mért értékek és az elfogadási határok okos összehasonlítása;
4. helyes diagnózis;
5. javítási javaslat és dokumentálás.

Az alábbi táblázat az önértékeléshez használható.

Terület	Kérdés	Maximális pont (példa)	Elért pont	Gyengeség	Teendő
Írásbeli rövidválaszok	30, 15, 31, 50 kapocsjelek, ütemek, tesztelés	6			
Írásbeli számítás	motorteljesítmény, fékút	6			
Szóbeli vázlat	tétel kifejtése	6			
Gyakorlati előkészítés	munkavédelem, mérőműszer-ellenőrzés	2			
Gyakorlati mérés	indítókör feszültségesés	4			
Gyakorlati diagnózis	hiba pontos azonosítása	4			
Dokumentálás	munkalap, mért értékek	2			

Az értékek tanulási példák (ellenőrizendő: hatályos vizsgaszabályzat / oktatói értékelési útmutató).

46.3.10. Tanulási terv a gyenge pontok pótlására

A próbavizsga után ne csak a pontszámot tekintsd; a hiba típusa dönti el, mit kell gyakorolni.

Recept a javító tanulási tervhez:

1. Sorold fel a három leggyengébb témakört.
2. Mindegyikhez keress megfelelő forrást: tankönyvfejezet, kapcsolási rajz, gyártói javítási utasítás, szabvány.
3. Készíts mini célt: például „az indítókör feszültségesés-mérését hibátlanul el tudom végezni 15 perc alatt”.
4. Tervezz be rövid, napi ismétlést: 15 perc elmélet, 15 perc rajzolvasás, 15 perc gyakorlati munka.
5. Ellenőrizd a javulást újabb próbavizsgával vagy oktatói számonkéréssel.

A gyakorlati hibáknál a leggyakoribb lépés a mérési sorrend kihagyása. Ilyenkor a(z) Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája és az Áramút-alapú hibakeresés fejezetek ismételt elolvasása mellett érdemes a panelt újraépíteni.

46.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanuló a vizsga előtti héten tette le a próbavizsgát. Az írásbeli eredménye 80% felett volt, de a gyakorlati hibakeresésnél megállt. Azt mondta, hogy „az akkumulátor biztosan rossz”, mert alacsony feszültséget látott indítás közben. A mérőjegyzőkönyv szerint azonban a nyugalmi feszültség jó volt, a pozitív oldali feszültségesés is rendben volt, viszont a testoldali kötésen 0,8 V esett. A tanuló a valódi hibát nem a pontszáma miatt ismerte fel, hanem azért, mert a próbavizsga után az oktatóval közösen felírták a mérési útvonalat. A következő héten a valódi vizsgán hasonló feladatot kapott, és a rendszeres mérési protokollnak köszönhetően hibátlanul azonosította a testelési hiba helyét. A tanulság az, hogy a próbavizsga legfontosabb hozadéka a visszacsatolási adat, nem pedig a „meglett-e”.

46.3.12. Tipikus hibák

Hiba 1: A próbavizsgát nyitott könyvvel, megoldókulccsal oldja meg.
Így nem derül ki, mi az, amit valóban tud. A helyes gyakorlat az, hogy a próbavizsga alatt a vizsgához hasonló feltételeket tartasz, és csak utána javítasz.

Hiba 2: A számításnál elfelejti a négyütemű motor 2-es osztóját.
Ha a lökettérfogatot, a középnyomást és a fordulatszámot közvetlenül összeszorzod, akkor a munkaciklusonkénti teljesítmény helyett dupla értéket kaphatsz. A helyes gyakorlat: $P_{\mathrm{e}} = p_{\mathrm{me}}\, V_{\mathrm{H}}\, \frac{n}{2 \cdot 60}$.

Hiba 3: A gyakorlati hibakeresésnél azonnal alkatrészcserét javasol mérés nélkül.
Az indítókörben nem cserélünk akkumulátort csak azért, mert alacsony az indítási feszültség. Először meg kell mérni a nyugalmi feszültséget, majd a pozitív és a testoldali feszültségesést. Ha a feszültségesés a testoldalon nagy, akkor a testelést kell javítani.

Hiba 4: A szóbeli tételt csak felsorolásszerűen mondja el.
A tételvázlatoknak a mondatba fűzött magyarázat a lényege. A puszta felsorolás kevés. A helyes gyakorlat: minden szerkezeti elemnél egy-egy mondatban el kell mondani a feladatát, működését, majd a hibalehetőséget.

46.3.13. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A négyütemű benzinmotorban egy munkaütem minden főtengelyfordulatnál lezajlik.

2. **Gyors kérdés:** Melyik kapocsjel jelöli a gyújtáskapcsolás után kapcsolt pluszt?

3. **Számolás:** Mennyi lóerő közelítőleg a 2. feladatban kapott 83,9 kW?

4. **Mi a hiba ebben a leírásban?** „Az indítókörben mért 0,9 V feszültségesés a testoldalon elfogadható, mert a test mindig nagy ellenállású.”

5. **Mérési sorrend:** Miért kell a multimétert előtte–utána ellenőrizni nagyfeszültségű mérésnél?

6. **Rajz–mérés:** Hova kötöd a multiméter negatív mérőzsinórját, ha az indítómotor testoldali feszültségesését mérjük?

A válaszok a `### Megoldások` elején találhatók.

46.3.14. Feladatok

1. feladat (A)
Írja le a 30, 15, 31, 50 kapocsjelek jelentését, és mondja meg, melyik kapcsolódik közvetlenül az akkumulátor pozitívhoz.

2. feladat (A)
Egy Otto-motor $V_\mathrm{h} = 500\,\mathrm{cm}^3$, $V_\mathrm{c} = 50\,\mathrm{cm}^3$. Számítsa ki a sűrítési arányt.

3. feladat (B)
Egy négyütemű motor $V_\mathrm{H} = 1{,}6\,\mathrm{L}$, $p_\mathrm{me} = 10\,\mathrm{bar}$, $n = 5000\,1/\mathrm{min}$. Számítsa ki a teljesítményt kW-ban.

4. feladat (B)
Egy jármű $v = 90\,\mathrm{km/h}$ sebességgel halad. $t_\mathrm{r} = 1{,}0\,\mathrm{s}$, $a = 7{,}5\,\mathrm{m/s}^2$. Számítsa ki a teljes megállási utat.

5. feladat (C)
Hasonlítsa össze az indítókör pozitív és testoldali feszültségesésére vonatkozó szokásos tanulási küszöböket (pl. pozitív oldal 0,5 V, testoldal 0,3 V – ellenőrizendő). Miért lehet a testoldali határ szigorúbb?

6. feladat (D)
Egy gyakorló panelen az alábbi mérési adatokat kaptad: $U_0 = 12{,}6\,\mathrm{V}$, indítás közben $U_\mathrm{ind} = 9{,}8\,\mathrm{V}$, pozitív oldali feszültségesés $0{,}2\,\mathrm{V}$, testoldali feszültségesés $1{,}4\,\mathrm{V}$. Melyik hiba valószínű, és mi a javítási lépés?

46.3.15. Megoldások

46.3.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A négyütemű motorban a munkaütem minden második főtengelyfordulatban van, mert a négy ütem két fordulat alatt játszódik le.
2. A `15` kapocsjel jelöli a gyújtáskapcsolás után kapcsolt pluszt.
3. $83{,}9\,\mathrm{kW} \approx 83{,}9/0{,}7355 \approx 114\,\mathrm{LE}$, tehát nagyjából 114 lóerő (tanulási példa).
4. A hiba az, hogy a testoldali feszültségesés nem elfogadható. A testnek minimális ellenállásúnak kell lennie, ezért 0,3 V feletti érték gyanús (tanulási példa). A megfelelő határ a gyártói előírás.
5. A műszer előtte–utána ellenőrzése azt igazolja, hogy a műszer a mérés előtt is és után is működőképes volt, így kizárható, hogy a mért nulla érték a műszer hibájából származna. Ez a feszültségmentesség igazolásának fontos eleme.
6. A pozitív mérőzsinórt az indítómotor házára (testpontjára), a negatívot az akkumulátor negatív kapcsára kötjük, és indítóztatás közben mérünk; így pozitív értéket kapunk és mérhető a testoldali feszültségesés; a mért érték a terhelés alatt lévő testáramkör ellenállását jellemzi.

46.3.15.2. Feladatok megoldása

1. feladat

- `30`: akkumulátorról közvetlenül érkező állandó plusz;
- `15`: gyújtáskapcsolás utáni plusz;
- `31`: test/negatív;
- `50`: indításvezérlő kapocs.

Közvetlenül az akkumulátor pozitívjához a `30`-as kapocs kapcsolódik.

2. feladat

A sűrítési arány:

$$\varepsilon = \frac{V_\mathrm{h} + V_\mathrm{c}}{V_\mathrm{c}} = \frac{500 + 50}{50} = 11$$

A motor sűrítési aránya 11:1.

