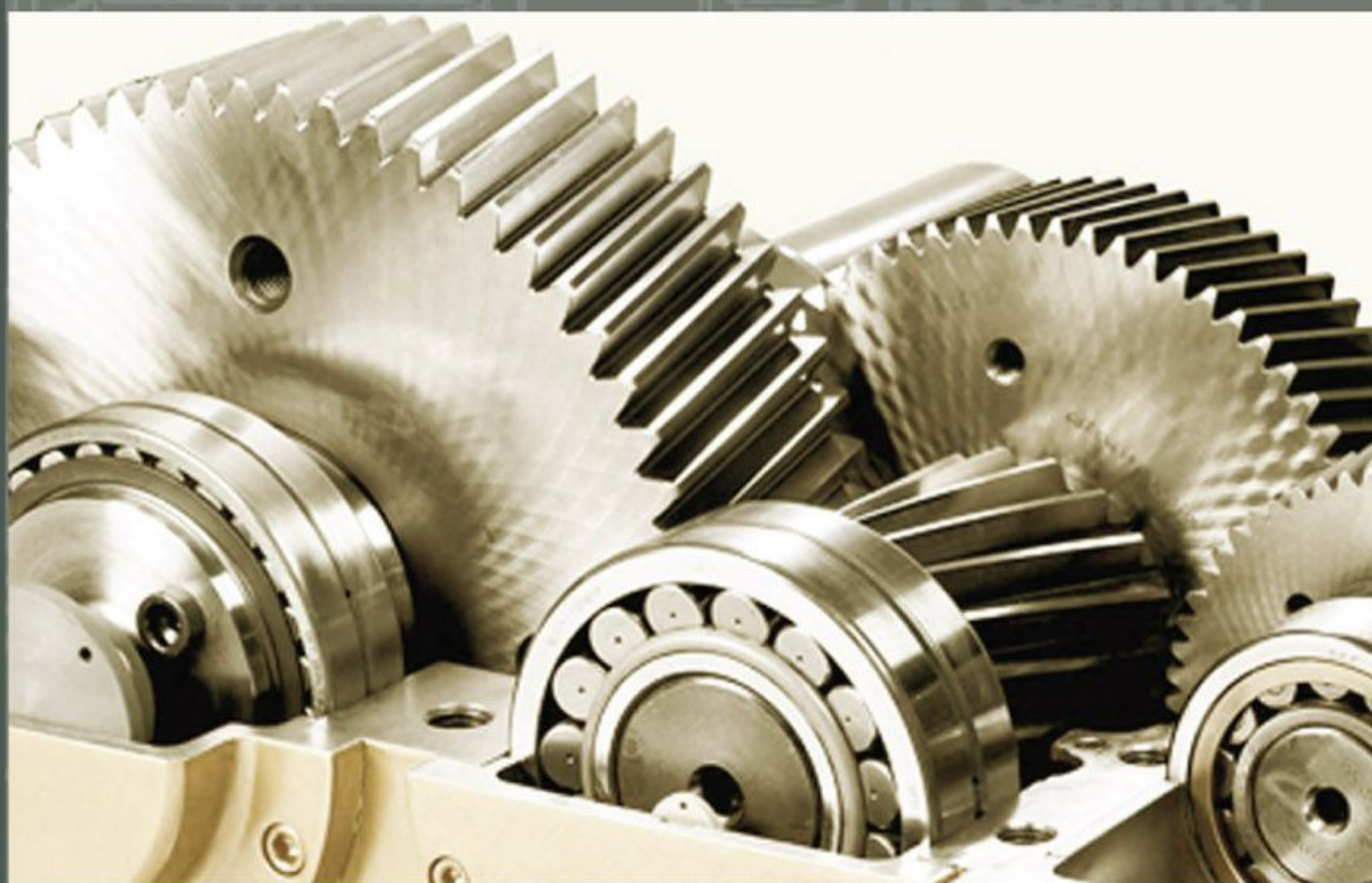


Fazekas
Lajos
Tribológiai
folyamatok
az üzemeltetésben



Debreceni Egyetem Műszaki Kar
Gépészmérnöki tanszék

DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

Dr. Fazekas Lajos

TRIBOLÓGIAI FOLYAMATOK
AZ ÜZEMELTETÉSBEN



Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press
2019

Lektor:
Dr. Kocsis Imre
tanszékvezető főiskolai tanár
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék

© Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press,
beleértve az egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát is

ISBN 978 963 318 748 7

Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press
Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi
Nyomdai munkálatokat
a Debreceni Egyetem sokszorosítóüzeme végezte 2019-ben
www.dupress.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	9
1. A tribológia tudománya	10
1.1. A tribológia rendszerelmélete	12
1.2. Tribológiai rendszerek állapotai és szerkezetei.....	13
1.3. A károsodások, a tönkremenetel okai	14
1.4. A szilárdtest és kopás	19
1.5. Súrlódási állapotok.....	24
1.6. Kopás fajták.....	28
1.6.1. Abráziós kopás	33
1.6.2. Adhéziós kopás.....	34
1.6.3. Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting).....	35
1.6.4. Kavitációs kopás	38
1.6.5. Oxidációs kopás	40
1.6.6. Eróziós kopás.....	41
1.6.7. Súrlódási korrózió (fretting kopás).....	42
1.6.8. Ferrográfia.....	44
2. Kenőanyagokról általában	46
2.1. Kenőolajok.....	50
2.1.1. Motorolajok	55
2.1.2. Hajtóműolajok	68
2.1.3. Hidraulikaolajok.....	72
2.2. Kenőzsírok.....	82
2.2.1. A kenőzsírok felépítése.....	83
2.2.2. A kenőzsírok kiválasztása, jelölése, osztályozása.....	84
2.3. Szilárd kenőanyagok	93
3. Gépelemek kenése	98
3.1. Gördülőcsapágyak kenése	101

3.1.1. Gördülőcsapágyak zsírkenés.....	102
3.1.2. Gördülőcsapágyak olajkenése.....	106
3.1.3. Kenés szilárd kenőanyaggal.....	109
3.2. Siklócsapágyak	111
3.2.1. A siklócsapágyak kenőanyagai	115
3.2.2. Siklócsapágy kenési rendszerek	116
3.3. Fogaskerekek kenése	117
3.3.1. A fogaskerekek kenőanyagai és kenési módjai.....	118
4. KENÉSGAZDÁLKODÁS	120
4.1. A feltételrendszer kialakítása.....	120
4.2. A kenőanyag kiválasztás irányelvei:	121
4.3. Kenőanyag-beszerezés, minőségi átvétel, raktározás.....	121
4.4. Kivételezés, szétosztás, fáradt olaj gyűjtése.....	122
4.5. Üzemi kenési feladatok ellátása, környezetvédelem.....	122
4.6. A kenéstechnikai dokumentáció.....	123
4.7. Kenőanyagcsere	124
Felhasznált szakirodalom	125

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra. A tribológia szerepkörének bővülése az utóbbi fél évszázadban	11
2. ábra. A tribológiai rendszer általános modelje	12
3. ábra. Stacionárius tribológiai rendszer modelje	13
4. ábra. Dinamikus tribológiai rendszer modelje.....	13
5. ábra. Az értékcsökkentő hatások	14
6. ábra. A meghibásodások csoportosítás	15
7. ábra. Elemi tribológiai rendszer I.	17
8. ábra. Elemi tribológiai rendszer II.....	18
9. ábra. Gépelemen kialakuló felületi réteg	19
10. ábra. A felületi réteg szerkezete.....	20
11. ábra. A súrlódási tényező és érdességi paraméter kapcsolata	20
12. ábra. Lézerhonoró berendezés az Audi Motor Hungária Kft-nél	21
13. ábra. Belsőégésű motor lézermegmunkálóval kialakított hengerfelülete.....	21
14. ábra. A kopást meghatározó tényezők.....	21
15. ábra. Viszonylagos elmozdulás módjai	22
16. ábra. A súrlódási módok és állapotok	22
17. ábra. Newtoni folyadék értelmezése.....	23
18. ábra. Száraz és folyadéksúrlódás.....	24
19. ábra. Harc a felületért.....	25
20. ábra. Vegyes kenési modell	25
21. ábra. Hidrodinamikus kenés	25
22. ábra. Vegyes kenési modell, EHD kenés.....	26
23. ábra. Elasztóhidrodinamikus (EHD) példák.....	26
24. ábra. A fáradásos károsodás jelei belsőégésű motor csapágóin.....	26
25. ábra. Stribeck diagram.....	27
26. ábra. Kenésállapotok és a súrlódási tényező kapcsolata.	27
27. ábra. Kenésállapotok, súrlódás és kopás összefüggése	28

28. ábra. A kopás folyamata.	29
29. ábra. A kopás erőssége.....	29
30. ábra. A kopás jellegének és nagyságának változása.....	29
31. ábra. A kopás alapfolyamatai	30
32. ábra. Erősen lerakódott felület, rossz DD (detergnens-diszpergens) hatású olaj	31
33. ábra. Jó DD hatás (detergnens-diszpergens).....	31
34. ábra. Korrodált fogaskerekek.....	31
35. ábra. A kenőanyagok alapvető feladatai.....	31
36. ábra. A kopás fajtái	32
37. ábra. Kéttest abrúziós kopása	33
38. ábra. Háromtest abrúziós kopása.....	33
39. ábra. Az abrúziós kopások ferrográfias felvételei	33
40. ábra. Az adhúziós kopás folyamata.....	34
41. ábra. Adhúziós kopásrészecske ferrográfias képe	35
42. ábra. A fáradásos kopás előre haladási folyamata (1, 2, 3)	36
43. ábra. Példa fáradásos kopásra gördülöcsapágyak esetében.....	36
44. ábra. A fáradásos kopás mechanizmusa.....	37
45. ábra. Fogaskerék hajtóműben levő fogaskerék fáradásos kopása	37
46. ábra. Gördülöcsapágy gyűrűjén látható fáradásos kopás	37
47. ábra. A kavitációs kopás folyamata	38
48. ábra. Kavitáló hajócsavar	39
49. ábra. Fogaskerék szivattyúban létrejöhethő kavitáció	39
50. ábra. Fogaskerék szivattyúban létrejöhethő kavitációs folyamata.....	39
51. ábra. Az oxidációs kopás folyamata.....	40
52. ábra. Az ütközési sebesség hatása a kopás nagyságára.....	41
53. ábra. Fekete- és vörösoxid részecskék ferrográfias felvételei	42
54. ábra: A fretting kopás folyamata	42
55. ábra: Néhány példa a súrlódási korrózió előfordulási helyeire	43
56. ábra: Az oxidációs kopás (fretting) folyamata (súrlódási folyamatot erős oxidáció kíséri).....	43
57. ábra. Kopásrészecskék vizsgálata ferrográf készülékkel	44

58. ábra. A kopásrészecskék számának és méretmegoszlásának változása egy gép elhasználódása során	45
59. ábra. Kenőanyag felhasználás százalékos megoszlása	46
60. ábra. A kőolaj-finomítás elvi vázlata	47
61. ábra. Alapvető szénhidrogén molekula	48
62. ábra. A kőolaj desztillációját végző torony sematikus rajza	48
63. ábra. Adalékok tulajdonságai	51
64. ábra. Kőolaj-eredetű és szintetikus olajok alkalmazási hőmérséklet-tartománya	52
65. ábra. Viskozitási fokozatok	53
66. ábra. A folyadékok viszkozitása	53
67. ábra. A viszkozitási index meghatározása vizsgált olajnál (sárga)	54
68. ábra. Motorolaj általános felépítése	56
69. ábra. SAE szerinti viszkozitási osztályok	57
70. ábra. Többfokozatú olajok értelmezése	58
71. ábra. Motorolajok osztályozása	59
72. ábra. Motorolajok teljesítmény szintjei	60
73. ábra Motorolajok alkalmazhatósága	60
74. ábra. Minősítő rendszerek	63
75. ábra. A motorolajat üzem közben befolyásoló tényezők és az adalékok összefüggései	67
76. ábra. Fogaskerékes hajtómű	68
77. ábra. Hajtóműolajok alkalmazhatósága	70
78. ábra. Hidraulikus berendezések felépítése	74
79. ábra. Egyszerű hidraulikus rendszer	74
80. ábra. Hidraulikaolajok viszkozitási csoportja	76
81. ábra. Hidraulikaolajok teljesítményszintje	77
82. ábra. Szennyeződések a hidraulikus rendszerben	78
83. ábra. Berendezés meghibásodási folyamata	79
84. ábra. Szűrési viszonyszám értelmezése	80
85. ábra. Különbség egy új és egy régi olajszűrő között	81
86. ábra. Szűrők elhelyezése	81

87. ábra. A kenőzsír felépítése	83
88. ábra. A kenőzsírok megnevezésének értelmezése DIN 51825 szerint	85
89. ábra. Kenőzsírok konzisztenciája.....	87
90. ábra. Konzisztencia fokozat mérésének menete	87
91. ábra. A kenőzsírok megnevezésének értelmezése ISO 6743-9 szerint	88
92. ábra. Szilárd kenőanyag alkalmazási példák.....	96
93. ábra. Szilárd kenőanyag alkalmazása magas hőmérsékleten üzemelő csapágynál	97
94. ábra. Gördülőcsapágy zsírkenése és alkalmazott zsírzó szerkezetek.....	103
95. ábra. Az automatikus kenés fő előnyei	105
96. ábra. Elektro-mechanikus egyponτος automata kenőberendezés.....	106
97. ábra. Merülő olajkenés	107
98. ábra. Cirkulációs olajkenés	108
99. ábra. Olajköd kenése.....	108
100. ábra. Olajbefecskendezés	109
101. ábra. Hibás zsírválasztás	110
102. ábra. Hidraulika olaj kimosta a kenőanyagot a csapágyból.....	110
103. ábra. Alulkenés hatása.....	111
104. ábra. Kosártörés kenési hibából	111
105. ábra: Siklócsapágy.....	112
106. ábra. Talpascsapágy működési elve	113
107. ábra. Hidrosztatikus csapágy kialakítások.....	114
108. ábra. a) Nyomáseloszlás hidrodinamikai csapágyaknál;	
b) Stribeck-féle diagram	114
109. ábra. A siklócsapágyakban kialakuló kenésállapot a fordulatszám függvényébe	115
110. ábra. Egyszerű nem osztott csapágy.....	115
111. ábra. Laza kenőgyűrűs, osztott siklócsapágy.....	116
112. ábra. A fogaskerekek jellemző részei	117

BEVEZETÉS

Korunk egyik jelentős kihívása a folyamatos műszaki fejlődés, melynek ütemét a tudományos-technikai forradalom szabja meg. A tribológia a kölcsönösen egymásra ható és egymáshoz viszonyítva elmozduló felületek tudománya és technikája, magában foglalja a kapcsolódó gyakorlati intézkedéseket is. A tribológia érvényességi és érdeklődési területe szerteágazó. A tribológia új tudomány, több alkalmazott tudomány alaptudományának tekinthető. A kenélmélet fejlődése és a gyakorlati kenéstechnika ismeretei alapján 1966-ban kérte az angol mérnökegyet (IMechE) a tribológia új tudománnyá nyilvánítását. A tribológia a súrlódás, kopás és kenés tudománya. A tribológiai igénybevétel a relatív mozgás és a felületek kölcsönhatását tanulmányozza. A manapság legtöbbet vizsgált alkalmazási területe a gépszerkezetek kenése, de ide kell számítanunk minden olyan technikai és természeti folyamatot, melyekben a súrlódásnak és kopásnak, valamint a kenésnek szerepe van.

A csúszó elemek sebességének növekedésével a kenőanyag fő feladata lett a súrlódó elemek berágódásának megakadályozása és a felesleges hő elszállítása.

1. A TRIBOLÓGIA TUDOMÁNYA

A tribológiai alapok [15, 16]

A tribológia az Institution of Mechanical Engineers (IME) szerint a kölcsönösen egymásra ható és egymáshoz viszonyítva elmozduló felületek tudománya és technikája, amely magába foglalja a felületek elmozdulásával kapcsolatos gyakorlati teendőket is.

Az új tudományág elnevezésére egy görög szóösszetételt, a **TRIBOLÓGIA**-t javasolta, amit a szakértő bizottság el is fogadott nevezetesen Prof. P. Jost kérésére Prof. A Hardy oxfordi nyelvészprofesszor nevezte **tribológiának**. A súrlódással-, kenéssel-kopással foglalkozó tudományág neve két görög szó összetételéből keletkezett: tribein=súrlódás és logoi=tudomány.

A tribológia szilárd testek egymással, valamint folyadékokkal és gázokkal való érintkezése során tapasztalt jelenségekkel foglalkozó tudományterület beleértve a gépelemek tribológiai tervezését is.

Célkitűzései:

- Az egymáson elmozduló szilárd testek érintkezése során lejátszódó folyamatok vizsgálata, tervezése és alkalmazása.
- A legjobb konstrukciós kialakítások keresése.
- A legjobb felületi kialakítások keresése (nem a lehető legkisebb felületi érdesség elérése).
- A súrlódás optimalálása (nem a lehető legkisebb súrlódás elérése).
- A kopások csökkentése. Az érintkezésben részt vevő anyagok tulajdonságainak helyes megválasztása.

A tribológia körülvessz minket, az egyszerűtől a komplexig terjedő alkalmazásokig és a kis és nagy méretig egyaránt.

A tribológia területei:

- szilárd – szilárd,
- szilárd – folyékony,
- mozgó szilárd – gáz,
- folyadék – folyadék,
- folyadék – gáz határterületeken lejátszódó jelenségek.

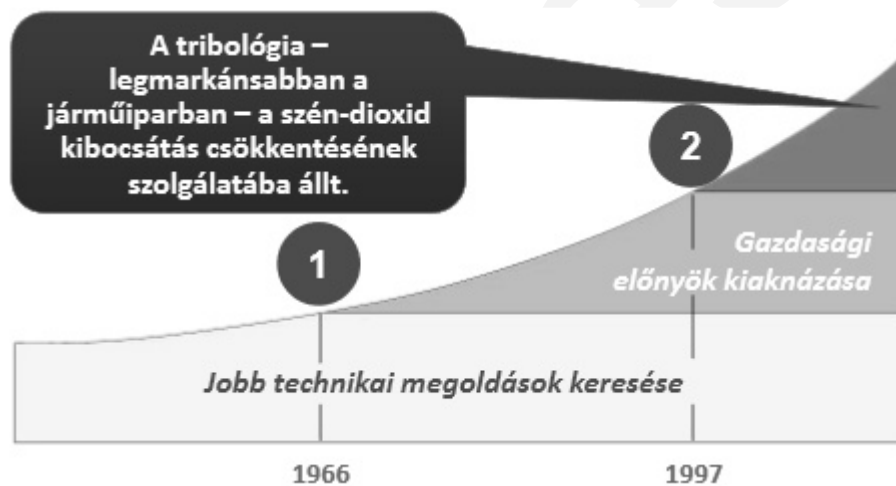
A gyakorlatban a **szél, eső, áramló folyóvizek, dagály és apály** által okozott **eróziós jelenségek és számos más geológiai felületromboló hatás is tribológiai** természetű. Tribológiai jellegűnek tekinthető néhány biológiai jelenség: pl. az ízületek súrlódása és kenése „ízületi folyadék”-okkal, a fogak súrlódása és kenése vagy az állatok csülökszaru kopásai, istállópadozatok topológiája, felületi szilárdsága és rugalmassága stb. Ide sorolhatók a részben fémes vagy nem-fémes kapcsolatok, mint pl. talaj-gépelem, útburkolat-gumiabroncs, műanyag-fém és műanyag-műanyag kapcsolatok tribológiai problémái.

A tribológiához kapcsolódó alkalmazott tudományok a **tribokutatás, a tribotechnika, a tribofizika, a tribokémia** és a **tribológiai igénybevétel**.

A **tribokutatás** a jellemző kopás nagyság kölcsönös függőségének és a fennálló törvényszerűségnek mérés-technikai meghatározása, jelenségvizsgálata.

A **tribotechnika** a tribológiai ismeretek technikai alkalmazása a kenéstechnikában, a csapágytechnikában stb. A **tribofizika** a tribológiai folyamatok fizikai jellemzőinek a vizsgálata, a **tribokémia** a tribológiai folyamatok fizikai és kémiai jelenségeivel foglalkozik. A tribológia a relatív mozgás és a felületek kölcsönhatását tanulmányozza.

A tribológia szerepkörének bővülése az utóbbi fél évszázadban 1. ábrán látható.



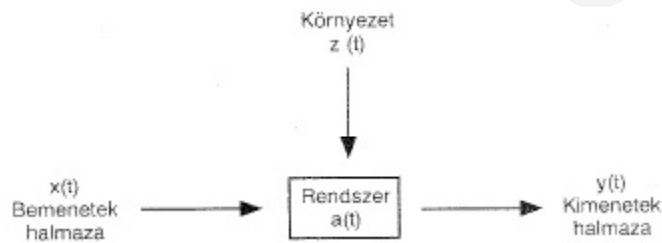
1. ábra. A tribológia szerepkörének bővülése az utóbbi fél évszázadban

(Forrás: [11])

Az átmenetek természetesen nem voltak élesek, a feltüntetett dátumok csupán orientáló jellegűek.

1.1. A tribológia rendszerelmélete

Az eszközök fejlődésével a tribológiával szemben támasztott követelmények, mint megfogalmazható célok nem változnak [15,16]. Sokszor egészen szélsőséges követelményeknek kell eleget tenni. A súrlódás és kopás nagyságával, illetve változásának irányával kapcsolatos igények csak úgy valósíthatók meg a gyakorlatban, ha ezeket a jellemzőket **nem anyagi**, hanem **rendszerelemként kezeljük**. A **rendszer** fogalmán valamilyen ismérv alapján körülhatárolt, egymással kölcsönhatásban, összefüggésben álló elemek együttesét értjük. Amikor meghatározzuk, hogy melyik elemet tekintjük a rendszerhez tartozónak, azonosítást végzünk. Ami az így kialakult rendszerhatáron kívül esik, az a **rendszer környezet**e. A rendszer működése csak környezetével összefüggésben vizsgálható. A kölcsönhatás az ún. **rendszerbemeneteken**, illetve **-kimeneteken** keresztül érvényesül. Általánosságban a rendszer működése éppen azzal jellemezhető, hogy a bemeneteket miként transzformálja kimenetekké. Zavaró hatásoknak nevezzük azokat a környezetből származó hatásokat, amelyek előre nem, vagy csak statisztikus jelleggel vehetők figyelembe. A rendszer általános modelljét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A tribológiai rendszer általános modelje

(Forrás: [16])

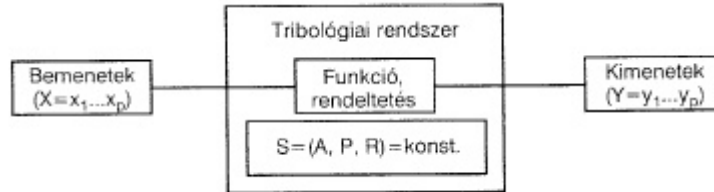
A rendszer lényegi alkotó elemei a következők:

1. A rendszer jellemzése a következőkkel:

- az elemek csoportja
pl. tengely, csapágypersely, kenőolaj stb., $A = a_i$
- az elemek lényeges tulajdonságainak csoportja
pl. érdesség, keménység, viszkozitás stb., $P = P_i(a_i)$
- az elemek lényeges tulajdonságai közti kapcsolatok $R = R_i(a_i; a_k)$
- Együttesen képezik a szerkezeti sorozatot: $S = f(A; P; R)$

1.2. Tribológiai rendszerek állapotai és szerkezetei

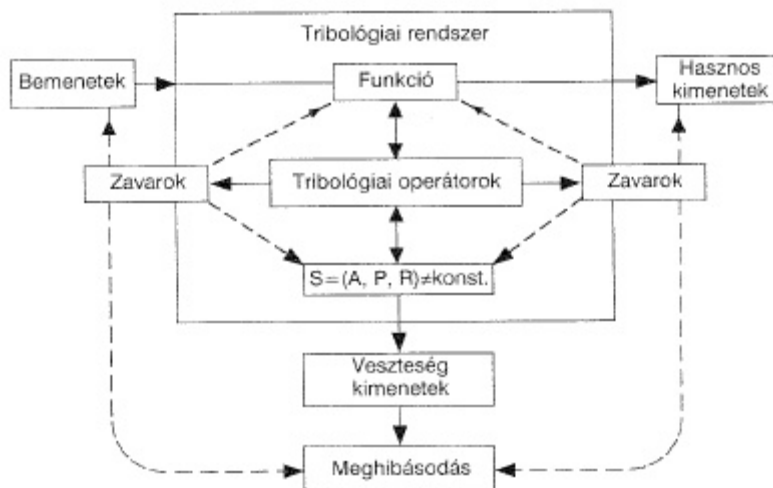
A tribológiai rendszerek - mint ahogy az 3. ábra mutatja - lehetnek **stacionárius** állapotban. Ez azt jelenti, hogy a bemeneteknek kimenetekké való transzformációja veszteségmentesen történik. Az **A**, **P**, **R** rendszerkezeteket nem befolyásolják a funkcionális bemeneti-kimeneti viszonyok és az **S = (A,P,R)** szerkezetsorozat változatlan marad.



3. ábra. Stacionárius tribológiai rendszer modelje

(Forrás:[15])

Természetesen a valóságos tribológiai rendszerben vannak súrlódási, kopási behatások, ekkor a rendszer már dinamikus állapotban van. A 4. ábrán látható dinamikus rendszerben a bemenetek kimenetekké transzformálódnak.



4. ábra. Dinamikus tribológiai rendszer modelje

(Forrás:[15])

Ezáltal a rendszer funkcióját és szerkezetét befolyásolják a súrlódási és kopási mechanizmusok, amelyeket tribológiai operátorokként jellemzünk. A tribológiai operátorok megváltoztathatják a rendszer szerkezetét (azaz $S = (A,P,R) \neq$ konstans), ami nemkívánatos kimeneti **vesztéseket** okoz. Ezenkívül zavarok

jelentkezhetnek a rendszer funkcionális bemeneti-kimeneti viszonyaiban. Ennek következményeként az eredmény az egész rendszer zavara lehet.

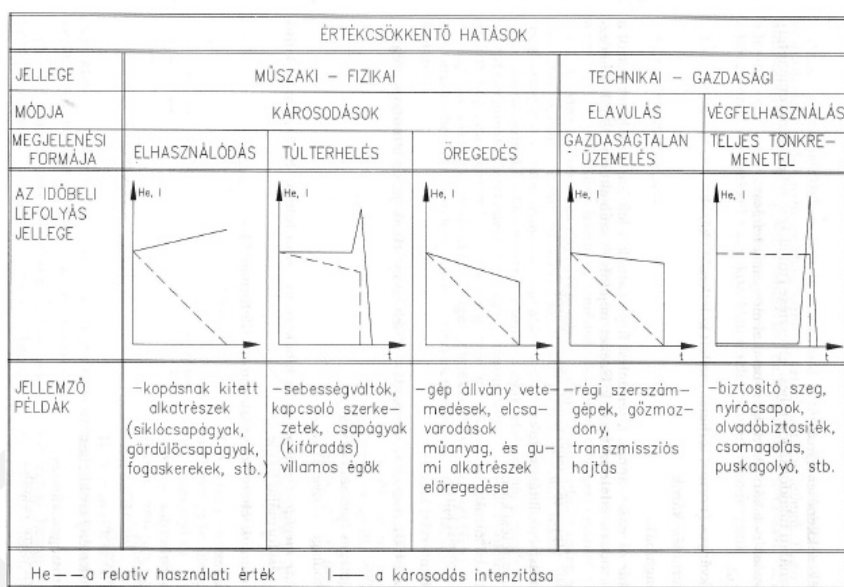
1.3. A károsodások, a tönkremenetel okai

Károsodásnál [1, 10] a szerkezetet üzemelés közben olyan hatások érik, melyeknek következtében funkciójának ellátására fokozatosan alkalmatlanná válik. A tönkremenetel leggyakoribb okai:

- Egy önmagában dolgozó gépnek vagy egy gépcsoport (gyártórendszer) adott részegységének meghatározott funkciókat kell ellátnia a termelés folyamatosságának érdekében.

A gépeket azonban, mint tudjuk üzemeltetésük során folyamatosan és/vagy szakaszosan külső befolyások érik, amelyeknek következményeként használhatósági tulajdonságaik romlanak, használati értékük csökken, egészen addig, míg a részükre meghatározott feladatokat már nem tudják végrehajtani. Az 5. ábra mutatja az értékcsökkentő hatásokat.

- Ezen hatások olyan meghibásodásokat idéznek elő az alkatrész működésében, amelyek korlátozzák, vagy kizárják a rendeltetészerű használatot.



5. ábra. Az értékcsökkentő hatások

(Forrás:[1])

A károsító hatások két fő csoportra oszthatók:

- **A technikai - gazdasági hatások** akkor is kifejthetik káros befolyásukat, ha az adott gép, vagy szerkezet egyébként üzembiztos. Az értékcsökkentő hatások módja szerint ez a csoport **elévülés** és **végfelhasználásra** bontható
- **A műszaki- fizikai értékcsökkenő hatások**, ezek fejezik ki mindazon tényezőket, amelyeket összefoglaló néven károsodásoknak nevezünk.

A meghibásodások csoportosítása a 6. ábra alapján a következők lehetnek:

<p>1. Szerkezet szerint:</p> <ul style="list-style-type: none"> • szerelt egységek meghibásodása • alkatrészek, szerkezeti elemek meghibásodása 	<p>2. A hatás jellege szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • üzemi alkalmasság részleges csökkenése (hibás működés) • működésképtelenség
<p>3. Megjelenési forma szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • üzemeltetési jellemzők változása • méretváltozás, illesztési hiba • alakhiba, felületi hiba • alakváltozás (görbeség, elcsavarodás) • repedés, törés • felületi réteg tulajdonságainak változása • anyagösszetétel vagy szövetszerkezet megváltozása 	<p>4. Az elhasználódás mechanizmusa szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • súrlódás kopás • abrázio, erózió • kavitáció • anyagfáradás • korrózió, öregedés • hő okozta változás
<p>5. Hiba oka szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • konstrukciós hiba, anyaghiba • gyártási hiba • helytelen üzemeltetés • fenntartási hiányosságok • természetes elhasználódás 	

6. ábra. A meghibásodások csoportosítás

(Forrás:[10])

A károsodások a hétköznapi életben méret, vagy alakváltozásokban, az egyes részek geometriai viszonyainak megváltozásában, illetve a felületek minőségének, vagy más egyéb tulajdonságainak megváltozásában nyilvánulnak meg. Jelentkezési formájuk szerint három csoportba sorolhatók: **elhasználódás, túlterhelés, öregedés.**

A károk módja azt mutatja meg, hogy egy adott károsodás hogyan megy végbe. A használati tulajdonságokban bekövetkező változások leírása a károk hatására utal. A kárt okozó igénybevételek a károkok. A kár okozója annak a termelési folyamatnak a leírása, amely területről a meghibásodás származik (objektív, szubjektív okok). A károk keletkezése a károsodás időbeli lefolyásának jellegére utal. A kár megjelenési formája arról ad felvilágosítást, hogy a hibakeresés során feltárt hibáknak, károknak milyen a külső megjelenési formája. A károsító hatások igen sok félek lehetnek, előfordulásuk előre nem meghatározható, sztochasztikus jellegűek. A károsodások össze is kapcsolódhatnak, ami nehezíti a hibák feltárását. Az iparban a legtöbb kárt a tervezési, gyártási, valamint az üzemeltetési hibák okozzák. Gyártási, előállítási hibák lehetnek méret vagy alakhibák, hegesztési, ragasztási, szerelési, valamint beállítási hibák. Ezek rosszul megválasztott technológiából, technológia adatokból, valamint emberi mulasztásból keletkeznek, és hatásuk a gép korai szakaszában is jelentkezhet. Üzemeltetés során a gépeket károsító folyamatok főbb megjelenési formái:

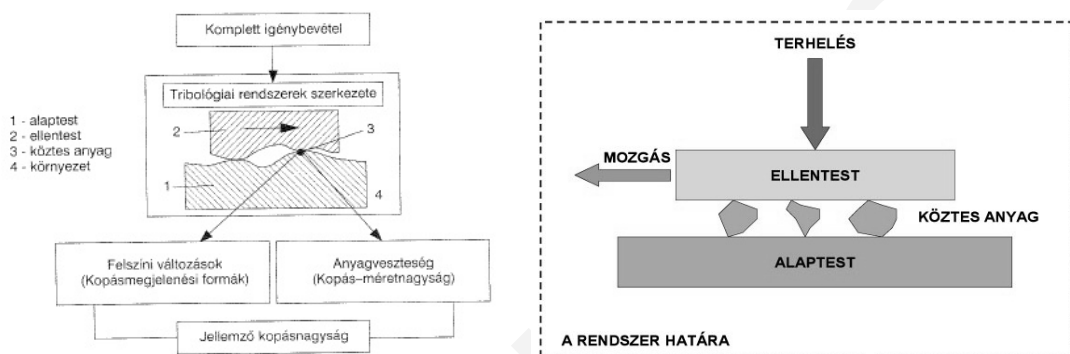
- az **elhasználódás** valamilyen tömegcsökkenéssel járó felületpusztulási folyamatra utal. Három fő okozója van a kopás, a korrózió és a kifáradás.
- a **túlterhelés**, amelyet a műszaki szerkezetek helytelen használata, valamint az **elhasználódás** túlzott mértéke okozhat.
- az **öregedés** az anyag belsejében végbemenő folyamat, amely az igénybevételtől függetlenül jön létre, és még az alkatrész hasznos tervezett élettartamán belül, főként szilárdságcsökkenésben, anyagszerkezeti jellemző változásában (romlásában) és deformációjában nyilvánul meg.

A károsodás bekövetkezhet: **terhelés hatására, termikus hatásra, tribológiai hatásra (kopás), korróziós hatásra, besugárzás hatására.**

A tribológiai rendszerek a mechanikai rendszerek közé tartoznak, amelyben érintkezési, súrlódási és kopási folyamatok játszódnak le, veszteségek alakulnak ki. Egy triborendszer szerkezetét a kopási folyamatban részt vevő anyagpárok (elemek), ezek tribológiai szempontból lényeges tulajdonságai és egymásra gyakorolt kölcsönhatásuk jellemzi.

A kopás az egymással érintkező anyagok relatív elmozdulásakor fellépő súrlódás miatt következik be. **A kopás lényegében a szilárd anyagok felületének anyagvesztése,** amelyet kizárólag vagy esetleg más igénybevétellel társult mechanikai igénybevétel okoz.

A **kopás** során a felületekről apró részecskék válnak le, melyek az alkatrész vagy alkatrészek méret, illetve tömegcsökkenését, az üzemeltetés szempontjából káros elváltozását okozzák. Az elváltozások kiterjedhetnek a felület fizikai, kémiai, szövetszerkezeti, mechanikai tulajdonságainak módosulására is, valamint a munkavégző képesség csökkenésén kívül számos további meghibásodás, repedés, törés, berágódás forrásai lehetnek. Ezek később az alkatrész, majd az egész berendezés, gép teljes tönkremenetelét okozhatják. A kopási folyamat nem anyagvonatkozású, hanem rendszervonatkozású jellemzőként írható fel. A kopásnak kitett elemi tribológiai rendszer értelmezését a 7. ábra szemlélteti, a kopási folyamatban általában négy szerkezeti elem vesz részt. (Elemek: 1 - alaptest, 2 - ellentest, 3 - köztes anyag, 4 - környezet). Minden kopási folyamatot az elemek egy sor tulajdonsága, azok nagysága és alakja stb. befolyásolja. Különös jelentőséggel bírnak az alaptest (1) és az ellentest (2) tulajdonságai, valamint ezek változása a tribológiai igénybevétel alatt. (1. táblázat).



7. ábra. Elemi tribológiai rendszer I.

(Forrás:[3])

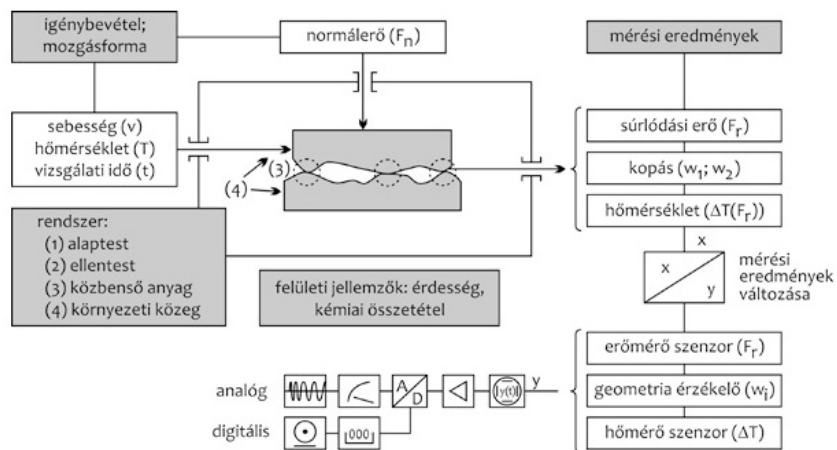
A kopási partnereknek „alaptest” (1) és „ellentest” (2) szerinti megjelölése a mindenkor konkrét kopási esetre vonatkozik. Általában azt a kopási partnert jelöljük „alaptestnek, amelynek a kopása az adott kopási esetben különösen fontosnak látszik. Pl. esztergálásnál az esztergakész, siklócsapágyaknál a csapágyperesz, fogaskerék-kapcsolatoknál a kisebb kerék fogfelülete stb.

A „köztes anyag” (3) az „alaptest” (1) és az „ellentest” (2) között található és kopáscsökkentő (pl. a kenőanyag) vagy kopást növelő (pl. por, kemény részecskék) hatása lehet.

Tribológiai rendszer funkciója	Alaptest (1)	Ellentest (2)	Köztes anyag (3)	Környezeti közeg (4)
Mozgásátvitel (toló-csukló)	Vezetékfelület	Tolórúd	Kenőanyag	Levegő
Mozgásgátlás (tárcsafék)	Fékpofa	Féktárcsa	Oxidréteg	Levegő
Erőátvitel (fogaskerék-meghajtás)	Hajtókerék	Hajtott kerék	Kenőanyag	Levegő
Információátvitel (elektromos kapcsolat)	Kefe	Kollektor	Oxidréteg	Védőgáz
Anyagszállítás (beömlesztett anyag)	Csúszda	Beömlesztett anyag	Csak konkrét esetre határozható meg	Levegő
Anyagmegmunkálás (esztergálás)	Esztergakés	Munkadarab	Hűtő-kenő anyag	Levegő
Alakítás (dróthúzás)	Húzókö	Drót	Kenőanyag	Levegő

Figyelembe kell venni, hogy minden technikai anyag felszínén sajátos réteg képződik, pl. fémes anyagoknál adszorpciós rétegből, oxidrétegből és felkeményedett, deformálódott szemcseszerkezetű rétegből áll, amely fokozatosan megy át az alapanyagba.

A 8. ábra egy elemi tribológiai rendszert mutat be más megközelítésben. Fontos megjegyezni, hogy a különböző problémák megoldásához pontosan ismerni kell az adott tribológiai rendszert, valamint az érintett tudományterületeket (mechanika anyagtudomány, fizika, kémia). [4]



8. ábra. Elemi tribológiai rendszer II.

(Forrás:[4])

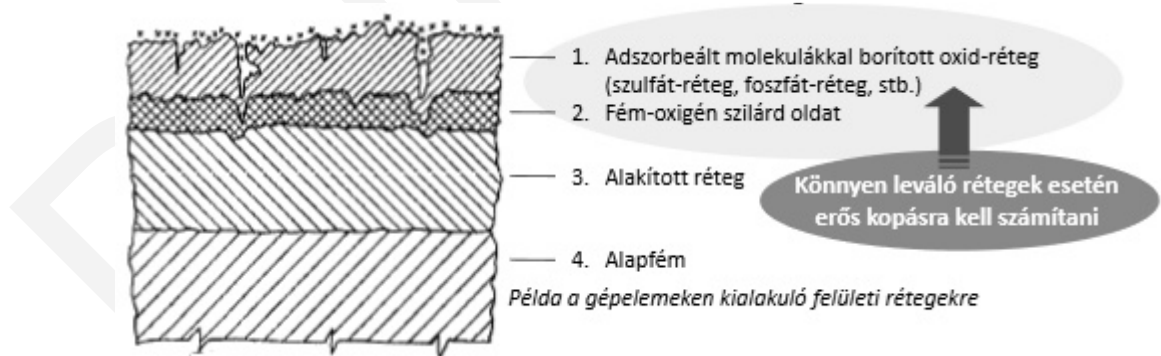
1.4. A szilárdtest és kopás

A szilárdtest súrlódás természetének közelítő leírására általában az ún. Coulomb törvényt alkalmazzák. [11] A Coulomb által alkotott klasszikus képlet a

$$\mu = F_S/F_N$$

(ahol a μ = a súrlódási tényező; F_S = a súrlódó erő; F_N = a felületeket összeszorító - normál-erő) alapján a következő megállapítások tehetők a súrlódásról.

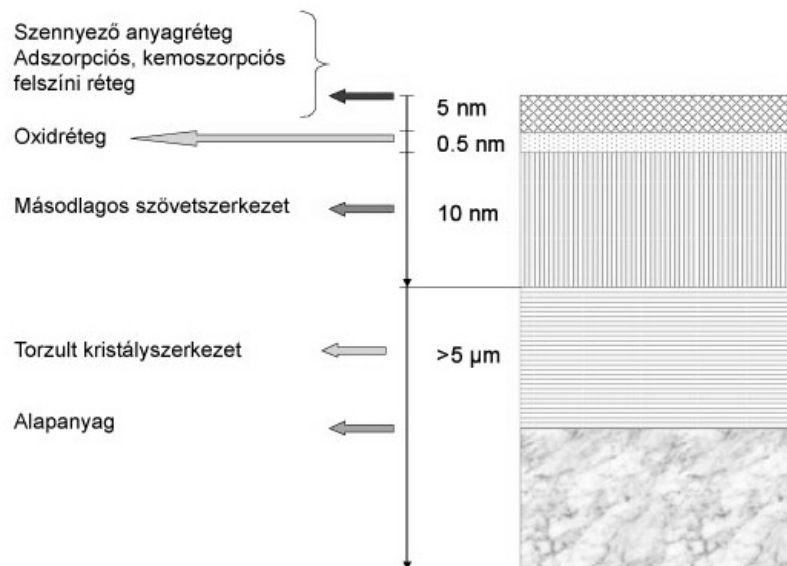
- A súrlódási együttható a felületek anyagának és morfológiájának (felületi érdességének, az érdesség irányultságának stb.) függvénye
- A súrlódási erő független az érintkezési felület nagyságától.
- A súrlódási erő létrejöttének alapvetően két oka van:
 - A felületi érdesség csúcsainak deformálása
 - Az érintkezési pontokban kialakuló adhéziós erők
- Ha az érdesség mértéke kicsi, az adhéziós erők dominánsak. Erősen érdes felületek érintkezése esetén az érdesség - csúcsok deformációja kerül előtérbe.
- A túl érdes felület nem előnyös, mert az érdesség-csúcsok nagymértékű képlékeny alakváltozása növeli a súrlódási tényezőt és a kopást.
- A túl sima felület nem előnyös, mert a tényleges érintkezési felület növekedése miatt nagy területen alakul ki adhéziós kapcsolat a felületek között, tehát a súrlódási tényező nagy lesz.
- A valóságos fémfelületeken mindig található kémiai rétegek, amelyek jelentősen lecsökkentik az adhézió érvényesülésének lehetőségét



9. ábra. Gépelemen kialakuló felületi réteg

(Forrás:[11])

A tribológiai rendszer két összetevő felületéből és azok környezetéből áll, amelyek egymással mozgó kapcsolatban vannak (9. ábra). A kopás jellegét, lefolyását és mértékét az alapanyag, az összetevők kialakítása, valamint a köztes anyagok, a környezeti befolyások és az alkalmazási feltételek határozzák meg. Alaptest – ellentest esetében a geometriai kialakítás, mechanikai, fizikai jellemzők, szövetszerkezet kialakítása, felületi egyenetlenség, felszíni rétegek vannak hatással a rendszerre. A felületek szerkezetét a 10. ábra mutatja.