3. feladat

$$V_\mathrm{H} = 1{,}6\,\mathrm{L} = 0{,}0016\,\mathrm{m}^3$$

$$p_\mathrm{me} = 10\,\mathrm{bar} = 10^6\,\mathrm{Pa}$$

$$P_\mathrm{e} = p_\mathrm{me} \cdot V_\mathrm{H} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60}$$

$$P_\mathrm{e} = 10^6 \cdot 0{,}0016 \cdot \frac{5000}{120} = 10^6 \cdot 0{,}0016 \cdot 41{,}67 \approx 66\,667\,\mathrm{W} = 66{,}7\,\mathrm{kW}$$

4. feladat

$$v = 90\,\mathrm{km/h} = \frac{90}{3{,}6} = 25\,\mathrm{m/s}$$

$$s_\mathrm{f} = v \cdot t_\mathrm{r} + \frac{v^2}{2a}$$

$$s_\mathrm{f} = 25 \cdot 1{,}0 + \frac{25^2}{2 \cdot 7{,}5} = 25 + 41{,}7 = 66{,}7\,\mathrm{m}$$

A tanulási példa szerinti teljes megállási út 66,7 m.

5. feladat

A testoldali határ azért lehet szigorúbb, mert a jármű karosszériája és a motorblokk nagyon jó vezető. Ha mégis 0,3 V feletti feszültségesés jelenik meg, az laza, korrodált vagy rosszul kialakított testelésre utal. A pozitív oldalon az indítókábel hossza és a kapcsok miatt valamivel nagyobb, például 0,5 V is elfogadható lehet, de a pontos küszöböt a gyártói javítási adat rögzíti (ellenőrizendő).

6. feladat

A mért adatok szerint a nyugalmi feszültség rendben van, a pozitív oldali feszültségesés kicsi, viszont a testoldali feszültségesés 1,4 V, ami túl magas. Ez arra utal, hogy a testkábel vagy annak kötése rossz. A javítás: a testelő kötés tisztítása, meghúzása, szükség esetén új testkábel vagy új testpont kialakítása, majd a mérés megismétlése.

46.3.16. Rövid összefoglaló

A próbavizsga a vizsgafelkészülés utolsó mérőeszköze. Az írásbeli rész a fogalmakat, a képleteket és a számítási pontosságot méri; a szóbeli vázlat a szakmai gondolkodásmódot és a biztonsági szabályok beépülését; a gyakorlati hibakeresés a mérési sorrendet, az ok-okozati elemzést és a javítási fegyelmet. A motorteljesítmény számításakor a négyütemű működés miatt a fordulatszámot $2 \cdot 60$-nal kell osztani, így $P_\mathrm{e} = p_\mathrm{me}\, V_\mathrm{H}\, \frac{n}{2 \cdot 60}$. A fékutat a reakcióút és a fékezési út összegeként számítjuk: $s_\mathrm{f} = v\, t_\mathrm{r} + \frac{v^2}{2a}$. A gyakorlati elektromos hibakeresés során mindig a gyártói rajz és adat elsőbbsége, valamint a tünet–mérés–ok–javítás sorrend érvényes. A próbavizsga után az önértékelő táblázatból készített tanulási terv a gyenge pontok célzott pótlását szolgálja. **Továbbvitt eredmény.** Az önértékelés pontosan akkor ér valamit, ha a hibákat témakörre bontva rögzítjük, majd rövid, mérhető céllal újabb próbavizsgát teszünk. A vizsgafelkészülés során ez a ciklus adja a folyamatos fejlődés visszajelzését.

46.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

- A vizsga aktuális részeit, időkereteit és az értékelési arányokat a hatályos szakmai és vizsgakövetelmények, valamint a képző intézmény vizsgaszabályzata rögzíti (ellenőrizendő: a vizsga aktuális szerkezete).
- A kapocsjelek jelentése a DIN 72552 szerinti hazai gyakorlat, de minden járművön a gyártói áramútrajz a mérvadó (ellenőrizendő: gyártói rajz).
- A motor- és fékdinamikai számításokban használt értékek tanulási példák; a gyártói teljesítmény, a fékhatás és az indítókör feszültségesési küszöbértékei járműtípusonként eltérnek (ellenőrizendő: gyártói adat).
- A HV-képzések és a továbbtanulási lehetőségek elnevezéseit, bemeneti feltételeit a hatályos szakképzési és felnőttképzési jogszabályok szerint kell ellenőrizni (ellenőrizendő: aktuális képzési jegyzék).

Függelékek

Fogalomtár (magyar–angol)

Ez a függelék a könyv kulcsfogalmait rögzíti egységes magyar, angol és (ahol a műhelyi gyakorlatban elterjedt) német névvel, a magyar kifejezés szerinti ábécésorrendben. A zárójeles szám a fogalmat bevezető fejezet.alfejezet (a nyomtatott könyv számozása). A képleteket a Képlet-, adat- és jelölésgyűjtemény függelék tartalmazza.

Terminológiai elv. A könyv a mai szakmai és szabványos magyar szót használja, de megadja a műhelyben élő régi vagy szleng megnevezést is (pl. *főtengely* = forgattyús tengely, *diagnosztikai műszer* = rendszerteszter, *FAP/DPF* = részecskeszűrő). A márkanevek (Jetronic, Motronic, Haldex, DSG) csak a rendszer típusát jelölik. A jogszabályi és szabványos meghatározások pontos szövege ellenőrizendő.

Magyar	Angol / német	Jelentés (hol vezetjük be)
ABS (blokkolásgátló)	anti-lock braking system / Antiblockiersystem	a fékezett kerék blokkolását megakadályozó szabályozás, a kormányozhatóság megtartására (26.4)
AdBlue	diesel exhaust fluid (DEF)	32,5%-os karbamid-oldat az SCR-katalizátorhoz (21.3)
adatbusz	data bus / Datenbus	a vezérlőegységek közös, üzenetalapú kommunikációs vezetéke (CAN, LIN, FlexRay) (32.1)
aktív biztonság	active safety	a baleset elkerülését szolgáló tulajdonságok és rendszerek (fék, futómű, ESP, világítás) (3.1)
akkumulátor-felügyelet (BMS)	battery management system	a HV-akkumulátor cellafeszültségét, hőmérsékletét, töltöttségét figyelő és kiegyenlítő rendszer (33.2)
alvázszám (VIN)	vehicle identification number / Fahrgestellnummer	a jármű 17 karakteres egyedi azonosítója (35.1)
áramútrajz	wiring diagram / Stromlaufplan	a gépjármű villamos áramköreit áramút szerint ábrázoló rajz (27.1)
áttétel	gear ratio / Übersetzung	a hajtó és hajtott elem fordulatszámának aránya (10.4)

Magyar	Angol / német	Jelentés (hol vezetjük be)
befecskendezőszelep (injektor)	fuel injector / Einspritzventil	az ECU által vezérelt, a tüzelőanyagot adagoló szelep (19.2)
bolygómű	planetary gear set / Planetengetriebe	napkerékből, bolygókerekekből, bolygókerék-tartóból és gyűrűkerékből álló hajtómű (22.3)
CAN-busz	Controller Area Network	differenciális jelátvitelű, kéteres járműipari adatbusz (32.1)
common rail (közös nyomásterű befecskendezés)	common rail injection	a nagynyomású tüzelőanyagot közös tárolócsőben (railben) tartó dízelbefecskendezés (20.2)
csapterpesztés	kingpin inclination / Spreizung	a kormánytengely keresztirányú dőlése (25.1)
DPF (részecskeszűrő)	diesel particulate filter / Dieselpartikelfilter	a dízel-kipufogógáz koromrészecskéit visszatartó és regenerálással kiégető szűrő (21.3)
égéskimaradás	misfire / Verbrennungsaussetzer	a keverék elmaradó vagy hiányos égése egy hengerben; OBD-felügyelt (37.2)
EGR (kipufogógáz-visszavezetés)	exhaust gas recirculation / Abgasrückführung	kipufogógáz visszavezetése a szívóoldalra az NOx-képződés csökkentésére (21.1)
előtöltés	pre-charge	a HV-közbenső kör kondenzátorainak korlátozott áramú feltöltése a fő kontaktor zárása előtt (33.2)
ESP (menetstabilizáló rendszer)	electronic stability control	egyes kerekek célzott fékezésével a jármű kicsúszását gátló rendszer (26.4)
fajlagos fogyasztás	specific fuel consumption	egységnyi munkára jutó tüzelőanyag-tömeg (g/kWh) (16.2)
fedélzeti diagnosztika (OBD, EOBD)	on-board diagnostics	a kibocsátás szempontjából fontos rendszerek önfelügyelete hibakódokkal és MIL-lámpával (37.2)
feltöltés	supercharging, turbocharging / Aufladung	a henger töltésének növelése a beszívott levegő sűrítésével (17.6)
feszültségmentesítés	de-energising / Freischalten	a HV-rendszer gyártói eljárás szerinti leválasztása, biztosítása és a feszültségmentesség ellenőrzése (34.2)