10. ábra. A felületi réteg szerkezete

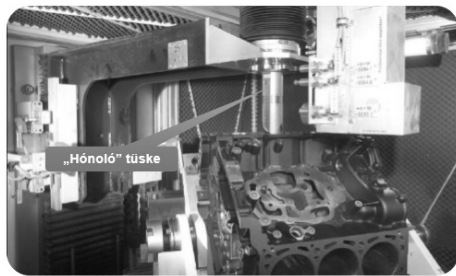
(Forrás:[3])



11. ábra. A súrlódási tényező és érdességi paraméter kapcsolata

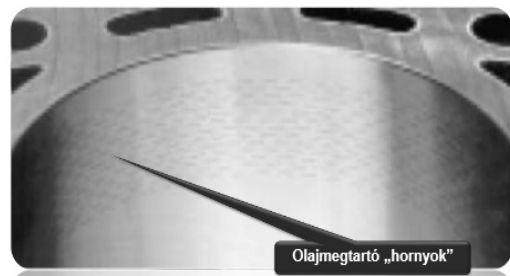
(Forrás:[11])

Az érdesség függvényében a súrlódási tényezőnek (μ) minimuma van (11. ábra). Nem lehet érdekünk az érdesség minden határon túl történő csökkentése. A cél a megfelelő felületi paraméterek kialakítása pl. lézerhonalással, 12. ábra, 13. ábra.



12. ábra. Lézerhonaló berendezés az Audi Motor Hungária Kft-nél

(Forrás: [11])



13. ábra. Belsőégésű motor lézermegmunkálással kialakított hengerfelülete

(Forrás: [11])

A szilárd testek felületei között jelentkező súrlódás szinte mindig kopáshoz vezet. A súrlódás és a kopás közötti kapcsolat nem egyértelmű: kis súrlódás is eredményezhet erős kopást, és nagy súrlódás mellett is lehetséges minimális kopás. A kopás megelőzésének legeredményesebb módja a szilárd felületek érintkezésének megakadályozása. A felületek szétválasztása kenőfilm kialakításával lehetséges, melynek feltétele a megfelelő relatív sebesség kialakulása a felületek között és a kenőanyag (relatív) áramlási sebességének irányába csökkenő keresztmetszet alakuljon ki, pl. siklócsapágyaknál megfelelő csapágyhézag biztosításával.

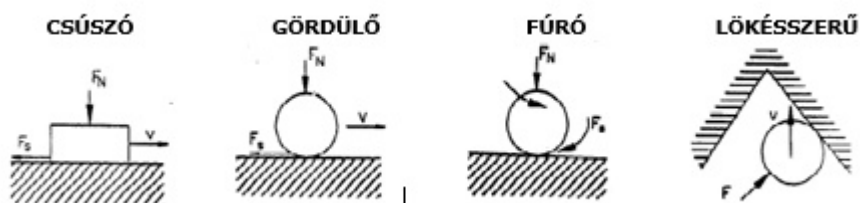
Adott gép vagy berendezés egy adott alkatrésze milyen mértékben és milyen jellegzetes ismérvek szerint kopik, rendkívül sok tényező határozza meg, melyeket a 14. ábrán foglaltuk össze.



14. ábra. A kopást meghatározó tényezők

(Forrás: [10])

Az alkatrészek kopásának legmeghatározóbb jellegzetessége a súrlódás. A súrlódás, amely a mozgást akadályozó hatás, azaz olyan mozgás ellen ható jelenségek összege, amely egymással érintkező felületek relatív (viszonylagos) elmozduláskor játszódik le. A 15. ábra foglalja össze a viszonylagos elmozdulások lehetséges módjait. A 16. ábra a súrlódási módokat és állapotokat foglalja össze

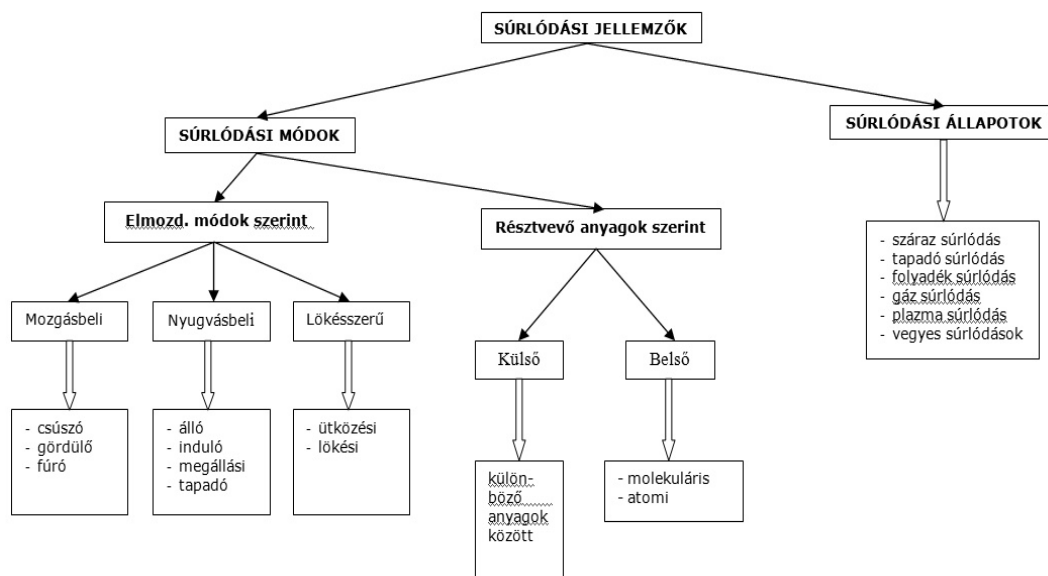


15. ábra. Viszonylagos elmozdulás módjai

(Forrás: [10])

A Coulomb által alkotott klasszikus képlet a $\mu = F_s/F_N$ alapján a következő megállapítások tehetők a súrlódásról, ahol a μ a súrlódási tényező; F_s a súrlódó erő; F_N a felületeket összeszorító erő.

- a súrlódó erő arányos a terheléssel ($F_s = \mu \cdot F_N$)
- a súrlódási tényező független az érintkező felületek nagyságától és a csúszási sebességtől, viszont függ a felületek minőségétől és az anyagminőségétől
- a nyugvó súrlódási tényező jóval nagyobb a mozgó súrlódási tényezőtől.



16. ábra. A súrlódási módok és állapotok

(Forrás: [1,10])

A kenőfilm kialakulásának előnye, hogy a szilárd testek súrlódását folyadéksúrlódás váltja fel, így a súrlódási energiaveszteség általában nagymértékben lecsökken. A belső súrlódás közvetlen következménye az, hogy a közeg különböző sebességgel mozgó részei között nyíróerők lépnek fel, a gyorsabban haladó rész igyekszik magával vinni a lassabban mozgót, a lassúbb pedig fékezi a gyorsabban mozgót. A **Newtoni folyadék** esetén (17. ábra) az ébredő folyadék súrlódás:

$$\tau = \eta \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)$$

ahol:

τ = a folyadékfilmben keletkező csúsztatófeszültség N/m²

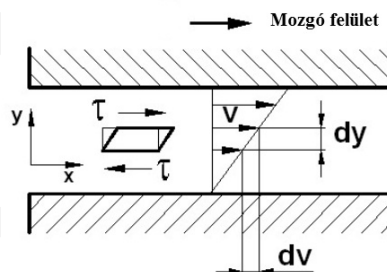
η = a folyadék dinamikai viszkozitása (kenőanyag fizikai jellemzője mPas)

dv/dy = a nyírési sebesség hely szerinti differenciál-hányadosa (gradiense) a sebesség vektorra merőleges irányban.

A **nemnewtoni folyadék** olyan folyékony anyag, amelynek vannak eltérő tulajdonságai egy newtoni folyadékkal szemben. Leggyakrabban a nemnewtoni folyadékok viszkozitása (a folyadék nyújtás hatására bekövetkező fokozatos torzulás ellenálló képességének a mértéke) a nyújtás vagy erőhatás nagyságától függ.

$$\tau \sim \eta \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)$$

Kenőfilm nem alakul ki, ha a gépelemek közötti relatív sebesség kicsi (belsőégésű motorok indításakor), a gépelemek geometriai kialakítása kedvezőtlen (vezérműtengely és szelepelemelő tőke kapcsolata ezért kopáscsökkentő olaj-adalékot kell használni)



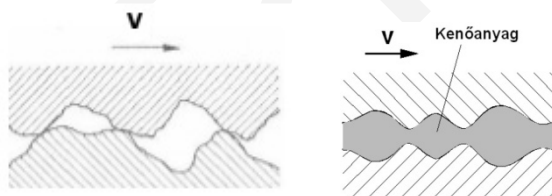
17. ábra. Newtoni folyadék értelmezése

(Forrás: [15])

1.5. Súrlódási állapotok

A súrlódó testek között jelenlevő harmadik anyag, a kenőanyag nagymértékben csökkenti a kopás sebességét [10,15]. Kenésnek nevezzük azt a műveletet, melynek során a súrlódó felületek közé kopást csökkentő anyagot (kenőanyagot) juttatunk. A kenőanyag különleges szerkezetű, poláros molekulákból felépített, jól tapadó, viszonylag kis belső súrlódású és viszkozitású anyag. Megakadályozza a felületek között a fémek érintkezését, hűti a tényleges érintkezési zónákat, csökkenti az érintkezési (kontakt) feszültségeket a felfekvő csúcsokon, csökkenti a súrlódási tényezőt. A kenőanyag rétegvastagságától és az igénybevétel módjától függően az alábbi súrlódási állapotok különböztethetők meg: folyadéksúrlódás és száraz súrlódás (18. ábra.). Folyadéksúrlódás esetén a kopás tiszta folyadéksúrlódásos, illetve részleges folyadéksúrlódásos viszonyok között mehet végbe.

Tiszta folyadéksúrlódásnál (18. ábra) a kenőanyag film vastagsága nagyobb, mint a súrlódó felületek egyenetlenségei. A súrlódási tényezőt a kenőanyag viszkozitása határozza meg. Ekkor beszélünk hidrodinamikai kenésről, kopás nincs. Kivéve, ha a súrlódó felületek közé abrazív anyagok kerülnek, vagy ha a kenőanyagban ébredt hidrodinamikai feszültségek, nyomások olyan nagyok, hogy azokat a súrlódó elemek anyaga tartósan nem képes elviselni. **Részleges folyadéksúrlódás** akkor következik be, amikor a fémfelületek már olyan közel jutnak egymáshoz, hogy egyes kiálló pontokon fémesen is érintkeznek. A tiszta folyadéksúrlódás csak meghatározott feltételek között tartható fenn.



18. ábra. Száraz és folyadéksúrlódás

(Forrás: [15])

A folyadéksúrlódás csökkentésének korlátai vannak:

- Ha csökkentjük a viszkozitást, csökken a súrlódási veszteség és a kenőfilm vastagsága.
- A kis kenőfilm vastagság dinamikus terhelés esetén növeli a fémes érintkezés kockázatát, ez csökkenthető a gépelemek rugalmas deformációjának csökkenésével

(nagyobb átmérőjű tengelyek, vastagabb falú öntvények alkalmazása). Az ilyen megoldás ellentétben áll a méret- és súlycsökkentési törekvésekkel.

- A kisebb kenőfilm vastagság nagyobb gyártási pontosságot és kopásálló anyagok alkalmazását követeli meg.

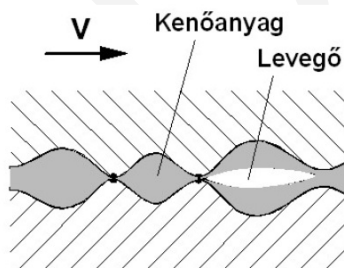
Határkenés állapotnál folyamatos szilárdtest érintkezés van [11]. Az érdesség mélységeiben kenőanyag van, ami rontja az adhéziós kapcsolat kialakítását kis vastagsága ellenére. Kedvezőtlen esetekben mégis kialakulhat drasztikus adhéziós kopás, emiatt kopáscsökkentő adalék használata szükséges. A súrlódási veszteségek csökkentésének lehetőségei kenőolaj segítségével, alacsony súrlódású bevonat létrehozása adalékolással. Nanotechnológiai megközelítés: súrlódáscsökkentő adalékok használatával, komplex önszerveződő tribofilm (bevonat) kialakulásának biztosítása felületmódosítással, illetve a felületek morfológiájának módosításával (19. ábra).



19. ábra. Harc a felületért

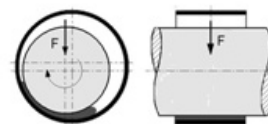
(Forrás: [11])

Többek közt az adhéziós kapcsolat gyengítésével (a szerkezeti anyagok megválasztásával, vagy felületi bevonatok alkalmazásával). Mechanikai és kinematikai optimalizálással (a tömegerők csökkentése, a sebességek növelése stb.). A geometria kialakítás módosításával is. Vegyes kenésállapot (20. ábra) a



20. ábra. Vegyes kenési modell

(Forrás: [15])



Siklócsapágy

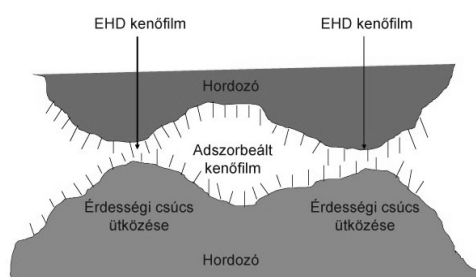
Hidrodinamikus (HD) kenés

21. ábra. Hidrodinamikus kenés

(Forrás: [15])

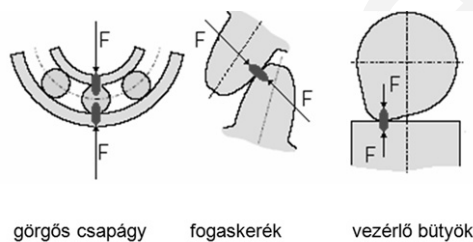
határkenés és a tiszta folyadékkenés közötti átmenetet jelenti. **Hidrodinamikai (HD) kenésállapot** kialakulásának feltételei, hogy a kenőanyag legalább az egyik felülethez tapad, a felületek olyan, egymáshoz képesti (relatív) elmozdulásokat végeznek, így a kenőanyag a felületek közötti szűkülő térbe kényszerül (21. ábra).

Elasztohidrodinamikai (EHD) kenésállapot (22. ábra) a hidrodinamikai állapot egyik válfaja. A kenőanyagfilm vékony, az erő átadása kis felület mentén történik. A kenőfilmben uralkodó nyomás nagy, felületek deformálódnak. A nagy nyomás miatt növekedik a kenőolaj viszkozitása. A 23. ábra mutat példákat az **elasztohidrodinamikai (EHD) kenésállapotra**.



22. ábra. Vegyes kenési modell, EHD kenés

(Forrás: [3])

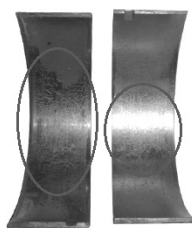


Elasztohidrodinamik (EHD) kenés

23. ábra Elasztóhidrodinamik (EHD) példák

(Forrás: [10])

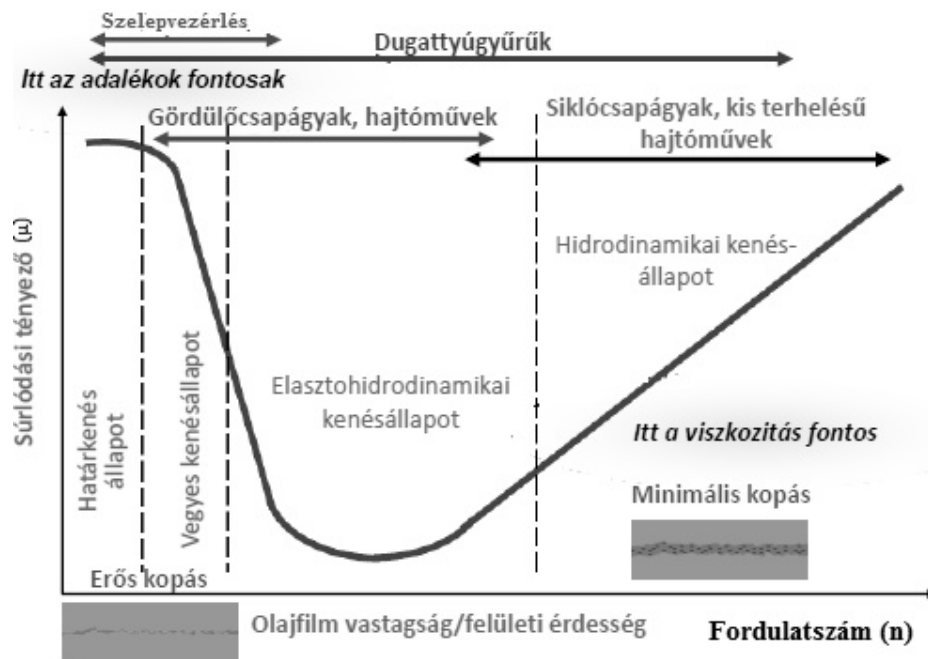
A deformáció a felületek fáradásos károsodáshoz vezethet (24. ábra).



24. ábra. A fáradásos károsodás jelei belsőégésű motor csapágóin

(Forrás: [10])

A súrlódási tényező és relatív csúszási sebesség kapcsolatát, kenőanyag alkalmazása esetén, egy diagramban szokás ábrázolni, amit Stribeck-diagramnak (25. ábra) nevezünk.

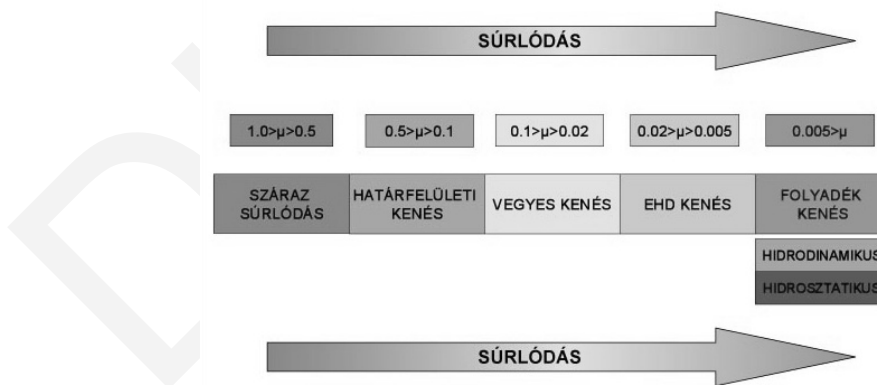


25. ábra. Stribeck diagram

(Forrás: [11])

Indításkor száraz súrlódás lép fel, ki fordulatszámnál vegyes súrlódás jön létre. Nagyobb fordulatszámnál hidrodinamikus súrlódás alakul ki.