Magyar	Angol / német	Jelentés (hol vezetjük be)
fékhatás	braking ratio	a fékerők összegének és a járműsúlynak a hányadosa (%) (26.1)
forgattyús tengely („főtengely”)	crankshaft / Kurbelwelle	a dugattyúk alternáló mozgását forgó mozgássá alakító tengely (17.2)
freeze frame	freeze frame data	a hibakód tárolásakor rögzített üzemi adatok pillanatképe (37.2)
futóműbemérés	wheel alignment / Achsvermessung	a kerékállás-jellemzők mérése és beállítása (38.1)
gázelemzés	exhaust gas analysis / Abgasuntersuchung	a kipufogógáz CO, CO2, HC, O2 tartalmának és a légviszonynak a mérése (37.4)
generátor	alternator / Generator, Lichtmaschine	a jármű villamos energiáját termelő háromfázisú, egyenirányított gép (28.2)
gyújtási sorrend	firing order / Zündfolge	a hengerek munkaütemeinek sorrendje (16.2)
gyújtótekercs	ignition coil / Zündspule	a gyújtófeszültséget előállító transzformátor (29.2)
hengerfejtömítés	cylinder head gasket / Zylinderkopfdichtung	a hengertömb és a hengerfej közötti tömítés (17.3)
hibakód (DTC)	diagnostic trouble code / Fehlercode	a vezérlőegység által tárolt szabványos vagy gyártói hibaazonosító (37.2)
hidegindító áram	cold cranking current	az akkumulátor szabvány szerinti hidegindítási terhelhetősége (A) (28.1)
hidrodinamikus nyomatékváltó	torque converter / Drehmomentwandler	folyadékáramlással nyomatékot módosító tengelykapcsoló az automata váltó előtt (22.3)
homokinetikus csukló	constant velocity joint / Gleichlaufgelenk	szöghiba nélkül forgást átvivő féltengelycsukló (23.1)
HV-rendszer (nagyfeszültségű rendszer)	high-voltage system / Hochvoltsystem	a hibrid és elektromos jármű hajtásának narancssárga vezetékes, veszélyes feszültségű rendszere (33.1)
indikátordiagram	indicator diagram / Indikatordiagramm	a hengernyomás a térfogat (vagy forgattyúszög) függvényében (16.1)
inverter	inverter / Wechselrichter	a HV-egyenfeszültségből a hajtómotor háromfázisú feszültségét előállító átalakító (33.3)
kapocsjelölés (30, 15, 31, 50)	terminal designation / Klemmenbezeichnung	a gépjármű-villamossági kapcsok szabványos jelei (DIN 72552, ellenőrizendő) (27.1)

Magyar	Angol / német	Jelentés (hol vezetjük be)
karbantartási ütemterv	service schedule / Wartungsplan	a gyártó által előírt időszakos műveletek rendje (35.3)
kerékösszetartás	toe-in / Vorspur	a kerekek menetirányhoz viszonyított befelé fordulása (25.1)
kettős tömegű lendkerék	dual-mass flywheel / Zweimassenschwungrad	két, rugókkal összekötött tömegből álló, torziós lengést csillapító lendkerék (22.1)
kiegyenlítőmű (differenciálmű)	differential / Differenzial	a hajtott kerekek eltérő fordulatszámát lehetővé tevő hajtómű (23.2)
kompresszió-végnyomás	compression pressure / Kompressionsdruck	a henger sűrítési végnyomása indítózáskor; mechanikai állapotjellemző (37.1)
kopogás	knock / Klopfen	a keverék rendellenes, öngyulladásos égése az Otto-motorban (16.3)
lambdaszonda	oxygen sensor / Lambdasonde	a kipufogógáz oxigéntartalmát mérő érzékelő a légviszony szabályozásához (21.2)
légviszony (λ)	air–fuel equivalence ratio / Luftverhältnis	a tényleges és az elméleti (sztöchiometrikus) levegőmennyiség aránya (16.2)
lengéscsillapító	shock absorber / Stoßdämpfer	a rugó lengéseit hőenergiává alakítva csillapító szerkezet (24.1)
lökettérfogat	swept volume / Hubraum	a dugattyú által a holtpontok között súrolt térfogat (16.2)
menetellenállás	driving resistance / Fahrwiderstand	a jármű mozgását fékező gördülési, lég-, emelkedési és gyorsítási ellenállás (6.1)
MIL-lámpa	malfunction indicator lamp	a motorhiba-jelző lámpa (37.2)
motorvezérlő egység (ECU)	engine control unit / Motorsteuergerät	az érzékelők jelei alapján a beavatkozókat vezérlő mikroszámítógép (31.1)
munkalap	work order / Arbeitsauftrag	a megrendelt és elvégzett munka, alkatrész és ügyfél-hozzájárulás dokumentuma (45.4)
nyomatékváltó (sebességváltó)	gearbox, transmission / Schaltgetriebe	a motor nyomatékát és fordulatszámát a menetviszonyokhoz igazító hajtómű (22.2)
passzív biztonság	passive safety	a baleset következményeit csökkentő tulajdonságok és rendszerek (24.4)
readiness-kód	readiness code	az OBD-monitorok lefutását jelző állapot (37.2)

Magyar	Angol / német	Jelentés (hol vezetjük be)
regeneratív fékezés (rekuperáció)	regenerative braking / Rekuperation	a mozgási energia villamos energiává alakítása a hajtómotorral fékezéskor (33.3)
rendszerteszter („diagnosztikai műszer”)	scan tool / Diagnosegerät	a vezérlőegységekkel kommunikáló diagnosztikai készülék (37.3)
SCR (szelektív katalitikus redukció)	selective catalytic reduction	NOx-csökkentés ammóniával (AdBlue-ból) katalizátoron (21.3)
szelephézag	valve clearance / Ventilspiel	a szelepvezérlés hőtágulási hézaga zárt szelepnél (17.4)
szervizcsatlakozó (HV-leválasztó)	service disconnect / Servicestecker	a HV-akkumulátor áramkörét megszakító, kézzel eltávolítható elem (33.2)
szigetelési ellenállás	insulation resistance / Isolationswiderstand	a HV-rendszer és a jármű teste közötti ellenállás (34.3)
szinkronszerkezet	synchroniser / Synchronisierung	a kapcsolandó elemek fordulatszámát kapcsolás előtt kiegyenlítő szerkezet (22.2)
szlip	slip / Schlupf	a kerék kerületi sebességének és a jármű sebességének relatív eltérése (24.3)
sűrítési arány (ε)	compression ratio / Verdichtungsverhältnis	a henger legnagyobb és legkisebb térfogatának aránya (16.2)
tengelykapcsoló	clutch / Kupplung	a motor és a hajtáslánc közötti oldható kapcsolat (22.1)
típusbizonyítvány	certificate of conformity / Typgenehmigung	a jármű típusjóváhagyás szerinti műszaki adatait igazoló okirat (36.1)
turbófeltöltő	turbocharger / Abgasturbolader	a kipufogógáz energiájával hajtott centrifugális kompresszor (17.6)
utánfutás	caster / Nachlauf	a kormánytengely hosszirányú dőlése, a kerék visszatérítését segíti (25.1)
vezérlési diagram	valve timing diagram / Steuerdiagramm	a szelepnyitás és -zárás forgattyúszögei (17.4)
vezérműszíj	timing belt / Zahnriemen	a vezérműtengelyt a forgattyús tengely szinkron hajtó fogasszíja (17.5)
vezetőtámogató rendszer (ADAS)	advanced driver assistance system / Fahrerassistenzsystem	radar-, kamera- és ultrahangérzékelőkkel működő segédrendszer (ACC, sávtartó, AEB) (32.3)
vonóerő	tractive force / Zugkraft	a hajtott kerekek által az útra átvitt hajtóerő (6.2)

Képlet-, adat- és jelölésgyűjtemény

Ez a függelék a könyv legfontosabb képleteit, jelöléseit, mértékegység-átváltásait és jelölésrendszereit gyűjti egy helyre. A feltételeket mindig ellenőrizni kell; a pontos kimondás a zárójelben megadott fejezet.alfejezetben található. A hatósági határértékek, a gyártói beállítási és nyomatékadatok **tanulási példák**: javításkor és vizsgálatkor mindig a hatályos előírás és a gyártói javítási adat a mérvadó (ellenőrizendő).

Mértékegységek és átváltások

- Nyomás: $1\,\text{bar} = 100\,\text{kPa} = 0{,}1\,\text{MPa}$; $1\,\text{MPa} = 1\,\text{N/mm}^2$.
- Sebesség: $1\,\text{m/s} = 3{,}6\,\text{km/h}$.
- Teljesítmény: $1\,\text{kW} \approx 1{,}36\,\text{LE}$ (lóerő, régi adatokon); nyomaték Nm-ben.
- Szögsebesség és fordulatszám: $\omega = \dfrac{2\pi n}{60}$ (n 1/min-ben, ω 1/s-ban).
- Energia: $1\,\text{kWh} = 3{,}6\,\text{MJ}$; akkumulátorenergia $W = U \cdot C$ (V · Ah = Wh).
- Hőmérséklet: $T[\text{K}] = \vartheta\,[^\circ\text{C}] + 273{,}15$.

Mechanika (5.1–5.4)

- Nyomaték: $M = F \cdot k$; egyensúly: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M = 0$ (5.1).
- Feszültség: $\sigma = F/A$; Hooke: $\sigma = E\,\varepsilon$; nyírás $\tau = F/A$ (5.2).
- Hajlítás: $\sigma_h = M_h/K$; csavarás: $\tau_t = M_t/K_p$ (5.3).
- Egyenletesen gyorsuló mozgás: $v = v_0 + at$, $s = v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$, $v^2 = v_0^2 + 2as$ (5.4).
- Dinamika: $F = ma$; munka $W = Fs$; teljesítmény $P = Fv = M\omega$; mozgási energia $E = \tfrac{1}{2}mv^2$ (5.4).