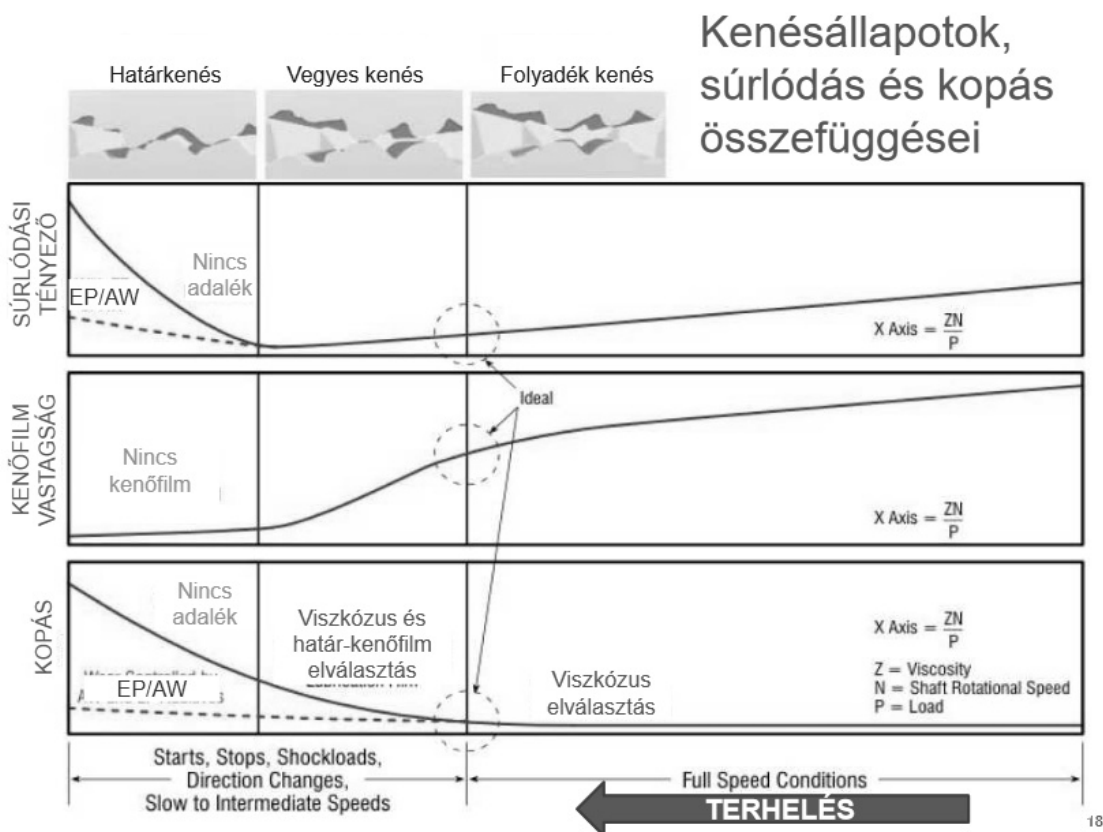
Az egymással kölcsönhatásban lévő felületek között kialakuló kenési állapotok és a súrlódási tényező értékét foglalja össze a 26. ábra. [3]



26. ábra. Kenésállapotok és a súrlódási tényező kapcsolata.

(Forrás: [3])

A kenésállapotok, súrlódás és kopás közötti összefüggést a 27. ábra szemlélteti.

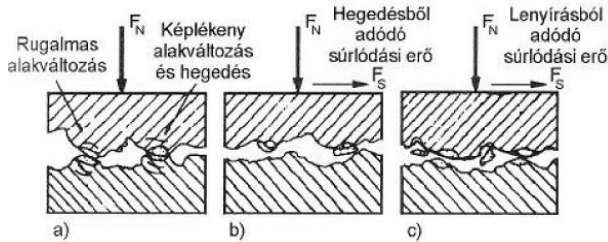


27. ábra. Kenésállapotok, súrlódás és kopás összefüggése

(Forrás: [15])

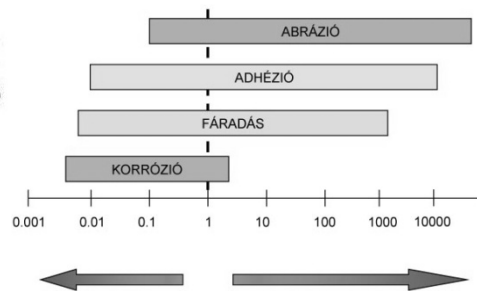
1.6. Kopás fajták

A kopás a szilárd testek felületén bekövetkező anyagvesztés, amelyet szilárd, cseppfolyós vagy légnemű közeggel való érintkezés és relatív elmozdulás okoz [10;11]. Használat során azonban az érintkező felületek oxidálódhatnak, így nemcsak anyagvesztés, de súlytöbblet is kialakulhat. A kopás csoportosítható a kopott felület létrehozó mozgásformák, a kopást létrehozó mechanizmusok, a kopott felület jellegzetességei alapján (28. ábra). A súrlódó felületeken kialakuló jellegzetes elváltozások, mintázatok alapján felismerhetők az uralkodó kopási mechanizmusok. A 29. ábra a kopás erősségét szemlélteti. A gyakorlatban legtöbbször Burwell megközelítése szerint a kopást okozó folyamatok szerint osztályozzák a kopásokat. Önmagában egyik kopás sem létezik, az uralkodó kopási minta alapján lehet elkülöníteni őket.



28. ábra. A kopás folyamata.

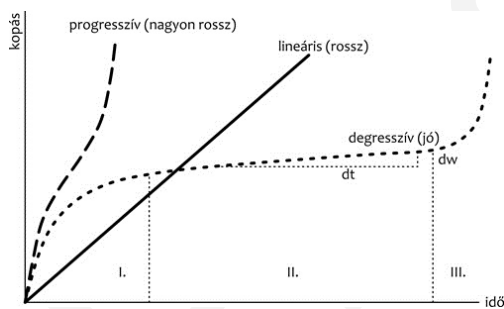
(Forrás: [3])



29. ábra. A kopás erőssége

(Forrás: [3])

Ha a létrejött kopást az idő függvényében ábrázoljuk, akkor a kopásdiagramhoz jutunk. A 30. ábra a lejátszódó kopásfolyamatokat mutatja be. A progresszív kopás során a kezdeti kopássebesség nagy. Az idő haladtával ez a sebesség nem csökken, hanem egyre növekszik. Ennek a kopásfolyamatnak az oka lehet hibás konstrukció, nem megfelelő kenés stb. A lineáris kopás kezdetben, a degresszív kopáshoz képest kisebb, viszont egy bizonyos időpillanat után (két görbe metszéspontja) nagyobb kopássebességgel rendelkezik.

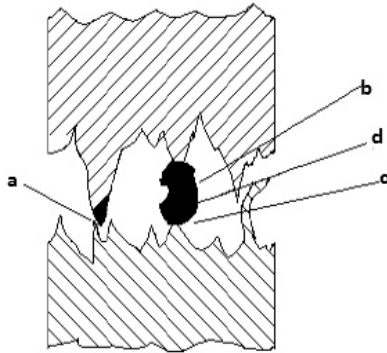


30. ábra. A kopás jellegének és nagyságának változása

(Forrás: [4])

A kopásgörbe három szakaszra osztható: az alkatrész bejáratódásának szakasza (I), a hasznos üzem szakasza (II), valamint az instabil szakasz (III). Bejáratáskor a kezdeti nagy kopássebesség egy bizonyos idő elteltével csökken, és közel állandó értékre áll be. Ezt a szakaszt nevezzük a hasznos üzemi szakasznak, ahol az alkatrészek a különböző terhelésváltozásra kis mértékben reagálnak, a kopássebesség közel állandó. Egy bizonyos üzemóra elteltével (ez általában jóval nagyobb a tervezett üzemóránál) a kopássebesség ismét megnő és a rendszer instabillá válik, azaz az alkatrész tönkremeneteléhez vezet.

A kopás alapfolyamatai (31. ábra)



a) érdességi csúcsok lenyíródása, b) alakváltozások a rugalmas tartományban, c) alakváltozások a képlékeny tartományban (maradó alakváltozás), d) molekuláris erőhatások (adhézió), e) felhevülés a mikrogeometria tartományban, f) fizikai vagy kémiai anyagváltozások (pittingesedés, oxidáció, reakciós termékek koptató hatásai).

31. ábra. A kopás alapfolyamatai

(Forrás: [1])

A súrlódási tényező függ: az érintkező felületek anyagpárosításától, a kenésállapottól, a terheléstől, a felület geometriai és érdességi viszonyaitól, a csúszás sebességétől, a hőmérséklettől stb.

A súrlódás általános természeti jelenség.

1. Megjelenési formái változatosak:

- Szilárd testek közötti súrlódás
- Folyadékokban és gázokban jelentkező súrlódás
- Szilárd testek és folyadékok érintkezése során keletkező súrlódás

2. A szilárd testek közötti súrlódás általában a felületek károsodásához – pl. kopásához – vezet.

3. A súrlódás energiafajták közötti transzformációt eredményez: a mechanikai energia hőenergiává alakul. A folyamat irreverzibilis.

4. A súrlódás a gépek alkatrészei között is jelentkezik. A hatása lehet káros, vagy hasznos.

- A súrlódás káros, ha energiaveszteséget okoz.
- A súrlódás hasznos, ha energia- illetve erőátvitelt valósít meg, vagy egyéb okok miatt elengedhetetlen technikai berendezésin működéséhez.

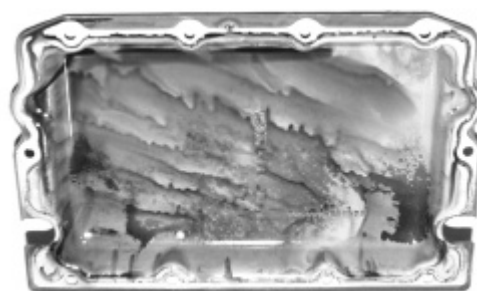
A súrlódás és kopás csökkentésének alapvető célja a szilárd testek közötti súrlódás kiküszöbölése. Ha a szilárd testek felületei között folyadékfilm - kenőfilm - hozunk létre, a súrlódási veszteségeket lényegesen lecsökkenthetjük, így a gépek hatásfoka növekszik és az egymással nem érintkező felületek csak minimális mértékben kopnak. Ha nem alakul ki kenőfilm, kopásra lehet számítani

ezért a kenőanyagot fel kell készíteni a kopás csökkentésére, pl. EP/AW adalék adagolásával. A gépekben a bennük lejátszódó fizikai folyamatok - pl. égésfolyamat a belsőégésű motorokban - és a súrlódási veszteségek miatt hőenergia keletkezik, ezt a felesleges hőenergiát el kell vezetni. Olaj- és szűrőcserék alkalmával a szennyezőanyagokat el kell távolítani. Ennek érdekében a szilárd szennyező részecskéket (kopásrészecskék, külső szennyezők) lebegésben (diszperz állapotban) kell tartani, hogy azok eljuthassanak a szűrőig, vagy távozhassanak az olajtöltettel (diszpergens hatás) 32. ábra. Meg kell akadályozni, hogy az iszapképzésre hajlamos anyagok - pl. az olaj saját degradációs termékei - bevonatot képezzenek a felületeken (detergens hatás) 33. ábra.



32. ábra. Erősen lerakódott felület, rossz DD (detergens-diszpergens) hatású olaj

(Forrás: [11])



33. ábra. Jó DD hatás (detergens-diszpergens)

(Forrás: [11])

A gépkatrészek felületei sok esetben agresszív, korrozív hatású közegek hatásának vannak kitéve ezért az olajnak el kell látnia a korrózióvédelem feladatát is. (34. ábra). A 35. ábra foglalja össze a kenőanyagok alapvető feladatait.



34. ábra. Korrodált fogaskerekek

(Forrás: [11])

Az egymáson elmozduló felületek szétválasztása, súrlódás- és kopáscsökkentés	Hőenergia elvezetés
A kopásrészecskék és szennyezőanyagok eltávolítása, a felületek tisztántartása	Korrózióvédelem

35. ábra. A kenőanyagok alapvető feladatai

(Forrás: [11])

Kopásformák Burwell megközelítése alapján:

- abráziós (kéttest és háromtest kopása),
- adhéziós (elsőrendű hideghegedéses, másodrendű meleghegedéses),
- fáradásos (felszíni kifáradás, pitting),
- mechano-kémiai,
- kavitációs,
- fretting/súrlódási korrózió,
- eróziós.

Kopási mechanizmusok – elemi folyamatok (36. ábra):

- Abráziós kopás
- Adhéziós kopás (hegedéses kopás)
- Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting)

Kölcsönhatásban levő elemek	Mozgás forma	Kopás forma	Kopási folyamat			
			kifáradás	abrázió	adhézió	vegyi
Szilárdtest/szilárd test	csúszás	csúszó kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	gördülés	gördülő kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	ütközés	ütközéses kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	rezgés	Súrlódási korrózió	igen	igen	igen	igen
Szilárd test/folyadék	áramlás	kavitációs kopás	igen	igen	nem	igen
Szilárd test/részecskék	áramlás	eróziós kopás	igen	igen	nem	igen

Kopási folyamat	A kopott felület állapota
Kifáradás	repedések, kitöredezések
Abrázió	karcok, hornyok, barázdák
Adhézió	dudorok, pikkelyek, gödrösödések
Tribokémiai	reakció termékek: bevonatok

A kopási folyamatok megváltoztatják a súrlódó felületet, jellegzetes elváltozásokat, felületi mintázatot alakítanak ki, amelyek segítenek az uralkodó kopási folyamat felismerésében, azonosításában.

36. ábra. A kopás fajtái

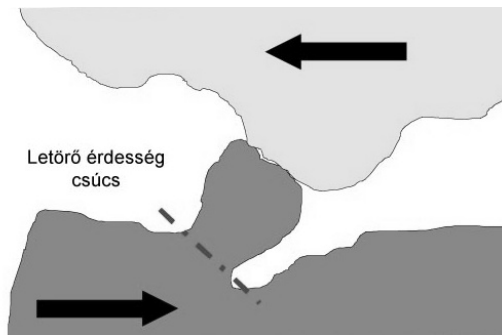
(Forrás: [3])

Kémiai hatásokon alapuló kopási mechanizmusok:

- Kavitációs kopás
- Oxidációs kopás
- Eróziós kopás
- Súrlódási korrózió

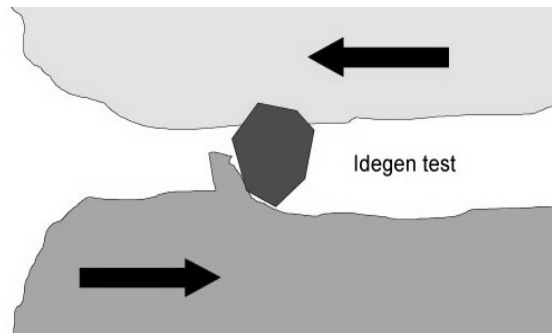
1.6.1. Abráziós kopás

Az **abráziós kopás** folyamán a keményebb felület, kiálló csúcsai elmozdulás közben mélyedéseket, karcolásokat hoznak létre a lágyabb felületben, ill, forgácsolják azt. Ez a kéttest-abráziós kopása 37. ábra. A lágy anyag mennyisége folyamatosan csökken.



37. ábra. Kéttest abráziós kopása

(Forrás: [3])



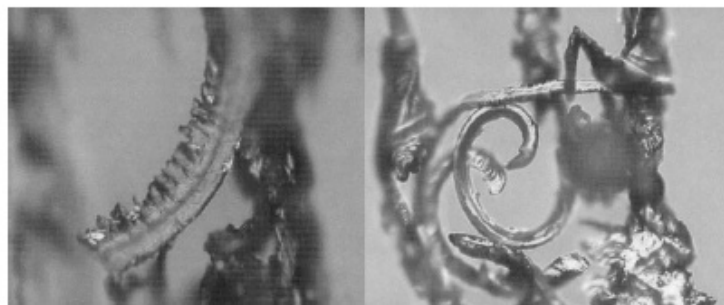
38. ábra. Háromtest abráziós kopása

(Forrás: [3])

Háromtest-abráziós kopás akkor következik be, ha a két **súrlódó** felület közé viszonylag apró szemű, **kemény csiszoló** anyag, abrazív anyag kerül. A kemény, éles abrazív anyag képlékeny alakváltozást okoz. Karcolja a felületei, abból **mikroforgácsokat** választ le 38. ábra. Az átlagosan 7-8 μm nagyságú idegen, vagy a két anyag egyikéből lepattogzott és felkeményedett szemcse megsokszorozza a kopás sebességét. Az idegen anyag általában por a saját anyag pedig lehámlott oxidréteg lehet, amely úgy fejt ki felületroncsoló hatását, hogy a lágyabb anyagba beágyazódva védi azt a keményebbel szemben, eközben mikroforgácsokat választ le a keményebb felületéről, így viselkednek például egy heterogén szövetszerkezet fémes vegyületei, amelyek védik saját "alpmátrixukat", az ellendarabot azonban elkopatják. A 39. ábra mutatja az abráziós kopások ferrogáfias felvételeit.

Két-test abrázió

Három-test abrázió



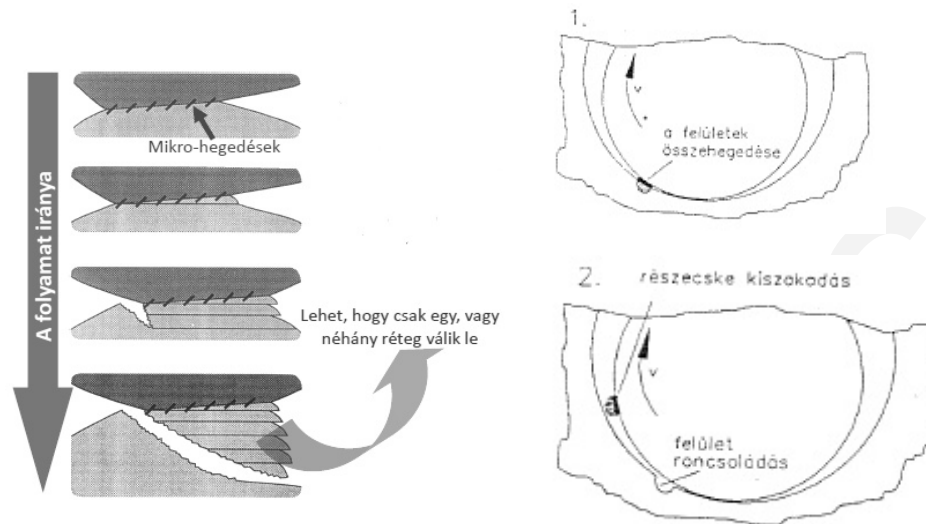
Ferrogáfias felvételek

39. ábra. Az abráziós kopások ferrogáfias felvételei

(Forrás: [11])

1.6.2. Adhéziós kopás

Az adhéziós kopást befolyásoló tényezők közül fontos a két súrlódó felület anyagának adhéziós hajlama, valamint vegyi reakcióképessége, különösen oxidációs hajlama. A hegedéses kopás egymáson viszonylag kis sebességgel ($v_{\max} = 2\text{m/s}$) elmozduló, de nagy felületi nyomás hatására súrlódó, elsősorban fémes anyagok között jön létre folyadékkenés vagy felületi oxidhártya hiányában. Az érintkezési pontokon molekuláris fémes kötés (adhéziós kötés, vagy hideghegedés) jön létre.

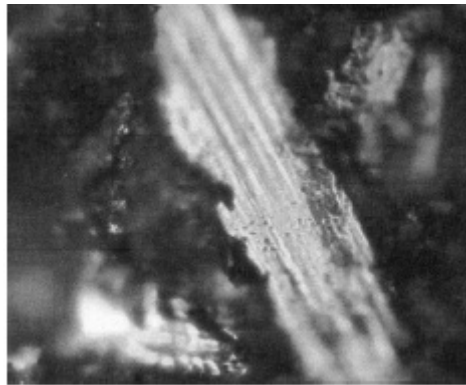


40. ábra. Az adhéziós kopás folyamata

(Forrás: [11;1])

A felületek elroncsolódásának, kopásának mechanizmusa a következő: A súrlódó párok között az egyes érintkezési pontokon molekuláris, fémes kötések jönnek létre, a szilárdtest érintkezés esetén keletkező erős adhéziós erők következtében (hideg mikro-hegedések). A további elmozdulás során a szétválás az összehegedett felületek környezetének megkeményedése miatt nem az érintkezési felületen, hanem attól eltérően, a lágyabb anyagban következik be, így a szilárdabb fém részecskéket szakít ki a kevésbé szilárd felületből. A kiszakított részecske a nagy felületi nyomás hatására elridegedik, felkeményedik és a további elmozduláskor, mint szilárd csiszolóanyag abrazív módon koptatja, karcolja a felületet. E hatásokból kifolyólag az adhéziós kopás viszonylag rövid idő alatt nagy méretváltozásokat okoz, azaz nagy az ún. kopási sebesség ($10\text{-}15\ \mu\text{m/h}$). Az adhéziós kopás folyamatát a 40. ábrán kísérhetjük figyelemmel. A 41. ábra az adhéziós kopásrészecske ferrográfias felvétele látható. Az adhéziós kopás szempontjából lényeges az anyagok oldhatósága, fontos, hogy elektrokémiai potenciálja kicsi legyen. Az alumínium magas elektrokémiai potenciálja berágódást okoz. Ezzel szemben az ón, ólom, réz, ezüst, nemesfém

bevonatok alacsony vegyi reakcióképességűek. A tiszta fémek erős adhéziós hajlamúak, míg a fémötvözetek, kompozitok ezzel szemben kedvezőek. Az adhéziós kopás egyik különleges esete az ún. melegkopás, amelynek mechanizmusa az előzőekben leírtakkal egyezik meg, azonban ez 800-900 °C hőmérsékleten és a hidegkopásnál jóval nagyobb súrlódási sebességek mellett következik be. A súrlódási hő hatására a fémfelületek felmelegednek, kilágyulnak, részlegesen megolvadnak. A melegkopás tehát nagy fordulatszámú, erősen terhelt alkatrészeken fordul elő, mint pl. forgattyús tengelyek csapjain, bütykös tengelyeken, fogaskerekeken, míg a hideghegesedés a lassú járatú, de nagy terhelésű tengelyek és csapok elhasználódására jellemző.