Menetdinamika (6.1–6.3)

- Gördülési ellenállás: $F_g = f\,m\,g\cos\alpha$; emelkedési: $F_e = m\,g\sin\alpha$ (6.1).
- Légellenállás: $F_l = \tfrac{1}{2}\,\rho\,c_W\,A\,v^2$ ($\rho \approx 1{,}2\,\text{kg/m}^3$) (6.1).
- Gyorsítási ellenállás: $F_a = \delta\,m\,a$ (δ a forgó tömegek tényezője) (6.1).
- Szükséges teljesítmény: $P = \dfrac{(F_g + F_l + F_e + F_a)\,v}{\eta}$ (6.1).
- Kerékvonóerő: $F_v = \dfrac{M\,i_s\,i_0\,\eta}{r_d}$; sebesség: $v = \dfrac{2\pi\,r_d\,n}{60\,i_s\,i_0}$ (6.2).
- Kicsúszási határsebesség: $v = \sqrt{\mu\,g\,r}$; borulási: $v = \sqrt{\dfrac{g\,r\,b}{2h}}$ (b nyomtáv, h súlypontmagasság) (6.3).

Motor (16.1–16.5)

- Lökettérfogat: $V_h = \dfrac{D^2\pi}{4}\,s$; összes: $V_H = i\,V_h$ (16.2).
- Sűrítési arány: $\varepsilon = \dfrac{V_h + V_c}{V_c}$ (16.2).
- Effektív teljesítmény (négyütemű): $P_e = \dfrac{p_e\,V_H\,n}{2 \cdot 60}$; kétütemű: $P_e = \dfrac{p_e\,V_H\,n}{60}$ (16.2).
- Nyomaték és teljesítmény: $P = M\omega = \dfrac{Mn}{9550}$ (P kW, M Nm, n 1/min) (16.2).

- Hatásfokok: $\eta_e = \eta_i\,\eta_m$; $\eta_e = \dfrac{P_e}{B\,H_u}$ (B tüzelőanyag-tömegáram, kg/s); fajlagos fogyasztás $b_e = \dfrac{B}{P_e}$ (16.2).
- Légviszony: $\lambda = \dfrac{m_{\text{levegő}}}{m_{\text{tüzelőanyag}} \cdot L_0}$ (benzinnél $L_0 \approx 14{,}7$, dízelnél $\approx 14{,}5$ kg levegő/kg – ellenőrizendő) (16.2).

Erőátvitel (10.4, 22.2–23.2)

- Áttétel: $i = \dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{z_2}{z_1}$; nyomaték: $M_2 = M_1\,i\,\eta$ (10.4).
- Összes áttétel: $i = i_s \cdot i_0$ (22.2).
- Bolygóműű (Willis): $n_N + \dfrac{z_G}{z_N}\,n_G = \left(1 + \dfrac{z_G}{z_N}\right) n_T$ (N napkerék, G gyűrűkerék, T bolygókerék-tartó) (22.3).
- Kiegyenlítőmű: $n_{\text{bal}} + n_{\text{jobb}} = 2\,n_{\text{ház}}$ (23.2).
- Súrlódó tengelykapcsoló: $M = \mu\,F r_k\,z$ (z súrlódó felületek száma) (10.3).

Futómű, kerék, fék (24.3–26.6)

- Abroncs külső átmérője: $d = d_{\text{f}} + 2\,B\,\dfrac{a}{100}$ (d_{f} peremátmérő mm-ben, B szélesség mm-ben, a oldalfal-arány %-ban; pl. 205/55 R16: $d = 16 \cdot 25{,}4 + 2 \cdot 205 \cdot 0{,}55 \approx 632\,\text{mm}$) (24.3).
- Összetartás: szögben és mm-ben, $\Delta \approx d \cdot \sin\delta$ (25.1).
- Fékút: $s_f = v\,t_r + \dfrac{v^2}{2a}$; fékhatás: $z = \dfrac{\sum F_f}{m\,g} \cdot 100\,\%$ (26.1).
- Hidraulikus erőátvitel: $p = \dfrac{F_1}{A_1}$, $F_2 = p\,A_2$ (26.2).
- Rugómerevség: $c = \dfrac{F}{f}$; sajátfrekvencia $f_0 = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{c}{m}}$ (10.5, 24.1).

Villamosság (11.1–15.3, 27.1–28.3)

- Ohm: $U = I\,R$; teljesítmény $P = U\,I = I^2 R = U^2/R$; energia $W = P t$ (11.1).
- Vezeték ellenállása: $R = \rho\,\dfrac{l}{A}$ (réz: $\rho \approx 0{,}0178\,\Omega\,\text{mm}^2/\text{m}$); feszültségesés egyvezetékes rendszerben: $\Delta U = I\,R$ (11.1, 27.2).
- Soros és párhuzamos eredő: $R_e = R_1 + R_2$; $\dfrac{1}{R_e} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$; feszültségosztó $U_2 = U\,\dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ (11.2).
- Valódi forrás: $U_k = U_0 - I\,R_b$ (11.3).
- Kondenzátor: $Q = C\,U$, $W = \tfrac{1}{2} C U^2$, $\tau = R\,C$ (12.1); tekercs: $W = \tfrac{1}{2} L I^2$, $\tau = L/R$ (12.3).
- Váltakozó áram: $U_{\text{eff}} = U_{\text{csúcs}}/\sqrt{2}$; $X_L = 2\pi f L$, $X_C = \dfrac{1}{2\pi f C}$; $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ (13.1).
- Transzformátor: $\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{N_1}{N_2}$ (13.2).
- Kitöltési tényező: $D = \dfrac{t_{\text{be}}}{T} \cdot 100\,\%$ (14.3).
- Akkumulátor: energia $W = U C$; töltési idő becslése $t \approx \dfrac{C_{\text{hiány}}}{I} \cdot k$ (k veszteségi tényező) (28.1); HV-pakk: $U = n_s\,U_{\text{cella}}$, $C = n_p\,C_{\text{cella}}$ (33.2).

- Töltési idő (EV): $t \approx \dfrac{W}{P\eta}$ (33.4).

Diagnosztika (37.1–39.4)

- Nyomásveszteség: $\dfrac{p_{\text{be}} - p_{\text{mért}}}{p_{\text{be}}} \cdot 100\,\%$ (37.1).
- Kerékfékerő-eltérés egy tengelyen: $\dfrac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} \cdot 100\,\%$ (határérték jelölve) (38.3).
- Fogyasztás: $\dfrac{V}{s} \cdot 100$ (l/100 km) (37.6).

Jelölésrendszerek

- Gumiabroncs: `205/55 R16 91V` = szélesség (mm) / oldalfal-arány (%) radiál, peremátmérő (col), terhelési index, sebességindex; DOT-kód utolsó négy jegye = gyártási hét és év (24.3).
- Gépjármű-villamossági kapcsok (DIN 72552, ellenőrizendő): 30 akkumulátor plusz (állandó), 15 gyújtás után, 31 test, 50 indító, 58 helyzetjelző, 56a/56b távolsági/tompított, 49a irányjelző, 85/86 relétekercs, 87/87a relé munka-/nyugvóérintkező, D+/B+ generátor (27.1).
- OBD-hibakód: első betű a rendszer (P hajtáslánc, C alváz, B karosszéria, U hálózat), második jegy 0 = szabványos, 1 = gyártói; a többi a részrendszer és a hiba (37.2).
- Járműkategóriák: L (két-, háromkerekű), M1–M3 (személyszállító), N1–N3 (áruszállító), O1–O4 (pótkocsi) (ellenőrizendő: (EU) 2018/858) (3.3).
- Motorolaj: SAE-viszkozitás (pl. 5W-30: téli és üzemi osztály) + ACEA/gyártói előírás (7.3).
- Fékfolyadék: DOT 3, DOT 4, DOT 5.1 (glikolbázisú), DOT 5 (szilikonbázisú, nem keverhető) (26.2).

Kompetenciatérkép és tanulási útvonal

A könyv célprofilja: az autószerelő szakmai vizsgára és a munkahelyre felkészülő tanuló, aki önállóan, a magyarországi és európai előírások és a gyártói javítási gyakorlat szerint tud szerkezetet elemezni, számolni, rajzot olvasni, karbantartani, diagnosztizálni, javítani és dokumentálni, és biztonságosan dolgozik hibrid és elektromos járművek környezetében is. A nyomtatott könyv fejezet.alfejezet számozását használjuk (például „16.4”).

Belépési és kilépési feltételek

Belépés. Érettségi szintű matematika és fizika alapjai. A belépő teszt a(z) 1.2 alfejezetben van; aki a kérdések legalább háromnegyedére helyesen válaszol, a II. rész ismétlő jellegű alfejezeteit gyorsabban veheti.

Kilépés. A tanuló (1) betartja a műhelyi munka-, tűz-, környezet- és HV-biztonsági szabályokat, (2) olvassa a gépészeti, hidraulikus és autóvillamossági rajzokat, (3) mértékegységekkel számol motor-, menetdinamikai, erőátviteli, fék- és villamos feladatokat, (4) ismeri a belső égésű motorok, az erőátvitel, a futómű, a kormány és a fék szerkezetét, működését és hibáit, (5) ismeri a gépjármű-villamossági és elektronikus rendszereket, az adatbuszokat és a vezetőtámogató rendszereket, (6) ismeri a hibrid és elektromos hajtás felépítését és a HV-feszültségmentesítés rendjét, (7) elvégzi az időszakos karbantartást és felkészíti a járművet a műszaki vizsgára, (8) módszeresen diagnosztizál

(OBD, mérés, oszcilloszkóp, próbapad), (9) gyártói utasítás szerint javít és dokumentál, (10) kezeli az ügyfelet, munkalapot és árajánlatot. Mérési kritérium: az írásbeli mintafeladatsoron legalább 60%, és a gyakorlati vizsgafeladatok ellenőrzőlistája teljesítve (46.1, 46.2, 46.3; a vizsga értékelési szabályai ellenőrizendők).

Tizenkét kompetencia és ellenőrző pontjai

#	Kompetencia	Mit tud a tanuló?	Ellenőrző pont	Bizonyíték
1	Munka-, tűz- és környezetvédelem	emelés, EVE, veszélyes anyag és hulladék, tűz, elsősegély	2.2	biztonságos emelés és hulladékgyűjtés ellenőrzőlistája
2	Műszaki rajz és mechanika	vetület, metszet, tűrés, statika, szilárdság, kinetika	5.4	fékút- és nyomatékszámítás hibátlanul
3	Anyag- és gyártásismeret, megmunkálás	anyagválasztás, hőkezelés, kötések, mérés	9.1	mérési jegyzőkönyv tolómérővel és mikrométerrel
4	Elektrotechnika és mérés	Ohm, Kirchhoff, félvezetők, multiméter, oszcilloszkóp	15.3	jelalak leolvasása és értékelése
5	Belső égésű motorok	körfolyamat, jellemzők, szerkezet, keverékképzés, utókezelés	16.2	motorjellemzők számítása
6	Erőátvitel, futómű, kormány, fék	áttétel, szinkron, bolygómű, kerékállás, fékrendszer, ABS/ESP	26.4	áttétel- és fékhatásszámítás, ESP-működés magyarázata
7	Gépjármű-villamosság és -elektronika	áramútrajz, akkumulátor, generátor, indítás, gyújtás, érzékelők, CAN	32.1	áramútrajz-olvasás és CAN-lezárás mérése
8	Hibrid és elektromos jármű, HV-biztonság	HV-felépítés, jogosultság, feszültségmentesítés, szigetelésmérés	34.2	a feszültségmentesítés lépéseinek hibátlan sorrendje
9	Karbantartás és dokumentáció	járműazonosítás, adatbázisok, szervizterv, folyadékok	35.3	időszakos szerviz ellenőrzőlistája

#	Kompetencia	Mit tud a tanuló?	Ellenőrző pont	Bizonyíték
10	Hatósági vizsga	jogi keret, vizsgálati technológiák, kibocsátás, felkészítés	36.3	vizsga előtti átvizsgálás jegyzőkönyve
11	Diagnosztika	mechanikai állapot, OBD, élő adat, gázelemzés, futómű, fék, villamos	39.4	komplex hibakeresés mérési értékekkel
12	Szerelés, javítás, ügyfélkapcsolat	motor-, erőátvitel-, futómű-, fék-, villamos javítás; munkalap, árajánlat	46.2	időre elvégzett, dokumentált javítás

Tanulási útvonalak

- **Teljes útvonal (0-ról):** I → XI. rész sorrendben; a IV. rész villamos alapjai a VII–IX. rész előfeltételei.
- **Műhelyi gyakorlattal rendelkezőknek:** I. rész (2.1–2.4), majd a IV. rész gyors ismétlése, V–VIII. rész, IX. rész, X. rész célzottan.
- **Vizsgafelkészítő:** a 46.1 témakör-térképe alapján a gyenge témák alfejezetei, majd 46.2 és 46.3.

A kerettanterv és a könyv megfeleltetése

Forrás: Szakképzési kerettanterv a XXII. Közlekedésgépész ágazathoz tartozó 54 525 02 Autószerelő szakképesítéshez (OKJ, 2016-os modulszámokkal; a hatályos szakmai követelmények a Szakképzés 4.0 rendszerben eltérhetnek – ellenőrizendő). Az óraszám a 9–13. évfolyamos / 13–14. évfolyamos képzésben; a 0 óra azt jelenti, hogy a téma csak az öt évfolyamos (mellékszakképesítéseket is adó) képzésben szerepel. A könyv minden témakört lefed; a bal oldali kód a kerettanterv témakörszáma.

1. Foglalkoztatás II. (15/15 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
1.3.1	Munkajogi alapismeretek	4/4	45.1 Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
1.3.2	Munkaviszony létesítése	4/4	45.1 Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése
1.3.3	Álláskeresés	4/4	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv
1.3.4	Munkanélküliség	3/3	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv

2. Foglalkoztatás I. (62/62 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
2.3.1	Nyelvtani rendszerezés 1	8/8	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv
2.3.2	Nyelvtani rendszerezés 2	8/8	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv
2.3.3	Nyelvi készségfejlesztés	24/24	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv
2.3.4	Munkavállalói szókincs	22/22	45.2 Álláskeresés, munkanélküliség és szakmai idegen nyelv

3. Közlekedési ismeretek (72/72 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
3.3.1	Közlekedéstörténet, közlekedési alapfogalmak	12/12	3.1 A közlekedés története, alágazatai és a közlekedésbiztonság
3.3.2	A közúti, a vasúti, a vízi és a légi közlekedés technikája	24/24	3.2 A közúti, vasúti, vízi és légi közlekedés technikája; 3.3 Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
3.3.3	A járművek menetdinamikája	36/36	6.1 Menetellenállások és teljesítményszükséglet; 6.2 Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás; 6.3 Ívmenet, tapadás, kicsúszási és borulási határsebesség

4. Műszaki rajz (72/72 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
4.3.1	Síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás	10/10	4.1 Rajzi alapok, síkmértani szerkesztések és vetületi ábrázolás
4.3.2	Metszeti ábrázolás	13/13	4.2 Metszetek és szelvények
4.3.3	Méretmegadás, felületminőség, tűrések és illesztések	13/13	4.3 Méretmegadás, felületi érdesség, tűrések és illesztések
4.3.4	Jelképes ábrázolások	36/36	4.4 Jelképes ábrázolások: menetek, fogazatok, csapágyak, rugók, kötések

5. Mechanika (72/72 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
5.3.1	Merev testek általános statikája	9/9	5.1 Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók
5.3.2	Síkbeli egyensúlyi szerkezetek	18/18	5.1 Statika: erők, nyomaték, egyensúly és kéttámaszú tartók

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
5.3.3	Szilárdságtan	27/27	5.2 Szilárdságtan I: feszültség, Hooke-törvény, húzás, nyomás és nyírás; 5.3 Szilárdságtan II: hajlítás, csavarás, összetett igénybevétel és kifáradás
5.3.4	Kinematika-kinetika	18/18	5.4 Kinematika és kinetika: mozgás, erő, munka, teljesítmény, energia

6. Gépelemek-géptan (72/72 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
6.3.1	Bevezetés, kötőgépelemek, kötések, biztosítások	20/20	10.1 Kötőgépelemek: csavarok, szegecsek, csapszegek, reteszek és biztosítások
6.3.2	Rugók és lengéscsillapítók	10/10	10.5 Rugók, lengéscsillapítók, csövek és csőszerelvények
6.3.3	Csövek és csőszerelvények	8/8	10.5 Rugók, lengéscsillapítók, csövek és csőszerelvények
6.3.4	Tengelyek	7/7	10.2 Tengelyek és csapágyazások
6.3.5	Csapágyazások	3/3	10.2 Tengelyek és csapágyazások
6.3.6	Tengelykapcsolók	6/6	10.3 Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten
6.3.7	Fékek	6/6	10.3 Tengelykapcsolók, szabadonfutók és fékek gépelem-szinten; 26.1 A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
6.3.8	Hajtások, hajtóművek, mechanizmusok	12/12	10.4 Hajtások: szíj-, lánc- és fogaskerékhajtás, mechanizmusok

7. Technológiai alapismeretek (108/108 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
7.3.1	Alapfogalmak	12/12	7.1 Anyagtani alapfogalmak, fémtan és a vas–szén diagram
7.3.2	Fémes szerkezeti anyagok	12/12	7.2 Acélok, öntöttvasak és jelölésük; könnyű- és színesfémek
7.3.3	Nemfémes szerkezeti anyagok	12/12	7.3 Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok
7.3.4	Öntészet, melegalakítások, hőkezelések	18/18	8.1 Öntészet, melegalakítás és hőkezelések
7.3.5	Kötések	12/12	8.3 Kötések: hegesztés, forrasztás és ragasztás
7.3.6	Forgács nélküli hidegalakítások	6/6	8.2 Hidegalakítás és forgácsolás
7.3.7	Forgácsolás	6/6	8.2 Hidegalakítás és forgácsolás
7.3.8	Felújítási technológiák	10/10	8.4 Felújítási technológiák
7.3.9	Anyag és hibakereső vizsgálatok	10/10	8.5 Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok
7.3.10	Szereléstechnika	10/10	9.4 Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések

8. Elektrotechnika-elektronika (201/216 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
8.3.1	Villamos alapfogalmak	20/27	11.1 Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok
8.3.2	Passzív és aktív villamos hálózatok	26/26	11.2 Kirchhoff-törvények, összetett hálózatok, osztók és hídkapcsolás; 11.3 Generátorok, belső ellenállás és a szuperpozíció
8.3.3	Vegyi elektromos folyamatok	8/8	11.4 Elektrokémia: elektrolízis, galvánelemek, akkumulátorok és korrózió
8.3.4	A villamos tér jelenségei	16/16	12.1 Villamos tér, kondenzátor és RC-időállandó
8.3.5	A mágneses tér jelenségei	26/26	12.2 Mágneses tér, mágneses kör és erőhatások; 12.3 Elektromágneses indukció, önindukció és kölcsönös indukció
8.3.6	Váltakozó áramú áramkörök, a transzformátor	12/16	13.1 Váltakozó áram, reaktanciák, RLC-körök és teljesítmény; 13.2 A transzformátor és a háromfázisú rendszer
8.3.7	Háromfázisú hálózatok	10/10	13.2 A transzformátor és a háromfázisú rendszer
8.3.8	Villamos gépek	28/28	13.3 Villamos gépek: egyenáramú gépek, generátorok, aszinkron és szinkron motorok
8.3.9	Félvezetők	24/28	14.1 Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók; 14.2 Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
8.3.10	Impulzustechnikai és digitális áramkörök	31/31	14.3 Impulzustechnika: RC-tagok, vágók, billenőkörök, Schmitt-trigger; 14.4 Digitális alapok: számrendszerek, logikai függvények, hálózatok, regiszterek

9. Karbantartási gyakorlatok (324/360 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
9.3.1	Mérés és előrajzolás	36/36	9.1 Mérés és ellenőrzés: tolómérő, mikrométer, mérőóra, hézagmérő, idomszerek
9.3.2	Megmunkálás I.	72/72	9.2 Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás
9.3.3	Kötések	108/108	9.3 Kötések készítése és oldása: csavarozás, szegecselés, forrasztás, ragasztás
9.3.4	Megmunkálások II.	36/36	9.2 Kézi megmunkálás: előrajzolás, reszelés, fűrészelés, vágás, hajlítás, fúrás, menetvágás; 9.4 Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések
9.3.5	Anyagvizsgálatok	12/12	8.5 Anyagvizsgálatok és hibakereső vizsgálatok

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
9.3.6	Szerelés	60/96	9.4 Gépi megmunkálás és gépelemek szerelése: esztergálás, köszörülés, csapágyak, fogaskerekek, tömítések; 40.1 A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése

10. Mérési gyakorlatok (124/144 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
10.3.1	Villamos méréstechnikai alapismeretek	40/50	15.1 Méréstechnikai alapok: műszerek, mérési hibák, multiméter és lakatfogó
10.3.2	Egyenáramú villamos alapmérések	68/78	15.2 Egyenáramú alapmérések
10.3.3	Váltakozó áramú villamos alapmérések	16/16	15.3 Oszcilloszkóp, váltakozó áramú mérések és félvezetők vizsgálata

11. Kerékpár szerkezeti ismeretek (36/0 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
11.3.1	Vázszerkezetek	6/0	43.1 Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű
11.3.2	Hajtóművek	12/0	43.1 Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű
11.3.3	Fékek	9/0	43.1 Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
11.3.4	Futóművek	9/0	43.1 Kerékpárok szerkezete: váz, hajtómű, fék és futómű

12. Kerékpárok javítási gyakorlata (103/0 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
12.3.1	Üzembehelyezés	30/0	43.2 Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása
12.3.2	Karbantartási feladatok	73/0	35.3 Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása; 43.2 Kerékpárok üzembe helyezése, karbantartása és javítása

13. Gépkezelő általános ismeretei (242/0 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
13.3.1	Gépelemek	36/0	4.5 Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása; 44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
13.3.2	Belsőégésű motorok	36/0	16.1 Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata; 16.5 A dízelmotor működése és keverékképzése; 20.1 A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók; 44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás
13.3.3	Elektromosság alapfogalmai	31/0	11.1 Villamos alapfogalmak, Ohm-törvény, munka, teljesítmény és hatásfok; 28.1 Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés; 28.2 A generátor; 29.1 Indítómotorok; 29.2 Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig; 29.3 Dízelmotorok indítási segédberendezései; 30.1 Fénytechnika és világítóberendezések; 44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
13.3.4	Hidraulika és pneumatika	36/0	4.5 Hidraulikus, pneumatikus és gépjárműrendszer-rajzok olvasása; 44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás
13.3.5	Gazdaságos üzemeltetés	5/0	44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás
13.3.6	Munka és balesetvédelmi ismeretek	36/0	2.1 Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök; 2.2 Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő
13.3.7	Gépkezelő adminisztrációs feladatok	6/0	44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás
13.3.8	Hibaelhárítás	36/0	44.1 Gépkezelő általános ismeretei: hidraulika, pneumatika, gazdaságos üzemeltetés, adminisztráció, hibaelhárítás
13.3.9	Elsősegély nyújtási ismeretek	10/0	2.4 Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
13.3.10	Tűz- és környezetvédelmi ismeretek	10/0	2.3 Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben; 2.4 Tűzvédelem és elsősegély a járműjavító műhelyben

14. Emelőgépkezelő speciális feladatai (36/0 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
14.3.1	Az emelőgép rendszerezése, szerkezettana	12/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
14.3.2	Rakatképzés szabályai	4/0	2.3 Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben
14.3.3	Veszélyes és egészségre ártalmas anyagok	4/0	2.3 Veszélyes anyagok, hulladékok és környezetvédelem a műhelyben
14.3.4	Teherfelvevő-, kötöző-, függesztő eszközök	4/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
14.3.5	Anyagmozgatás, közlekedés szabályai a munkaterületen	4/0	2.1 Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök; 2.2 Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
14.3.6	Kötöző és irányítói feladatok	4/0	2.2 Műhelyi veszélyek: emelés, akna, kipufogógáz, forgó részek, sűrített levegő; 44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
14.3.7	Egyéni és csoportos védőfelszerelések	4/0	2.1 Munkavédelmi jogi keret, kockázatértékelés és egyéni védőeszközök

15. Emelőgépkezelő speciális feladatai gyakorlat (36/0 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
15.3.1	Emelőgép üzemeltetés előtti karbantartó-műszaki vizsgálata	8/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
15.3.2	Emelőgép-napló kitöltés	4/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
15.3.3	Működési vizsgálat	4/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
15.3.4	Kezelőszervek működésének ellenőrzése	4/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
15.3.5	Távvezérlő működése	4/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat
15.3.6	Gépkezelési (emelési) gyakorlat	12/0	44.2 Emelőgépkezelés: szerkezettan, teherfelvevő eszközök, kötözés, irányítás és üzemeltetés előtti vizsgálat

16. Járműkarbantartás (31/31 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
16.3.1	Dokumentációs ismeretek	15/15	1.1 A könyv használata és a szakma követelménytérképe; 27.1 A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz; 35.1 Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok; 35.4 Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása
16.3.2	Ápolási és szervizműveletek	6/6	7.3 Nemfémes anyagok, kenőanyagok és üzemi folyadékok; 35.2 Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések; 35.3 Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
16.3.3	Gépkocsi vizsgálati műveletek	10/10	3.3 Járműkategóriák és a közúti járművek fő műszaki adatai; 36.1 A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga; 36.3 Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára

17. Gazdasági ismeretek (15/15 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
17.3.1	Adózási ismeretek	6/6	45.3 Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok
17.3.2	Munkajogi ismeretek	4/4	45.1 Munkajogi alapok és a munkaviszony létesítése; 45.4 Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben
17.3.3	Gazdasági társaságok	3/3	45.3 Adózás, vállalkozási formák és gazdasági társaságok
17.3.4	Fogyasztóvédelmi ismeretek	2/2	45.4 Ügyfélkapcsolat, munkalap, árajánlat, fogyasztóvédelem és jótállás a szervizben

18. Járműkarbantartás gyakorlata (93/93 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
18.3.1	Dokumentációs ismeretek	10/10	35.1 Járműazonosítás, adatbázisok, javítási utasítások és kapcsolási rajzok; 35.4 Kárfelvétel, értékesítési dokumentáció és a gépjármű bontása
18.3.2	Ápolási és szervizműveletek	30/30	24.3 Kerekek és gumiabroncsok; 30.3 Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés; 35.2 Ápolási és szervizműveletek, folyadékok és szintellenőrzések; 35.3 Karbantartási ütemterv és a jármű átvizsgálása; 41.5 Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban
18.3.3	Gépkocsivizsgálati műveletek	53/53	36.1 A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga; 36.2 Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj; 36.3 Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára

19. Gépjármű-szerkezettan (186/186 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
19.3.1	Otto-motorok szerkezete, működése	30/30	16.1 Belső égésű motorok csoportosítása, a négyütemű Otto-motor működése és körfolyamata; 16.2 Motorjellemzők: lökettérfogat, sűrítési arány, középnyomás, teljesítmény, nyomaték, hatásfok és fogyasztás; 16.3 Égés, kopogás és jelleggörbék; 16.4 Kétütemű Otto-motorok; 17.1 A forgattyús hajtómű: dugattyú, dugattyúgyűrűk, csapszeg és hajtórúd; 17.2 Forgattyús tengely, lendkerék, csapágyak és tömegkiegyenlítés; 17.3 Hengertömb, hengerfej, hengerfejtömítés, égéstér, szívó- és kipufogórendszer
19.3.2	Dízelmotorok szerkezete, működése	30/30	16.5 A dízelmotor működése és keverékképzése; 17.4 A töltéscsere vezérlése: vezérlési diagram, szelepek, szelephézag, hidraulikus szelepemelők; 17.5 Vezérműhajtás: fogasszíj, lánc, fogaskerék; a vezérműszíj cseréje; 17.6 Feltöltés: turbófeltöltő, változtatható geometria, mechanikus és dinamikus feltöltés