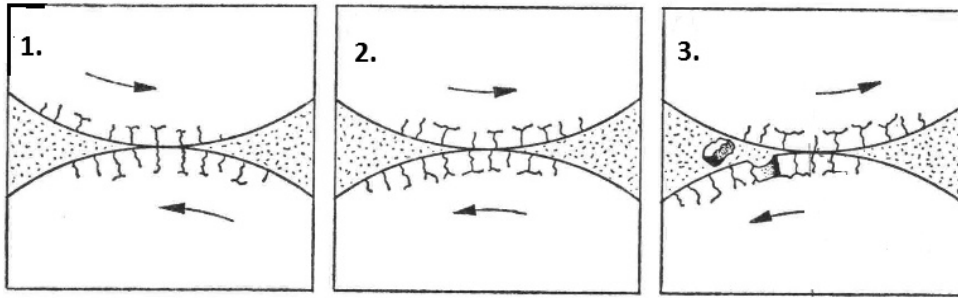


41. ábra. Adhéziós kopásrészecske ferrográfias képe

(Forrás: [11])

1.6.3. Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting)

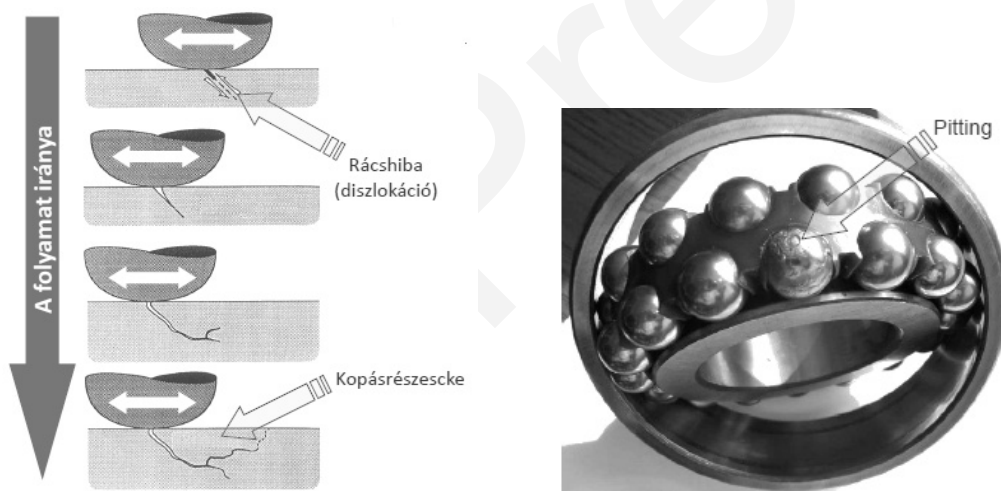
A súrlódó felületek intenzív elroncsolódása, főleg ismétlődő gördülő mozgás, dinamikus igénybevétel esetén. Az ismétlődő feszültségek kifárasztják a felületi réteget, abban mikrorepedések keletkeznek, a repedések továbbhaladása a felületi réteg lepattogzását, gödrösödését, **pittingesedését** okozza. A fáradásos kopás előre haladási folyamata a 42. ábrán látható. A fáradásos kopás főleg gördülő csapágyakban tapasztalható. A felület kifáradása szempontjából a legkritikusabb az érintkezési felület szélein nem sokkal a felület alatt ébredő, a felülettel párhuzamos nyírófeszültség (τ_{\max}).



42. ábra. A fáradásos kopás előre haladási folyamata (1,2,3)

(Forrás: [1])

A lehámlás mértéke függ az érintkező felületek alakjától, mégpedig úgy, hogy legkisebb a kipattogzás a kör, és legnagyobb a vonal menti terhelés esetében (43. ábra). A kipattogzások mélysége az ébredő max. nyírófeszültség mélységével azonos. A repedések keletkezését gyorsítják a felületi rétegekben eleve meglévő saját feszültségek, inhomogenitások, felületi repedések (pl. hőkezelés, megmunkálásból), valamint a kenőanyag hidrodinamikai nyomáeloszlása, amely ún. elasztohidrodinamikai kenési állapot esetén nem követi a Hertz-féle nyomáeloszlást, hanem a kilépési oldalon nyomáscsúcs keletkezik, a pittingképződés kiindulási helye. Ezek a helyek további meghibásodások forrásai lehetnek, másodlagos repedések, kitérdezések indulhatnak ki belőlük.

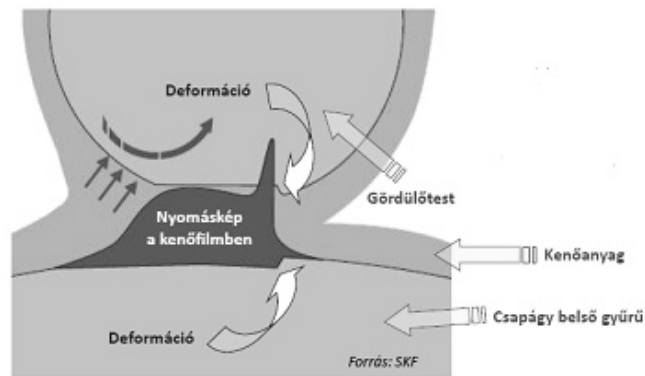


43. ábra. Példa fáradásos kopásra gördülőcsapágyak esetében

(Forrás: [11])

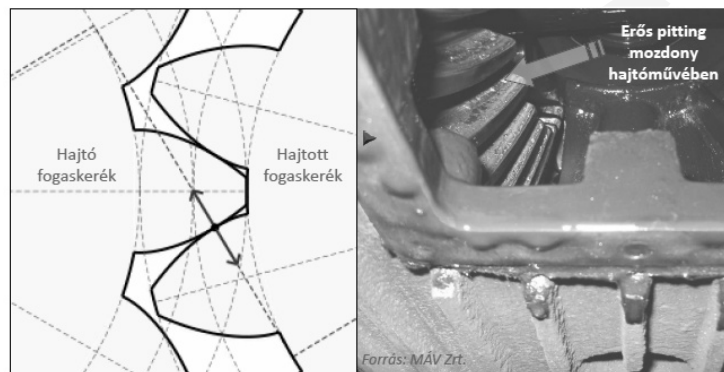
Az ismétlődő igénybevételek hatására a rácshibák mentén – gyakran a felület alatt – repedések keletkeznek és ezek terjedésével anyag darabkák válnak le. A pittingesedés a gördülőcsapágyak élettartamának végét jelenti.

A pittingesedés kenőanyaggal alig befolyásolható. Az elasztohidraulikus kenésállapotban a felületek a kenőfilmben kialakuló nagy nyomás hatására deformálódnak. A folyamatos deformáció hatására bekövetkezik a fáradásos kopás (pitting) mechanizmusa a 44. ábrán látható.



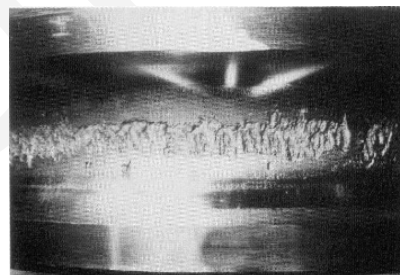
44. ábra. A fáradásos kopás mechanizmusa

(Forrás: [11])



45. ábra. Fogaskerék hajtóműben levő fogaskerék fáradásos kopása

(Forrás: [11])

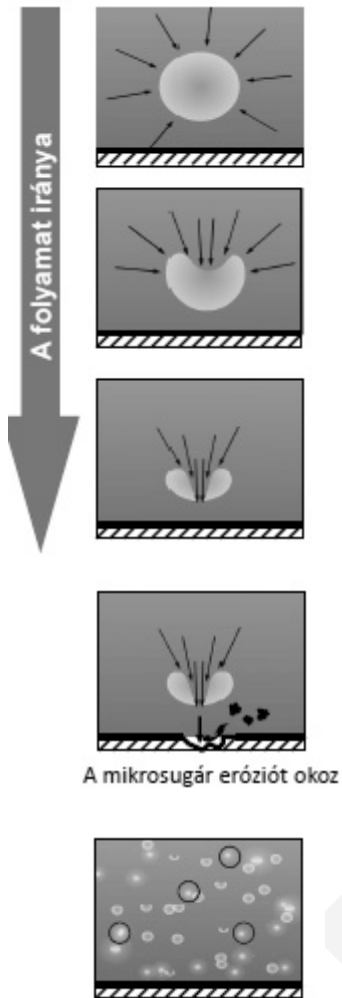


46. ábra. Gördülőcsapágy gyűrűjén látható fáradásos kopás

(Forrás: [11])

A fáradásos kopásra (pitting) példák a 45. ábrán és 46. ábrán láthatók.

1.6.4. Kavítációs kopás



47. ábra. A kavítációs kopás folyamata

(Forrás: [11])

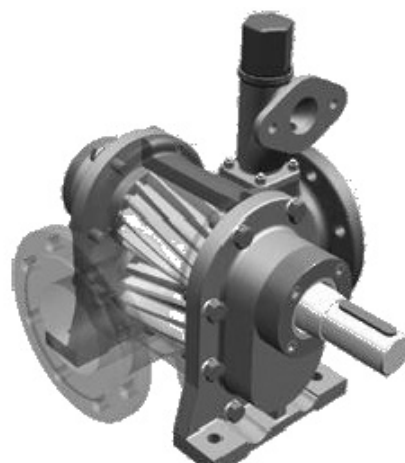
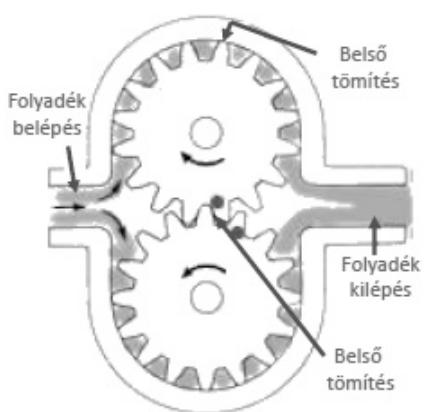
szintén felületkárosító hatáskárosító hatásúak (fáradásos károsodás). Jellemző példa a kavítációra a szivattyúlapátok, vagy motorcsónakok propellereinek kopása, ami odáig vezethet, hogy egy szivattyú, vagy propeller lapátozása egyszerűen elfogy a felületen jelentkező koptatóhatások következtében (48. ábra).

A kavítációs kopás a szilárd testek áramló folyadékkal érintkező felületein alakulhat ki, ahol a kedvezőtlen áramlási viszonyok miatt a folyadékban oldott gázok apró buborékok formájában kiválnak, majd a felületnek ütközve nagy belső nyomásuk (kb. 1500 bar) miatt szétrobbannak (kondenzálódnak), ami erős mechanikai igénybevételt okoz és lyukszerű kráteresedést eredményez. (47. ábra). A buborékok összeomlásakor erős folyadékütközéseket idéznek elő a szilárdtest felületén, aszimmetrikus mikrosugár keletkezik. A mikrosugár roncsolja a fémfelületeket (erózió) jön létre, ami jelentős mechanikai igénybevételt jelent. Az ütközések hatására repedések indulnak el a felületről, és azok tovaterjedve lyukszerű krátereket okoznak. A kavítációs kopás lassan, lappangási idő után indul el. A károsodás mértéke arányos a buborékok felületi energiájával, ezáltal függ a folyadék felületi feszültségétől, viszkozitásától, gőznyomásától. A buborékok összeroppanása nyomáshullámokat kelt, amely



48. ábra. Kavitaló hajócsavar

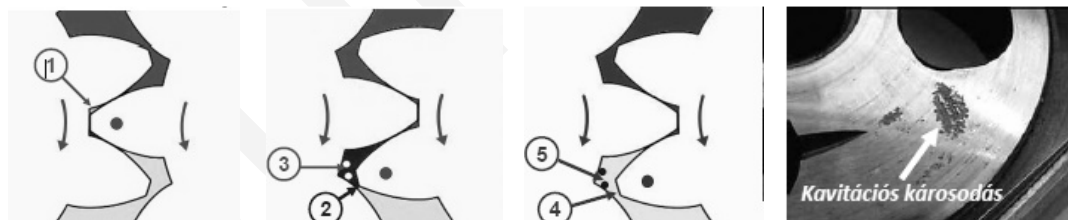
(Forrás: [1])



49. ábra. Fogaskerék szivattyúban létrejövő kavitáció

(Forrás: [11])

Fogaskerék szivattyúban létrejövő kavitációs folyamat menete. (49. ábra, 50. ábra.)



50. ábra. Fogaskerék szivattyúban létrejövő kavitációs folyamata

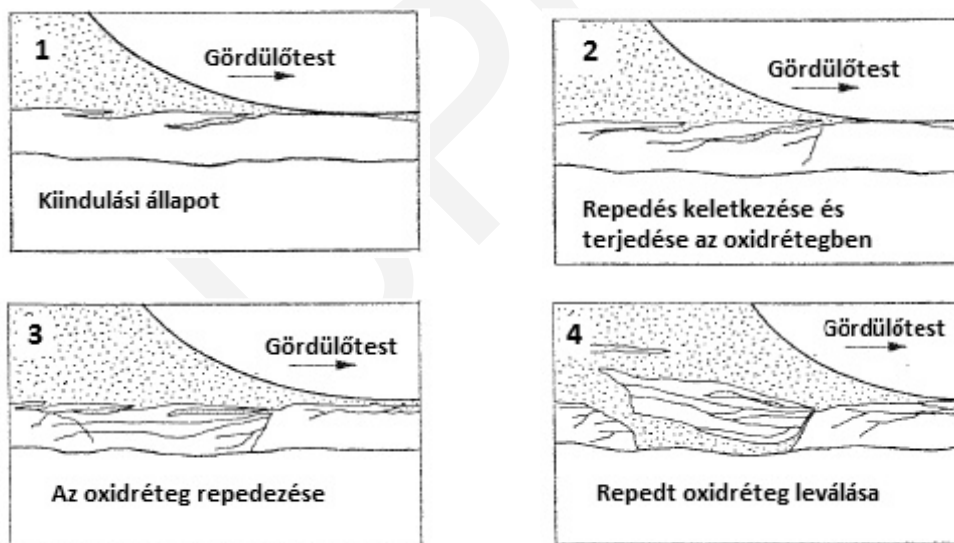
(Forrás: [11])

Az 1 jelű tér gyorsan növekedik. A folyadék a 2 jelű résen keresztül áramlik az 1 jelű térbe. Mivel a 2 jelű rés még nagyon kicsi, a 2jelű térben a nyomás lecsökken és s 3

helyen gőzbuborékok keletkeznek. A 4 jelű rész már elegendően nagy, a nyomás megnövekszik, az 5 jelű helyen a buborékok kondenzálódnak. (50. ábra)

1.6.5. Oxidációs kopás

Ez a kopásforma olyan fémeken, illetve olyan körülmények között fordul elő, amikor a nagy terhelés okozta alakváltozás következtében a felület alatti vékony réteg szilárd oldattá alakul át, azaz igen kemény, rideg fénoxid vegyületek képződnek. Az oxigén a rácshibák melletti aktív fématomokat kihasználva jut be a felületbe és például az acél esetében FeO vas-oxidot alkot, amely oxigéntartalma 10 - 50-szerese a normál acélénak, és keménysége eléri az 1100 - 1400 HV értéket. Az oxidrétegek, melyek mikroszkóppal jól kimutathatóak, az alkatrészek egymáson való további elmozdulásának következtében leválnak a felületről. Az oxidréteg rendkívül vékony, hártyszerű, leválási folyamatuk az adhéziós kopáshoz viszonyítva igen lassúnak mondható. A kopási sebesség csupán 0.1-0.5 $\mu\text{m}/\text{h}$, lassú folyamat. Abban az esetben, ha a felületbe nem diffundál be az oxigén, a kopási folyamat felgyorsul, Argon atmoszférában 10-szer nagyobb a kopás, mint levegőn, ennek megfelelően a súrlódási együttható és a súrlódó felületek hőmérséklete lényegesen nagyobb ott, ahol valamely más gáz kiszorítja az oxigént. Az oxidációs kopás mind csúszó, mind gördülő súrlódás hatására bekövetkezik, pl. hengerperselyek, fogaskerekek felületén, gördülőcsapágyakban fordul elő kisebb terhelések esetében, mivel a nagy felületi nyomás esetében már a kopás adhéziós jellegű lesz. Az oxidáció kopás folyamatát a 51. ábra szemlélteti.



51. ábra. Az oxidációs kopás folyamata

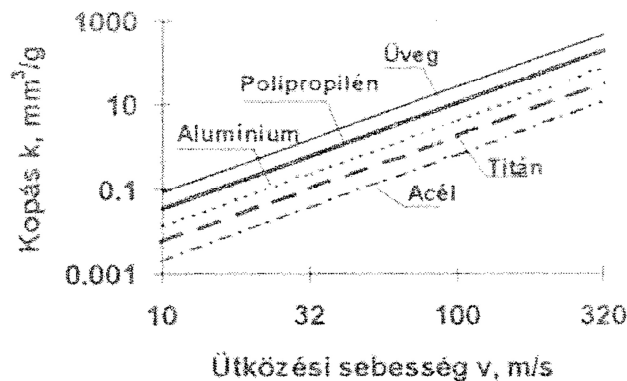
(Forrás: [1])

1.6.6. Eróziós kopás

Az eróziós kopást nem súrlódás, hanem a szilárd testekhez ütköző, áramló közeg (pl. szennyvíz, poros gázok, homok, iszap stb.) részecskéi által okozott igénybevétel hozza létre. Az eróziós kopás az anyagok áramlásakor a szilárd falhoz ütköző részecskék mozgási energiájának ütközési energiává történő átalakulása során jön létre. A szilárd fal és a részecske rugalmasan és/vagy képlékenyen deformálódik, ridegen törik és a becsapódó részecske a falból anyagrészeket szakít ki. Az eróziós kopás nagysága a felületről leváló részecskék mennyiségével azonos. **Az eróziós kopás függ:** az ütközés irányától, az ütközés sebességétől, a részecske tömegétől, a kopásnak kitett anyag szilárdságától, keménységétől, alakváltozási képességétől, és a részecske szilárdságától, keménységétől, alakváltozási képességétől, méretétől és alakjától.

A kopás mértéke függ az anyag minőségétől, valamint a részecske becsapódási szögétől. A legnagyobb mértékű kopást szívós anyagoknál a 15 - 30 fokos szögben a rideg kemény anyagoknál pedig 90 fokos becsapódási szögben tapasztalhatjuk.

Eróziós kopásban nem értelmezhető a terhelő erő és a súrlódási úthossz. A kopás jellemzésére **a fajlagos kopást használják $k = V/m$** , melyet az egységnyi koptató részecske tömegről vonatkoztatott leváló anyag mennyiségével határoznak meg, ahol a k = fajlagos kopás [mm^3/g], V = leváló anyagmennyiség [mm^3 vagy mg], m = egységnyi koptató részecske tömeg [g]. A leváló anyag mennyisége tömeggel is megadható. Miután az eróziós kopás a mozgási energiától függ, a legnagyobb hatást a kopás nagyságára az ütközési sebesség gyakorolja. (52. ábra)

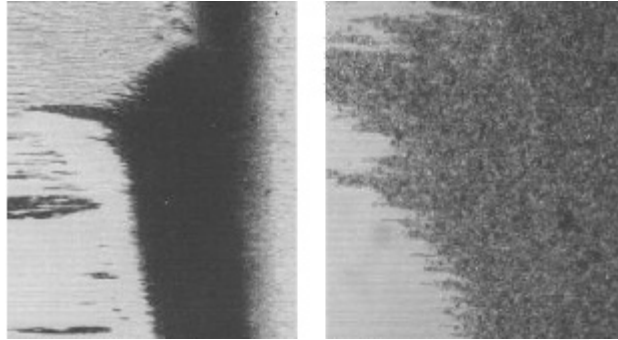


52. ábra. Az ütközési sebesség hatása a kopás nagyságára

(Forrás: [6])

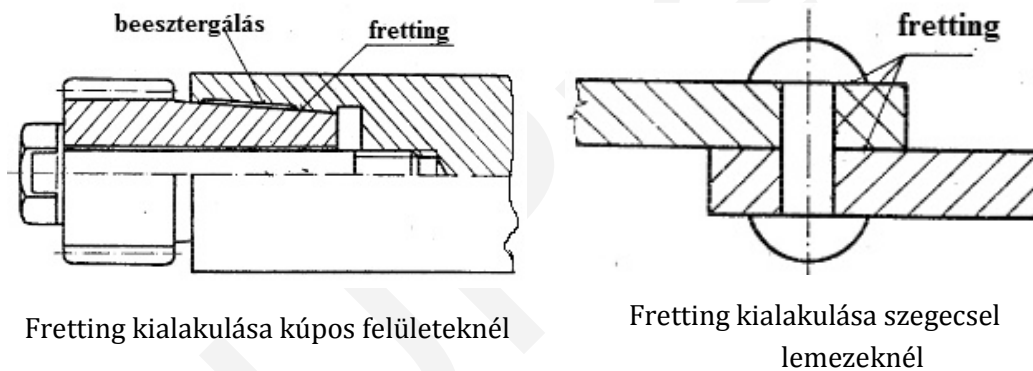
1.6.7. Súrlódási korrózió (fretting kopás)

A kopási folyamatok egyik speciális esete a súrlódási korrózió, vagy fretting kopás, mely akkor keletkezik, ha az illesztett egymással érintkezésben levő felületek dinamikai igénybevétel hatására az alkatrészek kis amplitúdójú, közepes (5-100 Hz) frekvenciás rezgéseket végeznek, melynek során fekete- vagy vörös-oxid részecskék keletkeznek. (53. ábra)



53. ábra. Fekete- és vörös-oxid részecskék ferrográfias felvételei

(Forrás: [11])



Fretting kialakulása kúpos felületeknél

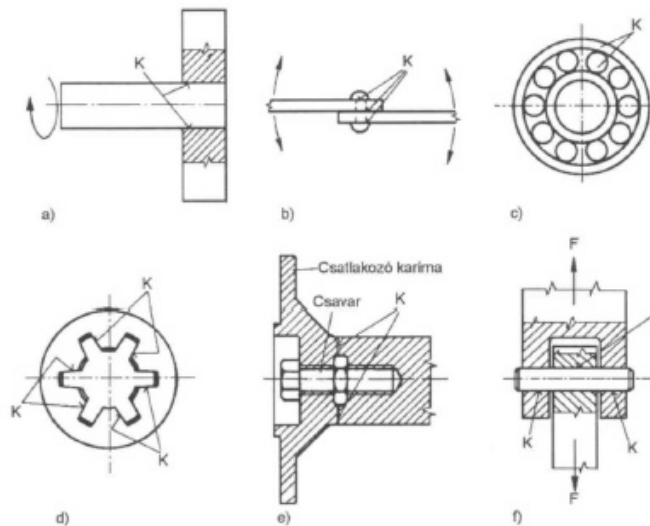
Fretting kialakulása szegecsel
lemezeknél

54. ábra: A fretting kopás folyamata

(Forrás: [10])

A súrlódási korrózió maximuma 8 μm -es amplitúdónál van, így az érintkezési, azaz kontaktzónában alternáló súrlódás jön létre. Ha ezek az elmozdulások elég nagyok, elnyírják az egymáshoz szorított szilárd testek tényleges érintkezési felületén kialakult atomos-molekuláris kapcsolatokat. A súrlódásos oxidáció kopási sebessége nagy, tehát gyors kopást, illetve berágódást okoz. E folyamat az érintkezési felületen helyi kopást és kezdődő fáradt repedést okozhat, ami az anyagok kifáradási határát drasztikusan csökkenti. A gépészetben a fretting előfordulása igen gyakori azokon a

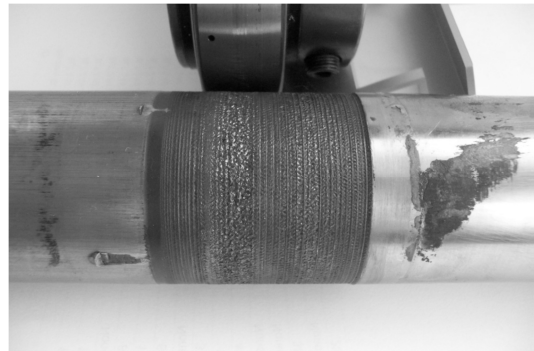
szerelt egységeken, ahol valamilyen eredetű vibráció lép fel. Szoros illesztésű alkatrészek, szegecselt szerkezetek, elektromos érintkezők esetében szinte mindennapos problémát jelent (54. ábra). Tipikus példa a fretting keletkezésére a csapágygyűrű és tengely vagy csapágyház érintkezési felülete. A gépészetben a fretting előfordulása igen gyakori azokon a szerelt egységeken, ahol valamilyen eredetű vibráció lép fel.