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
19.3.3	Motorok hűtése, kenése	8/8	18.1 A motor hűtése; 18.2 A motor kenése, olajszűrés, olajhűtés és a levegő- és tüzelőanyag-szűrők
19.3.4	Motorok tüzelőanyag-ellátó rendszerei	32/32	19.1 Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken); 19.2 Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek; 19.3 Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok; 20.1 A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók; 20.2 Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés; 21.1 A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés; 21.2 Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás; 21.3 Dízel-utókezelés: oxidációs katalizátor, NOx-tároló, SCR és AdBlue, részecskeszűrő; 21.4 Emissziós szabályozás, Euro-normák és alternatív tüzelőanyagok

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
19.3.5	Erőátviteli berendezések	28/28	6.1 Menetellenállások és teljesítményszükséglet; 6.2 Vonóerő-diagram, menetteljesítmény-diagram és áttételválasztás; 22.1 Tengelykapcsolók: száraz súrlódó, kettős tömegű lendkerék, hidrodinamikus; 22.2 Kézi kapcsolású nyomatékváltók és a szinkronszerkezet; 22.3 Bolygóművek és a hidrodinamikus nyomatékváltó; 22.4 Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók; 23.1 Kardánhajtás, csuklók és féltengelyek; 23.2 Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak
19.3.6	Futóművek, kormányberendezések	28/28	24.1 Rugózás és lengéscsillapítás; 24.2 Kerékfelfüggesztések; 24.3 Kerekek és gumiabroncsok; 24.4 Alváz, önhordó karosszéria, aktív és passzív biztonság; 25.1 Kormánygeometria és kerékállás-jellemzők; 25.2 Kormányművek és kormányrudazat; 25.3 Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
19.3.7	Fékrendszerek	30/30	26.1 A fékezés fizikája, a fékek osztályozása és az előírások; 26.2 A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék; 26.3 Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás; 26.4 Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA; 26.5 Rögzítőfékek és tartós lassító fékek; 26.6 Légfékek és pótkocsifékek

20. Gépjármű-villamosságtan (124/124 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
20.3.1	A gépjármű villamos hálózata	20/20	14.1 Félvezetők, diódák, Zener-dióda és egyenirányítók; 14.2 Tranzisztorok, tirisztorok és optoelektronika; 27.1 A fedélzeti hálózat felépítése, kapocsjelölés és áramútrajz; 27.2 Vezetékek, csatlakozók, biztosítók, relék és fénykábelek; 27.3 Elektronikai elemek a gépjármű villamos hálózatában

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
20.3.2	Villamos energia ellátás	34/34	28.1 Az indítóakkumulátor: felépítés, jellemzők, kiválasztás és töltés; 28.2 A generátor; 28.3 Feszültségszabályozás és energiamenedzsment
20.3.3	Fogyasztók	34/34	25.3 Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás; 29.1 Indítómotorok; 29.2 Gyújtóberendezések: a hagyományostól a teljesen elektronikus gyújtásig; 29.3 Dízelmotorok indítási segédberendezései; 30.1 Fénytechnika és világítóberendezések; 30.2 Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés; 30.3 Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés; 30.4 Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő; 32.1 Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet; 32.2 Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája; 32.3 Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
20.3.4	Motorok elektronikus irányítása	36/36	19.1 Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken); 19.2 Szívócső-befecskendezés: központi (SPi) és hengerenkénti (MPi) rendszerek; 19.3 Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok; 20.1 A dízel tüzelőanyag-rendszer kisnyomású oldala és a hagyományos adagolók; 20.2 Közös nyomásterű (common rail) dízelbefecskendezés; 21.1 A kipufogógáz összetétele, motoroldali kibocsátáscsökkentés és kipufogógáz-visszavezetés; 21.2 Otto-motorok utókezelése: háromutas katalizátor és lambdaszabályozás; 31.1 A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek; 31.2 Érzékelők és jeladók; 31.3 Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep; 37.3 Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás

21. Szerelési gyakorlat (217/217 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
21.3.1	Motorok	70/70	19.1 Tüzelőanyag-ellátás, a karburátor és a mechanikus befecskendezés (régi járműveken); 40.1 A motor ki- és beszerelése, szétszerelése és a forgattyús hajtómű hibafelvételezése; 40.2 Hengerfej, szelepek és a vezérlés javítása; 40.3 A kenő-, hűtő- és tüzelőanyag-rendszer javítása
21.3.2	Erőátviteli berendezések	35/35	22.4 Automata, kettős tengelykapcsolós és fokozatmentes váltók; 23.1 Kardánhajtás, csuklók és féltengelyek; 23.2 Tengelyhajtás, kiegyenlítőmű és differenciálzárak; 23.3 Összkerékhajtás; 41.1 Tengelykapcsoló, nyomatékváltó és automata váltó szerelése, olajcsere; 41.2 Kardán, féltengely, csuklók és kiegyenlítőmű szerelése

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
21.3.3	Futóművek és kormányberendezések	28/28	24.1 Rugózás és lengéscsillapítás; 24.2 Kerékfelfüggesztések; 24.3 Kerekek és gumiabroncsok; 25.2 Kormányművek és kormányrudazat; 25.3 Szervokormányok: hidraulikus, elektrohidraulikus, elektromechanikus és aktív kormányzás; 41.3 Futómű és kormány szerelése: kerékcsapágy, szilent, gömbcsukló, rugó, lengéscsillapító, kormánymű; 41.5 Kerékcsere, gumiabroncs-szerelés és kerékkiegyensúlyozás a gyakorlatban
21.3.4	Fékrendszerek	28/28	26.2 A hidraulikus fékrendszer: főfékhenger, kétkörös elrendezés, fékrásegítés, fékfolyadék; 26.3 Kerékfékek: dobfék és tárcsafék, fékbetétek, utánállítás; 26.4 Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA; 26.5 Rögzítőfékek és tartós lassító fékek; 26.6 Légfékek és pótkocsifékek; 38.3 Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata; 41.4 Fékjavítás: betét, tárcsa, dob, nyereg, légtelenítés, ABS és EPB

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
21.3.5	Elektromos berendezések szerelése	56/56	26.4 Blokkolásgátló és menetstabilizáló rendszerek: ABS, ASR, ESP, EBV, EBA; 30.2 Egyéb fogyasztók, komfortelektronika és rádiózavar-szűrés; 30.3 Utastéri fűtés, szellőzés és klímaberendezés; 30.4 Passzív biztonsági elektronika: légzsák és övfeszítő; 31.1 A motorirányítás alapjai: vezérlőegység, szabályozási kör, üzemállapotok és rendszerek; 31.2 Érzékelők és jeladók; 31.3 Beavatkozók: injektorok, gyújtótekercsek, fojtószelep, alapjárat-szabályozó, EGR-szelep; 32.1 Adatbusz-hálózatok: CAN, LIN, FlexRay, MOST és Ethernet; 32.2 Buszhibák és az adatbusz-hálózatok diagnosztikája; 32.3 Vezetőtámogató rendszerek és kalibrálásuk; 39.1 Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája; 39.3 Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal; 39.4 Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram; 42.1 Vezetékjavítás, csatlakozók, világítás, áramellátás és indítás szerelése; 42.2 Elektronikus rendszerek javítása:

22. Járműdiagnosztika (93/93 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
22.3.1	Motordiagnosztika	36/36	37.1 Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata; 37.2 Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD; 37.4 Gázelemzés és füstölésmérés; 37.5 Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC; 37.6 Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája
22.3.2	Futómű- és fékdiagnosztika	22/22	36.1 A hatósági vizsgálat jogi keretei: forgalomba helyezés, forgalmi engedély, időszakos vizsga; 36.3 Környezetvédelmi felülvizsgálat, tanúsítvány és a jármű felkészítése a műszaki vizsgára; 38.1 Futóműbemérés; 38.2 Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás; 38.3 Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata; 38.4 Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
22.3.3	Villamos berendezések diagnosztikája	35/35	36.2 Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj; 37.3 Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás; 39.1 Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája; 39.2 Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika; 39.4 Áramút-alapú hibakeresés: feszültségesés, szakadás, zárlat, nyugalmi áram

23. A járműdiagnosztika gyakorlata (124/124 óra)

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
23.3.1	Motordiagnosztika	48/48	37.1 Diagnosztikai alapfogalmak és a motor mechanikai állapotvizsgálata; 37.2 Fedélzeti diagnosztika: OBD és EOBD; 37.4 Gázelemzés és füstölésmérés; 37.5 Dízeldiagnosztika: adagolás, common rail, PDE és EDC; 37.6 Levegőellátás, kipufogórendszer, turbófeltöltő és fogyasztásmérés diagnosztikája

Témakör	Megnevezés	Óra	Könyv (fejezet.alfejezet)
23.3.2	Futómű és fékdiagnosztika	28/28	38.1 Futóműbemérés; 38.2 Lengéscsillapító-vizsgálat és kerékkiegyensúlyozás; 38.3 Fékberendezések diagnosztikai és hatósági vizsgálata; 38.4 Hidraulikus rendszerek és a szervokormány diagnosztikája
23.3.3	Villamos berendezések diagnosztikája	48/48	36.2 Vizsgálati technológiák: fék, fényszóró, lengéscsillapítás, futómű holtjáték, ablakok, zaj; 37.3 Rendszerteszter-használat: élő adatok, beavatkozó teszt, adaptációk, kódolás; 39.1 Az áramellátó és indítórendszer diagnosztikája; 39.2 Gyújtásvizsgálat és oszcilloszkópos gyújtásdiagnosztika; 39.3 Jeladók és beavatkozók vizsgálata multiméterrel és oszcilloszkóppal