55. ábra: Néhány példa a súrlódási korrózió előfordulási helyeire

(Forrás: [5])

Tipikus példa a fretting keletkezésére a csapágygyűrű és tengely vagy csapágyház érintkezési felülete. (55. ábra) A kopástermékek színe acélon és vason vörös, alumíniumon és ötvözetein fekete. A súrlódási korrózió kis csúszások hatására is létrejöhet (56. ábra).

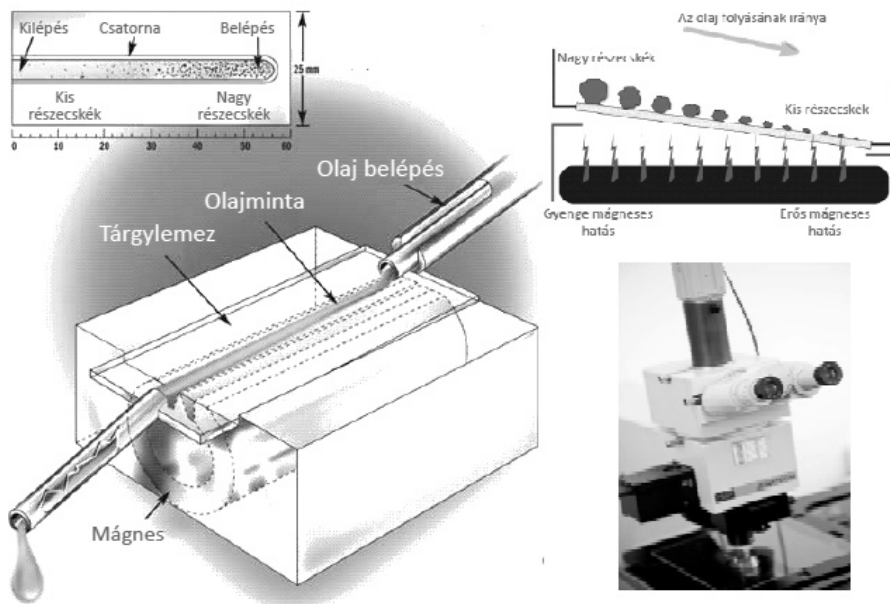


56. ábra: Az oxidációs kopás (fretting) folyamata (súrlódási folyamatot erős oxidáció kíséri)

(Forrás: [1])

1.6.8. Ferrográfia

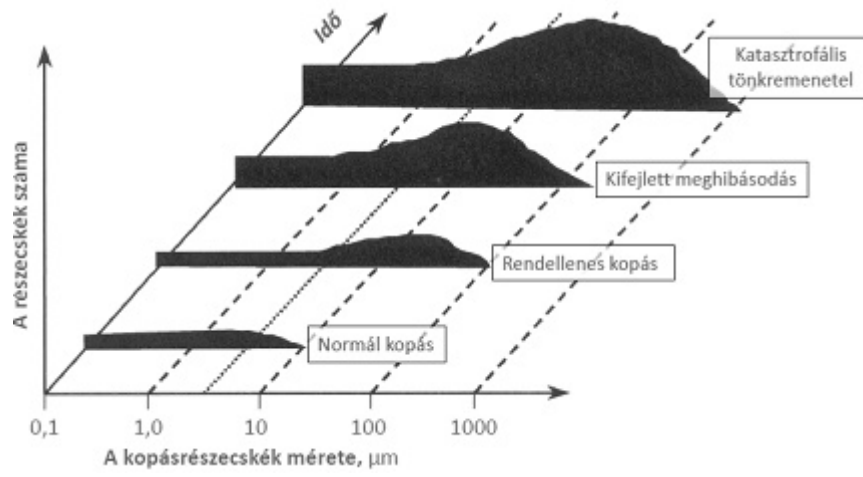
A ferrografiás vizsgálat során a kenőanyagban található szilárd részecskék az olajjal együtt gravitációs és mágneses erőterben mozognak [11]. Miután a részecskék nyugalomba kerülnek, az olajat oldószerrel eltávolítják.



57. ábra. Kopásrészecskék vizsgálata ferrográf készülékkel

(Forrás: [11])

A részecskék mennyiségének, méreteloszlásának és jellegének elemzése speciális mikroszkop alatt történik. Megítélhető a kopási folyamatok jellege (adhéziós, abráziós, korróziós stb). Valószínűsíthető a kopási folyamatok által érintett gépelemek, tanulmányozható a külső szennyeződések jellege és mennyisége. Ennek segítségével egy kopási folyamat rekonstruálható, valamint okait is fel lehet deríteni. (55. ábra) A kopásrészecskék számának és méretének változása egy gép elhasználódása során az 58. ábrán követhető.



58. ábra. A kopásrészecskék számának és méretmegoszlásának változása egy gép elhasználódása során

(Forrás: [11])

2. KENŐANYAGOKRÓL ÁLTALÁBAN

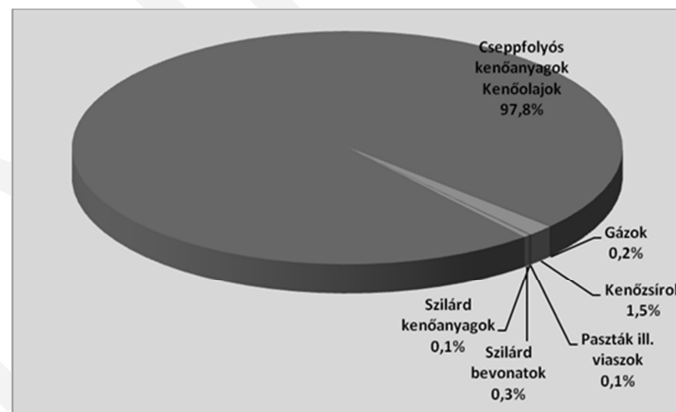
A kenőanyagok az egymáson elmozduló felületek közvetlen érintkezését gátló kenéshez, vagyis a súrlódás és a kopás csökkentése érdekében alkalmazott anyagok gyűjtőneve. A gépek, berendezések hosszú élettartamú üzemeltetéséhez a gépelemek megfelelő **kenése** elengedhetetlen. Ehhez - belsőégésű motorral történő meghajtás esetén - **korszerű motorolajokra**, a hajtáslánc kenéséhez fogaskerék **hajtóműolajokra**, bizonyos esetekben pedig ATF (Automatic Transmission Fluid) munkafolyadékokra van szükség. A hidrosztatikus hajtások, illetve mozgatók munkafolyadéka a **hidraulikaolaj**. Természetesen szükséges a gördülőcsapágyak, csuklók, csapszegek kenése a megfelelő **kenőzsírok** segítségével. A kenőanyagok megoszlását a 2 táblázaton látható.

2. táblázat

A kenőanyagok megoszlás (Forrás: [25])

%	Kenőanyag	Megjegyzés
≈ 98	Kenőolajok	Ide tartoznak a hidraulikus munkafolyadékok, a hűtő-, kenőfolyadékok és a nem kenési célú kenőanyagok mint pl. a hőközlő olajok, transzformátor olajok, stb.
≈ 1,5	Kenőzsírok	Általános kenési célú kenőzsírok, hajtóműzsírok, szóró-, tapadó kenőzsírok, tömítő zsírok és különleges kenőzsírok, pl.: műszer kenőzsírok, villamos szigetelőzsírok, stb.
≈ 0,3	Szilárd kenőanyagok	Grafit, MoS ₂ , fluorozott grafit, dikalkogenidiek, stb.
≈ 0,1	Gázok	Levegő, bármely inert (semleges) gáz.
≈ 0,1	Különleges kenőanyagok	Pl.: üveg.

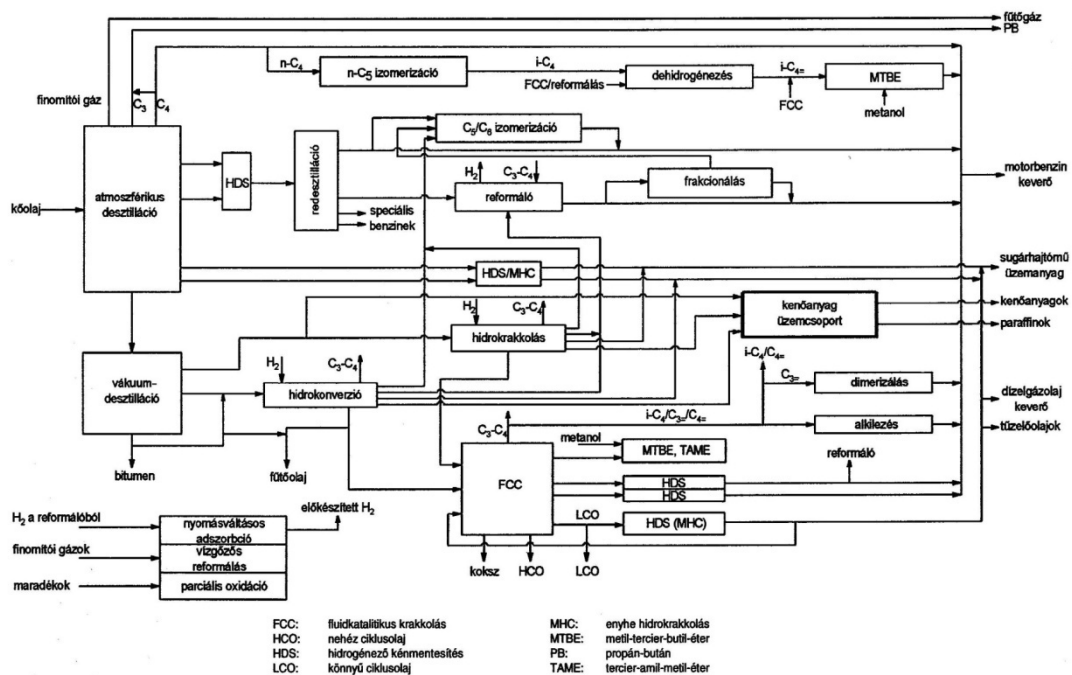
A kenőanyagok speciálisan kialakított gáz, cseppfolyós, plasztikus és szilárd halmazállapotú ipari termékek. Felhasználásuk százalékos megoszlását az 59. ábra mutatja.



59. ábra. Kenőanyag felhasználás százalékos megoszlása

(Forrás: [25])

A kőolaj finomítás egyszerűsített elvi vázlatát a 60. ábrán látható.



60. ábra. A kőolaj-finomítás elvi vázlatát

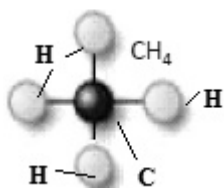
(Forrás: [17])

Csoportosításuk többféle szempont alapján történhet:

Halmazállapotuk szerint a kenőanyagok lehetnek gázneműek, folyadékok, félfolyadékok és konzisztens vagy szilárd anyagok. A gáznemű kenőanyagokkal való kenés, a gázkenés csak a különleges esetekben valósítható meg. Legelterjedtebbek a folyékony kenőanyagok: a kenőolajok és az emulziók, továbbá esetenként a víz, a glicerín stb. A konzisztens kenőanyagok vagy kenőzsírok fontos szerepet töltenek be, de alkalmazásuk jelentősen visszaszorult. Különleges esetekben a szilárd kenőanyagok alkalmazása kerülhet előtérbe. Eredetük szerint a kenőanyagok jelentős hányada **természetes eredetű, vagyis kőolajszármazék, növényi vagy állati zsiradék stb. különleges igénybevételi helyeken egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert a szintetikus kenőanyagok.**

A kenőanyagok túlnyomó többségének fő alkotóját **szénhidrogén** vegyületek képezik, de vannak kivételek is például, szilikonolaj-, glikol- és észter-alapú kenőanyagok, a kenőzsírok sűrítői. A szénhidrogén vegyületek lehetnek természetes eredetűek (kőolajszármazékok), vagy mesterségesen előállítottak (szintetikus vegyipari termékek). A legegyszerűbb szénhidrogén molekula a metán, CH₄. A szén és a hidrogén végtelen sokféle molekulát – vegyületet - alkothatnak a molekulák

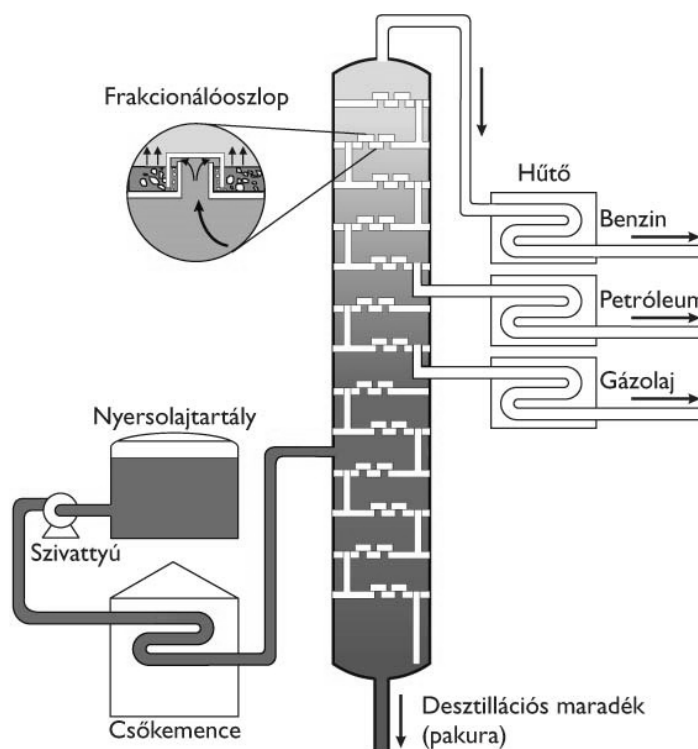
konstrukciója és a szénatomok száma szerint. Az alapvető szénhidrogén molekula a 61. ábra alapján látható.



61. ábra. Alapvető szénhidrogén molekula

(Forrás: [12])

A kőolaj desztillációjának elvét és lépéseit a 62. ábrán látható.



62. ábra. A kőolaj desztillációját végző torony sematikus rajza

(Forrás: [27])

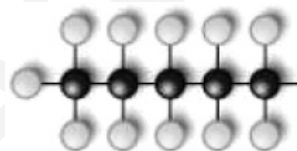
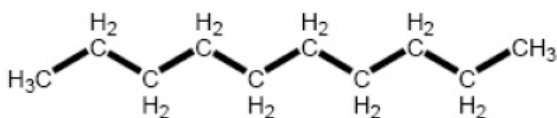
Az 3. táblázat foglalja össze a kőolaj-finomítás főbb termékeit.

Termék	Szénatomszám	Felhasználás:
Nyersbenzin, petróleum (gazolin), könnyűbenzin, nehézbenzin	C ₅ -C ₁₀	oldószer, sebbenzin, motorbenzin
Világítóolaj (petróleum, kerozin)	C ₁₁ -C ₁₂	traktor, repülőgép, rakéta hajtóanyaga, benzinyártás
Gázolaj (dízeloilaj)	C ₁₃ -C ₂₀	autók, traktorok, mozdonyok, hajó és teherautómotorok hajtóanyaga
Pakura (párlási maradék; kenőolaj, vazelin, paraffin)	C ₂₀ -C ₃₀	tűzelés gőzmozdonyokban, különböző minőségű kenőolajok, gyógyszerek, kozmetikai szerek
Bitumen	C ₃₁ -C ₅₀	útépítés, szigetelés

A kenőanyagokban a különböző jellegű (paraffinos, nafténes, aromás) és különböző szénatomszámú szénhidrogén vegyületek egyaránt előfordulnak, de arányuk eltérő lehet.

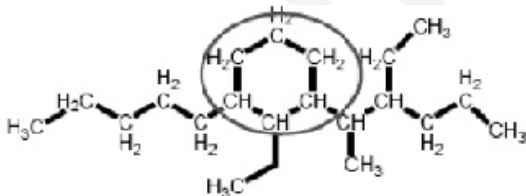
A szénhidrogén molekulák konstrukciója alapján néhány példa:

1. Lineáris (normál) paraffinok (lánc alakú telítetett szénhidrogének):



(Forrás: [12])

2. Naftének jellemzőjük a telített gyűrűs (nem aromás) szerkezet:



(Forrás: [12])

3. Aromások jellemzőjük a gyűrűs telítetlen szénhidrogének, kettő gyűrűs (aromás) szerkezet. Kémiaiilag nem stabilak, óvakodjunk a nagy aromás tartalmú kenőanyag használatától (rákkeltők).

4. Hidrokrakk olajok (alapanyag nagy molekuláiból kisebb előállítás nagy nyomású hidrogén jelenlétében, mérsékel hőmérséklet. jelenlétében, katalizátort igényel)

Felhasználási ágazat szerint beszélhetünk közlekedési-, mezőgazdasági-, ipari- (ezen belül bányászati, gépipari, villamosipari, élelmiszeripari, gyógyászati stb.) kenőanyagokról.

Az alkalmazott gépi berendezés szerint motor-, hajtómű-, hidraulika-, kompresszor-, stb. kenőanyag különböztethető meg.

2.1. Kenőolajok

A kenőolajokat a kőolajok atmoszférikus desztillációjának maradékából, a pakurából vákuum desztillációval állítják elő. A vákuum lepárlás párlatai a kenőolaj párlatok. A kenőolaj párlatokat felhasználás előtt rendszerint kénsavval, oldószerekkel vagy hidrogénezéssel finomítják, szükség esetén adalékolják, hogy a különböző kenési helyek által támasztott követelményeket jobban kielégítsék. Így a kenőolaj minőségét egyre jobb finomítási eljárások segítségével javították, majd egyre bonyolultabb adalékolással elégtették ki a növekvő minőségi igényeket. **Adalékolással** a folyási tulajdonságokat (viszkozitásindex), oxidációs stabilitást javítják, megakadályozzák a szennyező anyagok kiválását, a kivált szennyező komponenseket szuszpenzióban tartják, csökkentik a kopást, súrlódást, dermedéspontot, gátolják a rozsdásodást, habzást stb.

A kenőolajok idővel elhasználódnak, az egyidejű folyamatok eredménye az öregedés hatása (oxigén, nagy hőmérséklet, fémek katalitikus hatása), illetve szennyeződés hatása (szilád, folyadék, légnemű anyagok). A tulajdonságok és/vagy funkciók javítására adalékokat adunk az olajhoz (63. ábra).

Megnevezés	Feladat, hatásmechanizmus
kopásgátló (AW)	súrlódáscsökkentés (AW - anti wear)
korróziógátló	fémkorrózió létrejöttének megakadályozása
detergens	fémfelület tisztántartása, szennyeződésekre tapadnak és azokat lebegésben tartják
diszpergálók	megakadályozza a lerakódást és az iszapképződést
emulgeálók	emulzióképződés elősegítése
viszkózitási index növelők	μ - T összefüggésjavítása
nyomástálló (EP)	nagy felületi terheléskor használják; szorpciós réteget képez a súrlódó fémfelületen (EP - extrem pressure)
oxidációgátló	oxidációs sebesség csökkentése
habzásgátlók	csökkentik a felületi feszültséget, ezáltal a buborék-képződési hajlamot
dermedéspont csökkentők	a paraffinok kiválásának megakadályozása
savsemlegesítők	a keletkezett savak semlegesítése, pl. dízel

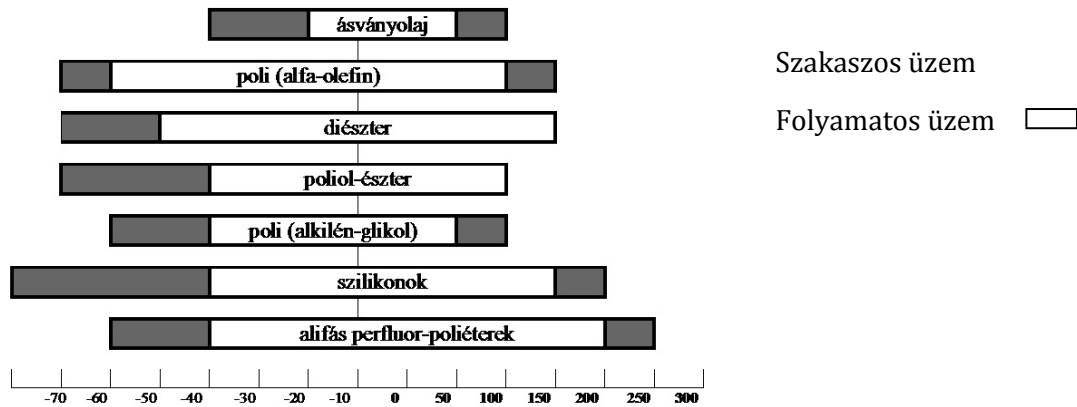
63. ábra Adalékok tulajdonságai

(Forrás: [25])

Adalékok:

- súrlódás és kopáscsökkentő adalékok
- EP/AW - adalékok
- dermedéspont csökkentők
- viszkozitás index (VI) - növelők
- oxidáció- és korróziógátló adalékok
- detergens-, diszpergens (DD) adalékok
- egyéb adalékok (emulgeátorok, színezők, habzásgátlók stb.).

A kenőanyag egyik legfontosabb tulajdonsága az alkalmazhatósági hőmérsékletetár, melyet néhány szintetikus kenőanyagra az ásványolajjal összehasonlítva a 64. ábra mutatja.



64. ábra Kőolaj-eredetű és szintetikus olajok alkalmazási hőmérséklet-tartománya

(Forrás: [17])

A kenőolajok legfontosabb kémiai és fizikai jellemzői:

1. Viskozitás

A viszkozitás a kenőolajok folyási képességének egyik legfontosabb mérőszáma, amely a folyadék rétegek egymáson való elcsúszásánál fellépő belső súrlódást, ellenállást jellemzi. A viszkozitás a folyadékok belső súrlódásának mértéke. A súrlódás mindig energiaveszteséget okoz, mégsem csökkenthetjük minden határon túl. A gép konstrukciójának és üzemi jellemzőinek, valamint a kenőanyag viszkozitásának összhangban kell lenni (65. ábra). Mértéke két módszerrel adható meg:

- **dinamikai (η),**
- **kinematikai (ν).**

A leggyakrabban az ún. kinematikai viszkozitással lehet találkozni.

Dinamikai viszkozitás (η) - nyírófeszültség és a nyírási sebesség aránya.

Mértékegysége: Pa·s. [Nsm²]

- A viszkozitás az olaj teherhordó képességét határozza meg. A nagy viszkozitás nagy belső súrlódást is jelent

Kinematikai viszkozitás (ν), az olaj kifolyási ideje adott hőmérsékleten.

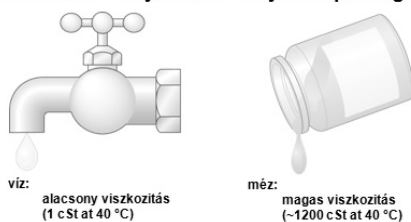
Mértékegysége: m²/s; m²/s

- A kinematikai viszkozitást viszkoziméterben mérik. A gyakorlatban 40 °C -on és 100 °C-on mért értékeket adnak meg. A kinematikai viszkozitást (ν) a dinamikai viszkozitás (η) és a sűrűség (ρ) arányaként is meg lehet határozni:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Olaj viszkozitási fokozatok

Viszkozitás = folyadékok "folyási képessége"



65. ábra. Viszkozitási fokozatok

(Forrás: [26])

A folyadékok többsége nem, vagy csak közelítőleg newtoni jellegű (66. ábra). A kenőolajok csak nagyon korlátozott körülmények (nem túl alacsony és nem túl magas hőmérséklet, gyenge adalékolás stb.) között mutatnak newtoni tulajdonságokat. Sűrűdés és viszkozitás módosító adalék alkalmazásával szándékosan térítjük el a kenőolajokat a newtoni jellegtől.



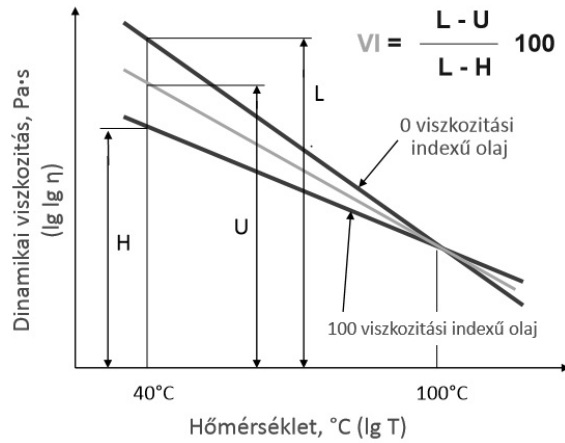
Ha a hőmérséklet és a nyomás állandó a folyadék viszkozitása állandó, nyugalmi folyadékban nem ébred csúsztató feszültség.

A folyadék viszkozitása akkor is függ a nyírési sebességtől, ha nyomása és a hőmérséklet állandó.

66. ábra. A folyadékok viszkozitása

(Forrás: [17])

A kenőanyagok viszkozitásának hőmérséklet-függését a viszkozitási indexszel (VI) fejezzük ki. Ez egy olyan tapasztalati szám, amely jellemző a kenőolaj viszkozitásának hőmérséklet szerinti változására. (66. ábra). A **viszkozitási indexet két empirikusan kiválasztott referencia-olajsorozathoz való hasonlítással, a 40 °C-on és 100 °C-on mért viszkozitással számolják ki.** (Dean és Davies által javasolt módszer) (67. ábra)



67. ábra. A viszkozitási index meghatározása vizsgált olajnál (sárga)

(Forrás: [12])

Ahol:

- VI - a viszkozitási index
- U - a vizsgált olajminta kinematikai viszkozitása 40 °C-on (mm^2/s)
- L - annak az alapolajnak a viszkozitása 40 °C-on (mm^2/s), amelynek viszkozitási indexe 0, és viszkozitása 100 °C-on megegyezik a vizsgált olajminta viszkozitásával.
- H - annak az alapolajnak a viszkozitása 40 °C-on (mm^2/s), amelynek viszkozitási indexe 100, és viszkozitása 100 °C-on megegyezik a vizsgált olajminta viszkozitásával.

A számításokhoz a kenőolaj viszkozitását két meghatározott hőmérsékleten meg kell mérni. A referencia-hőmérsékletek eredetileg a következők voltak: 40°C és 100°C.

A viszkozitás módosítása adalékokkal hozzáadásával lehetséges.

Annál kedvezőbb az olaj hőmérséklet szerinti viszkozitás változása, minél nagyobb a VI index. (3. táblázat)

Csoport	Kinematikai viszkozítási index
Alacsony viszkozítási index (L.V.I.)	35 alatt
Közepes viszkozítási index (M.V.I.)	35-80
Magas viszkozítási index (H.V.I.)	80-110
Nagyon magas viszkozítási index (V.H.V.I.)	110 felett

Egyéb tulajdonságok:

2. Sűrűség, kg/m³, (g/cm³). A tömeg és térfogat viszonya.

3. Lobbanáspont [°C]

- az a hőmérséklet, amelynél a fejlődő olajgőzök égő láng közelítésekor először fellobbannak.

4. Folyáspont [°C]

- az a hőmérséklet, amelyen hűtés során egy adott hőmérsékleten a viszkozitás növekedése olyan mértékű, hogy a kenőolaj folyása megszűnik, tovább hűtve megdermed.

5. Dermedéspont [°C]

- az a hőmérséklet, amelyen az olaj elveszti folyékonyágát.

Hidegállóság. Értéke függ a kémiai összetételtől (C_A , C_N , C_P) és a viszkozitástól. Ez az érték az ún. dermedéspont javító adalékok hozzáadásával javíthatók.

6. Hamutartalom

- az a maradék, ami az olaj elégetése ill. elhamvasztása után visszamarad. A hamutartalom a különféle adalékok következménye.

2.1.1. Motorolajok

A motorolajok rendkívül összetett kenőanyagok, amelyet a motor szerkezeti elemének tekinthető gépelemként szükséges szemlélnünk. A motor kenésére használt olajnak rendelkeznie kell mindazokkal a tulajdonságokkal, amelyeket a különböző kenési helyek (forgattyús hajtómű, dugattyú és környezete, fogaskerekek és vezértengely, szelep és környezete) támasztanak, az adalékok pedig ott se fejtsenek ki káros hatást, ahol jelenlétük nem szükséges (68. ábra).



68. ábra. Motorolaj általános felépítése

(Forrás: [25])

Figyelembe kell venni továbbá a klimatikus viszonyokat, az üzemeltetési körülményeket, a motor kialakítását, tervezési sajátosságait, konstrukcióját, stb.

A motorolaj klasszikus feladatai:

- Kenés (egymáson elmozduló alkatrészek kenőfilm általi elválasztása)
- Terhelésfelvevő kenőfilm biztosítása
- Hűtés (égési, súrlódási hő)
- Tömítés (pl. hengerfal mentén)

Csak adalékolással teljesíthető feladatok:

- A motor belső részeinek tisztántartása
- Kopásvédelem
- Súrlódás csökkentése
- Korrózió elleni védelem
- Savas jellegű vegyületek semlegesítése
- Habzás megakadályozása
- Megfelelő olajélettartam biztosítása
- Kémiailag stabil és hosszú élettartamú legyen
- Egyéb feladatok: pl. hajtóműolaj szerep ellátása

A motorolajok viszkozitása a súrlódást, a hidegindító képességet, a kopás- és üzembiztosságot, az olajfogyasztást és olajnyomást, valamint a működési zajt befolyásolja. A hidegindíthatóság, az olajnyomás, a működési zaj - az adott motor esetében - a viszkozitás kizárólagos függvénye. A többi üzemi jellemzőt az illékonyság és a teljesítményszint is befolyásolja. Az olajoknak széles hőmérsékleti tartományban kell a követelményeknek megfelelnie. Indításkor az olaj hidegviszkozitása az alapvető. A kopást, a súrlódási ellenállást, az üzembiztosságot az olaj melegviszkozitása határozza meg. Ezért a motorhoz használandó olaj viszkozitásának felső határát a legnagyobb menetsebességből adódó legnagyobb olajhőmértéklet; alsó határát az indítási és szivattyúzhatósági követelmények határozzák meg. E feltételek alapján az **Amerikai Autómérnökök Egyesülete**, a SAE (Society of Automotive Engineers, USA) már 1926-ban kidolgozta a motorolajok viszkozitási osztályozását, amelyet azóta többször felülvizsgáltak, illetve átdolgoztak. Ma a SAE J 300 számú szabvány hatályos. Ebben a csoportosításban az olaj viszkozitását 100°C-on írják elő. A télen is használható olajokhoz megadják az előírt hőmérsékleten mért látszólagos viszkozitást és a szivattyúzhatósági hőmérsékletet is. (69. ábra)

SAE viszkozitás-osztály	Látszólagos viszkozitás		Szivattyúzhatósági hőmérséklet, max. °C	Kinetikai viszkozitás 100°C-on [mm ² /s]	
	mPas maximum	°C		legalább	legfeljebb
0 W	3250	-30	-35	3.8	-
5 W	3500	-25	-30	3.8	-
10 W	3500	-20	-25	4.1	-
15 W	3500	-15	-20	5.6	-
20 W	4500	-10	-15	5.6	-
25 W	6000	-5	-10	9.3	-
20				5.6	9.3
30				9.3	12.5
40				16.3	16.3
50				16.3	21.9

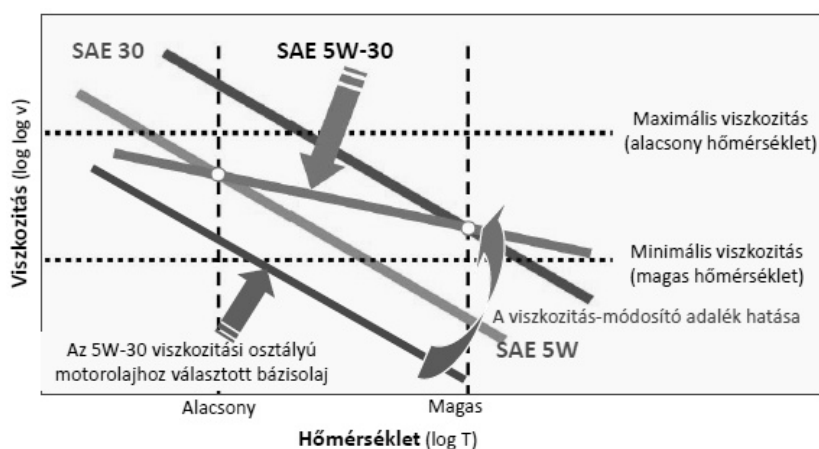
69. ábra. SAE szerinti viszkozitási osztályok

(Forrás: [13])

Az osztályozás kétféle kategóriát határoz meg, **W** jelű, téli és **a** jelölés nélküli, nyári olaj viszkozitási kategóriát. **Téli: 0W; 5W; 10W; 15W; 20W; 25W, nyári: 20; 30; 40; 50; 60.**

Az **egyfokozatúak** egyetlen adott viszkozitás osztály pl. SAE 40 vagy SAE 20W előírásait teljesítik. A hosszú csereidőtartamok iránti igény szükségessé tette egy olyan olaj kifejlesztését, mely biztosítja a melegviszkozitás követelményeit, de a téli indítási feltételeknek is megfelel. A **többfokozatúak (multigrade)** pedig egyidejűleg garantálják ezeket a tulajdonságokat. pl.: 20W-50, előírt követelmények teljesülését.

A többfokozatúak között beszélhetünk **szűk** (pl. 20W-20) és **tág határú** (pl. 5W-50) olaj viszkozitású motorkeőanyagokról. Európában, így Magyarországon is a többfokozatú motorolajokat használják, mivel egész évben, évszaktól függetlenül használhatóak. A legelterjedtebb olajok: SAE 15W-50, SAE 15W-40, SAE 10W-40, SAE 20W-50 és a SAE 10W-50. A többfokozatú olajokat két SAE számmal jelölik (70 ábra).



70.ábra. Többfokozatú olajok értelmezése

(Forrás: [12])

A SAE viszkozitás-csoport szerint jelölt olajok alkalmazhatóságának külső hőmérséklet-tartományát a 4. táblázat foglalja egybe.

4. táblázat Olajok alkalmazhatóságának külső hőmérséklet-tartománya (Forrás: [13])

<i>SAE viszkozitási osztály</i>	<i>Környezeti hőmérséklet</i>
SAE 10 W	-25 °C/+5 °C
SAE 15 W	-20 °C/+5 °C
SAE 20 W	-10 °C/+15 °C
SAE 30	-0 °C/+25 °C
SAE 40	+10 °C/35 °C
SAE 50	+15 °C/+50 °C

A többfokozatú (multigrade) motorolajok SAE viszkozitású csoportja az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat A többfokozatú (multigrade) motorolajok SAE viszkozitású csoportja

(Forrás: [13])

SAE csoport	Viszkozitás		Viszkozítási index extended (tájékoztató)
	-18 °C-on legfeljebb (mm ² /s)	100 °C-on legalább (mm ² /s)	
5 W - 20	1 300	5,7	145
5 W - 30	1 300	9,6	205
10 W - 20	2 600	5,7	90
10 W - 30	2 600	9,6	145
10 W - 40	2 600	12,9	170
10 W - 50	2 600	16,8	190
15 W - 40	4 800	12,9	120
15 W - 50	4 800	16,8	150
20 W - 30	10 500	9,6	100
20 W - 40	10 500	12,9	115
20 W - 50	10 500	16,8	133

Például a 10 W-40-es olajjal eleget tehetünk mindazoknak a (kenési) előírásoknak, amelyekben

- 25 °C-tól	0 °C-ig	SAE 10 W
- 10 °C-tól	10 °C-ig	SAE 20 W
0 °C-tól	30 °C-ig	SAE 30
30 °C felett		SAE 40

olajat írták elő.

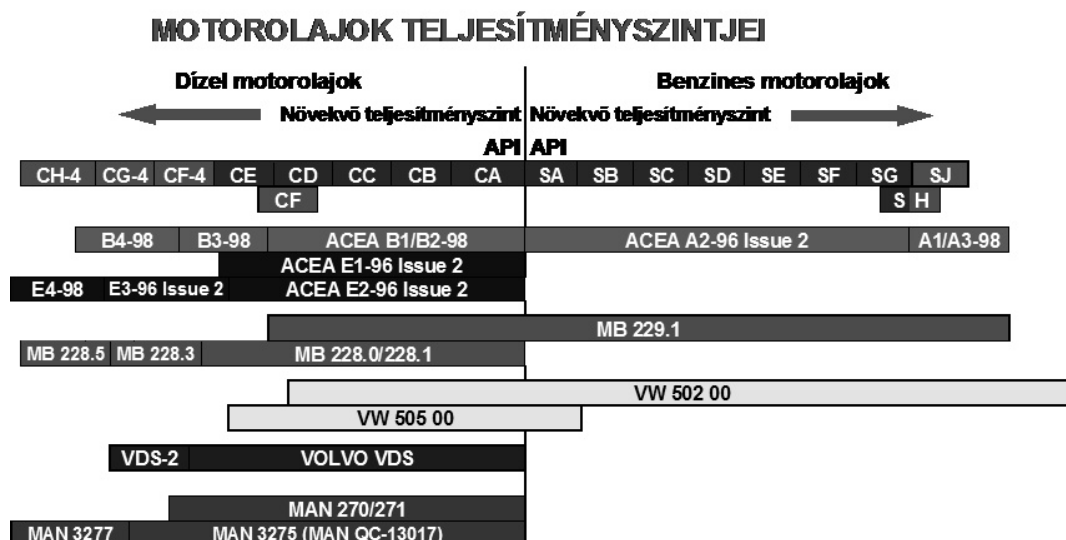
Motorolajok viszkozítási fokozatai SAE J 300 szabvány alapján. Ezek figyelembevételével történő motorolaj osztályozása 71. ábra alapján történik.

VISZKOZITÁS SZERINT (SAE)		TELJE SÍTMÉNY SZINT SZERINT	
Hidegindíthatósági tulajdonságok -5 °C ~ -35 °C		A motorolajtól elvárt tulajdonságok milyen mértékben teljesülnek	
SAE 0W SAE 5W SAE 10W SAE 15W SAE 20W SAE 25W	↑ - Javul a hidegindíthatóság - Hideg (téli) viszkozitás csökken	<ul style="list-style-type: none"> - Kopáscsökkentés - Tisztító hatás - Öregedési hajlam - Korrozógátló hatás - Illékonyág 	
Melegüzemi viselkedés, nyírás-stabilitás 100 °C - 150 °C		<u>Világszabványok:</u>	
SAE 20 SAE 30 SAE 40 SAE 50 SAE 60	↓ - Kenőfilm hordképesség, terhelhetőség nő - Meleg (nyári) viszkozitás nő	<ul style="list-style-type: none"> - API, amerikai: - ACEA (CCMC) európai: 	<ul style="list-style-type: none"> • benzines, • dízel • benzines • dízel szgk. • dízel haszongjű
<ul style="list-style-type: none"> - Egyfokozatú (szezonális) olajok, pl: SAE 30, 40, 50, 10W - Többfokozatú (egész éven át használható) olajok, pl: SAE 5W-40, 10W-40, 20W-50 		<ul style="list-style-type: none"> - Járműgyártók specifikációi: VW, BMW, Porsche-személygépkocsik - Mercedes-Benz, MAN, Volvo, Renault stb. 	

71. ábra. Motorolajok osztályozása

(Forrás: [25])

Motorolajok teljesítményszintjeit a 72. ábrán láthatók.



72. ábra. Motorolajok teljesítmény szintjei

(Forrás: [25])

Különböző viszkozitású motorolajok alkalmazhatóságát a 73. ábra mutatja.