Amit a könyv a kerettantervhez képest pluszban ad

Az alábbi alfejezeteknek nincs közvetlen kerettantervi témaköre; a mai autószerelő munkájához vagy az önálló tanuláshoz szükségesek (a szakmai indoklás a KEPZESI_ELEMZES.md-ben):

- 1.2 Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés
- 1.3 Otthoni tanulás, szerszámkészlet és a biztonságos gyakorlás határai
- 33.1 Hibrid és elektromos hajtások áttekintése
- 33.2 A nagyfeszültségű akkumulátor és az akkumulátor-felügyelet (BMS)
- 33.3 Villamos hajtás: villanymotor, inverter, DC/DC átalakító, regeneratív fékezés és hőmenedzsment
- 33.4 Töltés: AC és DC töltés, töltőcsatlakozók, töltési módok
- 34.1 HV-veszélyek, jogosultság és munkaszervezés
- 34.2 Feszültségmentesítés és a feszültségmentesség ellenőrzése
- 34.3 Mérések a HV-rendszeren: szigetelési ellenállás és potenciálkiegyenlítés

- 34.4 Sérült HV-jármű és -akkumulátor: mentés, tűz, szállítás, tárolás és újrahasznosítás
- 46.1 Írásbeli és szóbeli vizsgafelkészülés: témakör-térkép és mintafeladatok
- 46.2 Gyakorlati vizsgafelkészülés: komplex hibakeresési és szerelési feladatok
- 46.3 Próbavizsga és önértékelés

Továbbá a meglévő témakörökön belül a könyv kiegészíti a régi rendszereket a mai megfelelőikkel (közvetlen befecskendezés, GPF, SCR/AdBlue, kettős tengelykapcsolós váltó, elektromechanikus szervokormány, EPB, LIN/FlexRay/Ethernet, ADAS-kalibrálás, energiamenedzsment, start-stop).

Bibliográfia és forráskulcsok

Ezek a tervben szereplő kiindulópontok, nem ebben a tervben ellenőrzött források. Az URL nélküli tételeknél a kiadói, hatósági vagy szabványügyi oldalt a `research` lépés keresse meg; URL-t, kiadást, szabványszakaszt, jogszabályszámot, paragrafust vagy oldalszámot ne találj ki. **Minden jogszabály-, ECE-előírás- és szabványszám, hatályosság, határérték, vizsgálati gyakoriság és gyártói beállítási adat ellenőrzendő a kiadás előtt** (a szövegben „(ellenőrizendő: …)” jelzéssel), mert a magyar és uniós szabályozás és a gyártói adatok időben változnak.

Fejezetenként közös forráscsomag. A fejezet-leírás fókusza és URL-jei az elsődlegesek; az alábbi lista referencia-térkép. Minimum három releváns forrás szükséges, olvasott szakasz/állítás szerint. A konvenciók forrásonként eltérnek (hazai jogszabály, uniós rendelet, ENSZ-EGB előírás, gyártói gyakorlat, német szakirodalom); minden forrásnál rögzíteni kell a használt konvenciót és az esetleges eltérést a könyv context.md-beli konvenciójától. Továbbtanulás further_reading; hiány gaps.

Magyar jogszabályok és hatóságok

- https://net.jogtar.hu/ (Nemzeti Jogszabálytár: hatályos törvények és rendeletek)
- https://magyarkozlony.hu/ (Magyar Közlöny: jogszabályok kihirdetése)
- Közúti járművek műszaki megvizsgálása: 5/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai (ellenőrizendő: hatályos szöveg)
- Forgalomba helyezés és forgalomban tartás műszaki feltételei: 6/1990. (IV. 12.) KÖHÉM rendelet és módosításai (ellenőrizendő)
- Munkavédelem: 1993. évi XCIII. törvény és végrehajtási rendeletei; egyéni védőeszközök, munkahelyek kialakítása (ellenőrizendő)
- Tűzvédelem: Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) (ellenőrizendő: hatályos rendelet)
- Hulladékgazdálkodás: 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról; veszélyes hulladék, hulladékolaj, elem- és akkumulátorhulladék, hulladékká vált gépjármű rendeletei (ellenőrizendő)
- Fluortartalmú üvegházhatású gázok (F-gáz) hazai végrehajtási szabályai, képesítés (ellenőrizendő)
- Munka Törvénykönyve: 2012. évi I. törvény; fogyasztóvédelem: 1997. évi CLV. törvény; Ptk. jótállás, szavatosság; adótörvények (ellenőrizendő)
- Emelőgép Biztonsági Szabályzat (ellenőrizendő: hatályos rendelet)
- A közlekedési hatóság és a műszaki vizsgálóállomások aktuális szervezete és útmutatói (ellenőrizendő: szervezeti név)

Uniós és nemzetközi szabályozás

- https://eur-lex.europa.eu/ (EUR-Lex: uniós rendeletek és irányelvek)
- (EU) 2018/858 rendelet: gépjárművek típusjóváhagyása és piacfelügyelete (ellenőrizendő)
- 2014/45/EU irányelv: időszakos műszaki alkalmasági vizsgálat (ellenőrizendő)
- 715/2007/EK (Euro 5/6), 595/2009/EK (Euro VI), (EU) 2024/1257 (Euro 7) kibocsátási szabályozás (ellenőrizendő)
- (EU) 2019/2144 általános biztonsági rendelet (vezetőtámogató rendszerek, TPMS) (ellenőrizendő)
- (EU) 2024/573 F-gáz rendelet, 2006/40/EK (MAC) irányelv a járműklímákról (ellenőrizendő)
- (EU) 2023/1542 akkumulátorrendelet; 2000/53/EK irányelv a hulladékká vált járművekről (ellenőrizendő)
- https://unece.org/transport/vehicle-regulations (ENSZ-EGB járműelőírások: R13/R13-H fék, R48 világítás-felszerelés, R30/R54/R117 abroncs, R64/R141 TPMS, R79 kormány, R100 elektromos hajtás biztonsága – számok ellenőrizendők)
- https://osha.europa.eu/ (EU-OSHA: munkahelyi biztonság, veszélyes anyagok)
- https://echa.europa.eu/ (ECHA: CLP, biztonsági adatlap)
- https://climate.ec.europa.eu/ (Európai Bizottság: F-gáz szabályozás)

Szabványok

- https://www.mszt.hu/ (Magyar Szabványügyi Testület: MSZ, MSZ EN, MSZ ISO szabványok)
- https://www.iso.org/ (ISO: szabványkereső)
- Műszaki rajz: MSZ EN ISO 128, ISO 129-1, ISO 1101, ISO 286, ISO 21920 (érdesség), ISO 1219 (hidraulika/pneumatika jelképek) (ellenőrizendő)
- Járművillamosság: DIN 72552 (kapocsjelölés), ISO 6722 (vezetékek), ISO 11898 (CAN), ISO 17987 (LIN), EN 50342 (indítóakkumulátorok) (ellenőrizendő)
- Diagnosztika: ISO 15031 / SAE J1962, J1979 (OBD-csatlakozó, szolgáltatások), ISO 14229 (UDS) (ellenőrizendő)
- Járműazonosítás: ISO 3779 (VIN) (ellenőrizendő)
- Elektromos jármű: IEC 61851 (töltési rendszer), EN 62196 (csatlakozók), ISO 6469 (elektromos járművek biztonsága), ISO 17840 (mentési adatlap), MSZ EN 50110-1 (villamos berendezések üzemeltetése), MSZ EN 61010 (mérőműszerek, CAT) (ellenőrizendő)
- Kerékpár: EN ISO 4210, EN 15194 (EPAC) (ellenőrizendő)

Szakmai szervezetek és képzés

- https://www.ikk.hu/ (Innovációs és Képzési Központ: szakképzési dokumentumok, KKK, PTT – ellenőrizendő)
- https://mkik.hu/ (Magyar Kereskedelmi és Iparkamara: szakmai vizsgák, mesterképzés – ellenőrizendő)
- https://www.euroncap.com/ (Euro NCAP: passzív és aktív biztonság, vezetőtámogató rendszerek értékelése)
- Gyártói javítási információk: a gyártók szervizinformációs portáljai (uniós javítási információ-hozzáférési kötelezettség, (EU) 2018/858 – ellenőrizendő)

Szakkönyv-típusok és adatbázisok (cím és kiadás a research lépésben)

- Gépjármű-szerkezettan, gépjármű-villamosság és -elektronika, járműdiagnosztika tankönyvek (hazai felsőoktatási és szakképzési jegyzetek)
- Bosch szakkönyvek (Kraftfahrtechnisches Taschenbuch / Automotive Handbook; Gelbe Reihe füzetek) – rendszerek leírásához (ellenőrizendő: kiadás)
- Európa-Lehrmittel: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik és Tabellenbuch Kraftfahrzeugtechnik (magyar fordítás: Gépjárműtechnika szakismeret – ellenőrizendő)
- Javítási adatbázis-típusok: Autodata (műszaki adatok, kapcsolási rajzok), Audatex (kárkalkuláció), Eurotax (értékbecslés) – csak típusként, nem ajánlásként
- HV-képzési anyagok: gyártói és kamarai HV-tanfolyamok tananyagai (ellenőrizendő: hazai képesítési követelmény)