Hőmérséklet °C	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
EGYFOKOZATÚ MOTOROLAJOK																			
Téli	SAE 0W																		
	SAE 5W																		
	SAE 10W																		
	SAE 15W																		
	SAE 20W																		
Nyári	SAE 25W																		
	SAE 30																		
	SAE 35																		
	SAE 40																		
SAE 50																			
TÖBBFOKOZATÚ MOTOROLAJOK																			
Téli-nyári	SAE 5W-40																		
	SAE 10W-40																		
	SAE 15W-40																		
	SAE 20W-40																		
	SAE 15W-50																		
	SAE 20W-50																		
SAE 10W-50																			

73. ábra Motorolajok alkalmazhatósága

(Forrás: [28])

Motorolajok keverhetősége

Gyakran felmerül a kérdés. keverhetőek-e a különböző márkájú olajok?

Az ésszerűség határain belül igen. Lehetőség szerint persze el kell kerülni, azonban ha motor-meghibásodást okozna az alacsony olajsztint és nem áll rendelkezésre az utántöltéshez eredeti olaj, azonos viszkozitású és azonos teljesítményszintű olajjal kell utántölteni. A mai modern motorolajok, beleértve a szintetikus olajokat is, általában keverhetőek egymással, fontos azonban tudni, hogy utántöltés ide, utántöltés oda, az eredeti csereperiódus betartása szükséges mindig, még a nagy olajfogyasztású motoroknál is, ugyanis csak a tiszta olaj ég el és a szennyeződések bennmaradnak a motorban. Az olajleeresztés után bennmaradó használt olaj olyan kis mennyiségű, hogy **nem rontja** az új olaj tulajdonságait. Sokkal többet árt, ha mosóolajjal átmoszuk a motort, ugyanis az így bennmaradó adalékoltatlan olaj rontja a motorolaj tulajdonságait. Ugyanígy **nem ajánlatos** semmiféle pótlólagos adalék használata, bármennyire is ajánlja a gyártója. Az olajok tartalmazznak minden olyan adalékot amire szükség van. Az utólag beletett adalékok hatását senki nem próbálta ki, nem végezték el újra azokat a minősítő tesztek, amelyeket már feltüntettek az olaj dobozán, ezáltal nem tudjuk, milyen hatással van a motorra. Valószínűleg a negatív következmények sem azonnal jelentkeznek, hanem sok ezer km megtétele után. Amennyiben egy alkalmatlan olaj használata, vagy a gyakori hidegindításos üzem következtében a motorban iszaplerakódás keletkezett, új motorolajjal öblíthetjük a motort. Az új motorolaj betöltése után kis terheléssel üzemeltessük a motort, hogy az olaj elérje üzemi hőmérsékletét, ahol a tisztító hatását a legjobban ki tudja fejteni. Az új motorolaj detergens-diszpergens hatásánál fogva feloldja a még nem kemény, nem ráégett szennyeződések, majd eresszük le az elszennyeződött olajat és töltsük fel új olajjal a motort. A **túl magas olajsztint** szintén meghibásodásokhoz vezethet (pl. katalizátor), ezért a túltöltést is feltétlenül el kell kerülni.

Összefoglalva egy motorolajnak az alábbi követelményeknek kell megfelelnie:

1. – **megfelelő viszkozitás**, azaz a gépkönyv előírásainak és a klimatikus viszonyoknak megfelelő viszkozitási osztály. Magyarországon ez a:

SAE 5W-40, SAE 10W-40, SAE 15W-40, SAE 20W-40, SAE 15W-50,

(esetleg 10W-30, 5W-30 a gépkönyvnek megfelelően.)

2. – **megfelelő teljesítményszint**, a gépkönyv követelményei szerint:

API SG; CCMC G4, G5; benzinmotorokhoz, illetve

API CD, CD, CF-4; CCMC D4, D5, PD2 dízelmotorokhoz

továbbá a gépkönyv által előírt gyártói jóváhagyások, mint pl.:

VW 500.00, VW 501.01; benzinmotorokhoz, vagy

VW 505.00; MB 228.1, MB 228.3 dízelmotorokhoz.

A gépkönyvek általában több lehetséges megoldást kínálnak. Ha az olaj minősítései között megtalálható ezek közül egy, vagy több, az olaj alkalmazható.

Motorolajok teljesítmény szintje

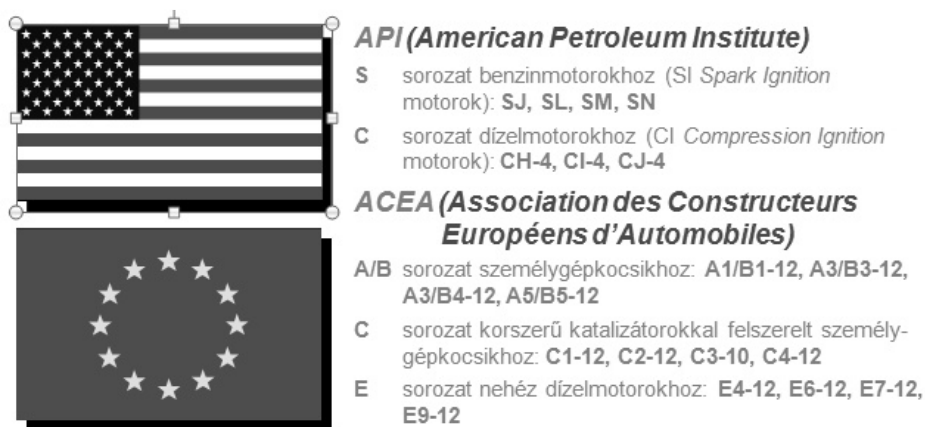
A motorolajok teljesítményszint szerinti osztályozása nemzetközileg elfogadott szigorú szabványrendszerekre épül, amelyeket géplaboratóriumi körülmények között végrehajtott fékpadi motorvizsgálatok és kiegészítő olajlaboratóriumi vizsgálatok alapján állapítják meg akkreditált intézmények. A motorfékpadi vizsgálatok nagyon jól szimulálják, hogy a motorolaj milyen szinten képes megoldani a motor védelmét a legintenzívebb igénybevételekkel szemben. A motorfékpadi vizsgálatok több évtizedes fejlesztési eredménye, hogy a magas teljesítményszintűnek minősített termékek képesek a gyakorlatban minden követelménynek egyidejűleg megfelelni.

A motorolajok teljesítményszint szerinti osztályozása

A motor működése során a motorolajnak, mint gépelemnek rendkívül összetett követelményeknek kell egyidejűleg, a teljes élettartam során megfelelnie. Ezek közül néhány fontosabb:

- Rendelkezzen megfelelő viszkozitási tulajdonságokkal.
- Oldja a motor felületeire lerakódó szennyeződések, kopásfémeket, ezeket tartsa lebegésben, a jó szűrhetőség és a lerakódások elkerülése érdekében.
- Közömbösítse az égés során keletkező savas jellegű termékeket és védjen a korrózív hatásoktól.
- Legyen magas szintű kopásgátló hatása és csökkentse a súrlódást.
- Maradékaltalanul lássa el hőelvezető szerepét, és magasabb hőmérsékleten is maradjon termikusán stabil.
- Legyen képes hajtómű jellegű igénybevételekre és lássa el a hidraulikus munkafolyadék szerepét (pl. hidraulikus szelephézag kiegyenlítés).
- Akadályozza meg a habzást.
- Tömítőanyagokkal és más szerkezeti anyagokkal összeférhető legyen.
- Legyen katalizátorbarát, ne tartalmazzon az egészségre és környezetre veszélyes vegyületeket.

A legáltalánosabban elfogadott minősítő rendszerek (74. ábra):



74. ábra. Minősítő rendszerek

(Forrás: [22])

Legismertebb az amerikai API teljesítményszint szerinti osztályozás: Európában a motorolajokat már a CCMC osztályokba is besorolják (a CCMC tevékenységi körét átvette az ACEA). Az API szerinti osztályozásban az Amerikai Kőolaj Intézet névrövidítését két betűből álló kód követi, ahol az első betű **S** vagy **C**. Az **S** betű elsősorban **benzínmotoros** gépjárművekhez (személy- és kistehergépkocsikban) használatos olajokat jelzi, a **C** betűt pedig a **dízel üzemű** haszongépjárművekhez használják. Az **S** és **C** betűket követő második betű (**E, F, ...**) az ABC sorrendnek megfelelően a motorolaj emelkedő teljesítményszintjére utal. Nyilvánvaló, hogy a magasabb teljesítményszintű olajok azonos viszkozitási tartományban a kisebb igénybevételű kenési helyeken mindig felhasználhatók. Azaz: az API SH teljesítményszintű – jelenlegi csúcpszintű – motorolaj minden négyütemű, benzínütemű motor kenésére alkalmas, felhasználását csak gazdasági szempontok korlátozhatják.

API teljesítményszintek Otto motorokhoz (6. táblázat):

6. táblázat

API teljesítményszintek Otto motorokhoz

(Forrás: [25])

API teljesítményszint	Alkalmazási terület
API-SH	1997 előtti gyártású motorokhoz. Minden korábbi előírás (API SF, SG) esetén alkalmazható.
API-SJ	2001-ben és azelőtt gyártott benzines motorokhoz egységesen használható motorolaj alacsonyabb kéntartalommal és csökkentett lerakódási hajlammal.

API-SL	2001-ben életbe lépett, 2004-ig gyártott szigorított követelményrendszert kielégítő teljesítményszint. Minden amerikai Otto-motoros járműben alkalmazható. Elsősorban a magas hőmérsékleten képződő lerakódások, az olajfogyasztás csökkentése és üzemanyagtakarékoság terén múlja felül az SJ teljesítményszintet.
API-SM	2005 elején életbe lépett, legszigorúbb követelményrendszert kielégítő teljesítményszint. Minden amerikai Otto-motoros járműben alkalmazható. Elsősorban a kopásállóság, az alacsony hőmérsékleti folyási képesség és a fokozottabb öregedésállóság terén múlja felül az SL szintet.
API-SN	2010 végén bevezetett új kategória az amerikai piacra. A régi API szabványokhoz képest nagyon sok újítás és szigorítás található benne. A szupertakarékos motorolajok szabványa lesz ez. (0W-20 és 5W-20).

API teljesítményszintek DIZEL motorokhoz (7. táblázat):

7. táblázat

API teljesítményszintek DIZEL motorokhoz

(Forrás: [25])

API teljesítményszint	Alkalmazási terület
CF-4	1994-ben bevezetett, közepes teljesítményszint feltöltött motorokhoz
CG-4	1995-ben bevezetett, korszerű kategória, az összes korábbi gyártású motortípushoz.
CH-4	Nagyon magas követelményszintű kategória, minden jelenlegi amerikai „nehézdízel” motortípushoz alkalmazható. Kiemelt kopásvédelem és koromdiszpergáló képesség jellemzi.
CI-4	A CH-4 tovább szigorított motorfékpadai követelményei és új emissziós előírások jellemzik.

ACEA motorolaj kategóriák

Az ACEA három motorolaj kategóriát különböztet meg:

- **Otto-motoros személygépjárművek: A,**

- **dízelüzemű személygépjárművek és transzporterek B,**
- **korszerű katalizátorokkal felszerelt személygépkocsikhoz C,**
- **dízelüzemű haszongépjárművek: E.**

ACEA A és ACEA B kategóriákat összevonták, azaz azonos fékpadi és egyéb követelményeket fogalmaztak meg a beüzemű személygépjármű motorok, illetve a könnyűkategóriás dízel motorok kenőanyagaival szemben. Jelölés: ACEA Ax/Bx-10.

ACEA teljesítményszintek Otto motoros beüzemű személygépjármű motorok, illetve a könnyűkategóriás dízel motorokhoz 8. táblázat.

8. táblázat

(Forrás: [25])

A3/B3-10	Stabil (SAE osztályon belül maradó) viszkozitású, nehéz üzemi körülmények és intenzív terhelés melletti használható kategória. A motorgyártók előírásai szerint alkalmas hosszú szervizintervallumú üzemeltetéshez. HTHS > 3.5 mPas.
A3/B4-10	Az A3/B3-04-hez képest növelt dugattyúgyűrű beragadás elleni védelemmel és dugattyú tisztasági előírásokat teljesítő, stabil (SAE osztályon belül maradó) viszkozitású kategória. Általános előírás növelt teljesítményű Otto-motoroknál, illetve közvetlen befecskendezésű dízelmotoroknál. HTHS > 3.5 mPas.
A1/B1-10	Az A3/B3-nál, ill. az A3/B4-nél bizonyos paraméterek esetében szigorúbb követelményrendszerű, kifejezetten energiatakarékos kategória. Csökkentett belső súrlódású, alacsony üzemi viszkozitású (2.6 mPas < HTHS < 3.5 mPas) motorolajjal üzemeltethető motorokhoz fejlesztve. <i>Egyes motortípusoknál nem alkalmazható.</i>
A5/B5-10	Az A3/B3-nál, ill. az A3/B4-nél bizonyos paraméterek esetében szigorúbb követelményrendszerű, energiatakarékos, stabil (SAE osztályon belül maradó) viszkozitású kategória. Kifejezetten az alacsony súrlódású, kis viszkozitású (2.9 mPas < HTHS < 3.5 mPas) motorolajjal üzemelő, nagy fajlagos teljesítményű motorokhoz fejlesztve. Alkalmas hosszú csereintervallumok teljesítésére. <i>Egyes motortípusoknál nem alkalmazható.</i>

ACEA teljesítményszintek **korszerű katalizátorokkal felszerelt személygépkocsikhoz C** Otto motoros beüzemű személygépjármű motorok, illetve a könnyűkategóriás dízel motorokhoz 9. táblázat.

9. táblázat

(Forrás: [25])

C1	Stabil (SAE osztályon belül maradó) viszkozitású, alacsony belső súrlódású, alacsony HTHS viszkozitású (2,9 mPas < HTHS < 3,5 mPas), energiatakarékos teljesítmény-kategória. Alkalmas dízel részecskeszűrővel DFP (Diesel Particulate Filter), illetve három funkciós („háromutas”) katalizátorral felszerelt motorokhoz.
C2	C1 kategóriával megegyező motorikus követelményrendszerű, de a szulfáthamu, kén és foszfor tartalomra enyhébb előírású kategória.

	Biztosítja a kipufogógáz után-kezelő berendezések maximális élettartamát.
C3	C1 kategórián alapuló követelményrendszerű, de a szulfáthamu, kén és foszfor tartalomra enyhébb előírású, magas HTHS viszkozitású motorolaj kategória (HTHS > 3,5 mPas).
C4	Stabil (SAE osztályon belül maradó) viszkozitású, alacsony szulfáthamu tartalmú, magas HTHS viszkozitású motorolaj kategória (HTHS > 3,5 mPas).

ACEA teljesítményszintek nehéz kategóriás **dízelüzemű haszongépjárművek E**, dízel motorokhoz 10. táblázat.

10. táblázat

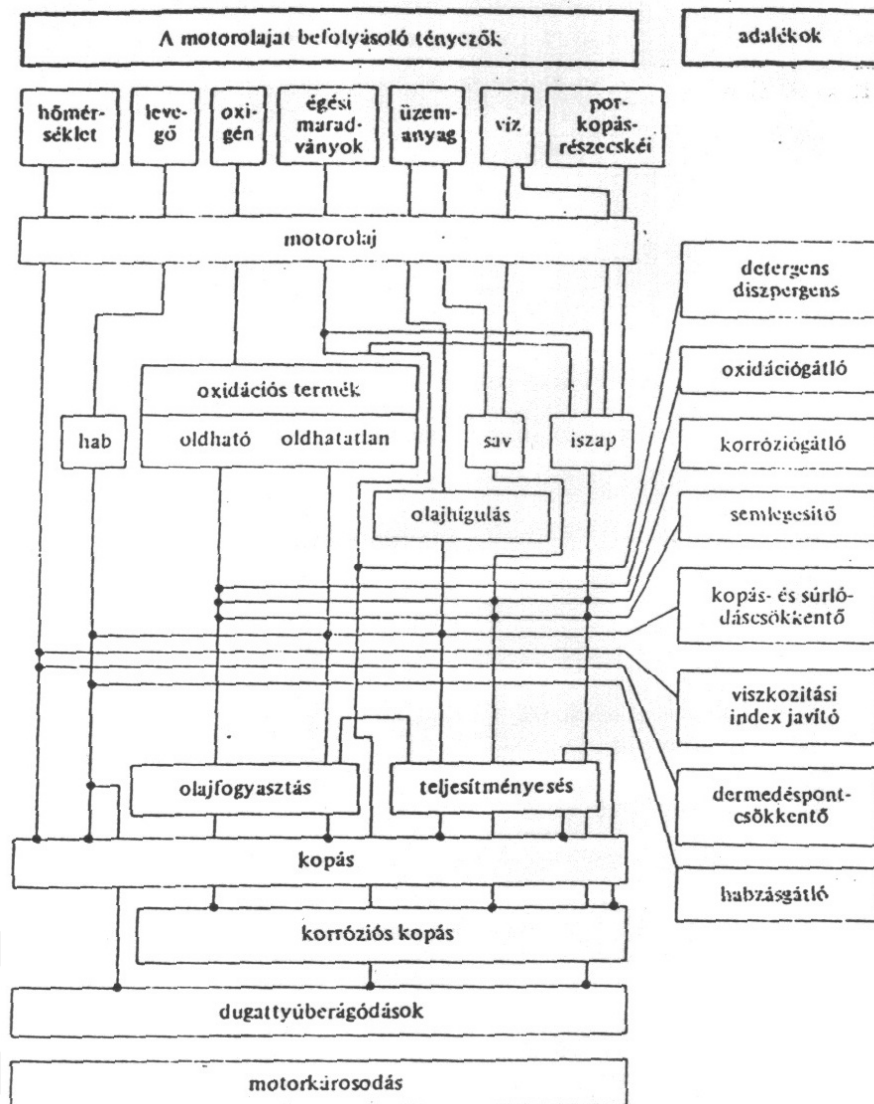
(Forrás: [25])

E2-96 Issue 5	Standard motorolaj kategória, 1996-tól változatlan követelményekkel.
E4-08	Az Euro I,II,III és IV-es emissziókat teljesítő, nehéz üzemeltetési feltételekkel működő motorok általános előírású kenőanyag. Nem alkalmazható dízel részecske csapdával (Diesel Particulate Filter) felszerelt motorokhoz és néhány egyéb kipufogógáz tisztító rendszerrel szerelt járműhöz. Fokozott figyelemmel kell lenni a különböző motorgyártó előírásokra.
E6-08	Stabil viszkozitású, kimagasló dugattyú tisztaság, kopás, koromkezelő képesség és termikus stabilitás követelményű kategória Euro I, II, III és IV emissziós követelményeket teljesítő, nehéz üzemeltetési feltételekkel működő motorokhoz. Alkalmos dízel részecskecsapdával (Diesel Particulate Filter), EGR szabályzással, és szelektív v-redukciós, SCR NO _x katalizátorral gyártott motorokhoz. Kifejezetten előírt a kénszegény (max. 50ppm) üzemanyaggal üzemelő és részecskecsapdával felszerelt nehézdízel motorokhoz. Alacsony szulfáthamu, foszfor és kén tartalmú adalékokat tartalmaz.
E7-08	Stabil viszkozitású, kimagasló dugattyú tisztaság, kopás, koromkezelő képesség és termikus stabilitás követelményű kategória Euro I, II, III és IV emissziós követelményeket teljesítő, nehéz üzemeltetési feltételekkel működő motorokhoz. Az E6-nál szigorúbb turbótöltő lerakódás előírásokkal, és új, korom okozta kopást mérő ékpadi követelményekkel rendelkezik. Szuperhosszú csereperiódusok teljesítésére is alkalmas. Alkalmos a dízel részecskecsapda nélküli, EGR szabályzással, és szelektív v-redukciós, SCR NO _x katalizátorral gyártott motorokhoz.
E9-08	Az E7-08-nál bizonyos paraméterek esetén szigorúbb követelményrendszerű, alacsony szulfáthamu, kén és foszfor tartalmú adalékokat tartalmazó motorolaj kategória. Euro I, II, III, IV és V emissziós követelményeket teljesítő, nehéz üzemeltetési feltételekkel működő motorokhoz. Alkalmos dízel részecskecsapdával (Diesel Particulate Filter), EGR szabályzással, és szelektív-redukciós, SCR NO _x katalizátorral gyártott motorokhoz. Kifejezetten előírt kénszegény üzemanyaggal üzemelő és részecskecsapdával felszerelt nehézdízel motorokhoz. Fokozott figyelemmel kell lenni a különböző motorgyártó előírásokra.

A hazai kereskedelemben kapható valamennyi motorolaj teljesítményszintjét – forgalomba hozataluk előtt – alaposan megvizsgálják. Az alapolaj oldószeres finomítással és parafinmentesítéssel előállított termék, amelyet a célnak megfelelően adalékolnak.

A hosszú gyakorlat szerint a motor, az üzemelési mód és a gépjármű működési területének (hőmérséklet, éghajlati viszony) ismeretében a megfelelő kenőanyag

minden motortípus számára kiválasztható. Az alkalmazástechnikai jellemzők (az olajfogyasztás, az olajnyomás, a motorhang, üzemi hőmérséklet stb.) gyakorlati futókísérletekkel állapíthatók meg. Az SAE viszkozitáskategóriák és az API teljesítményszintek együttes mérlegelése szükséges ahhoz, hogy az előzőekben összefoglalt követelményeknek megfelelő olajat kiválaszthassuk a motor számára. (75. ábra). **A kiválasztásnál a teljesítményszint** (motortípus, teljesítmény) az elsődleges, majd ezen belül az éghajlati és üzemelési **hőmérsékleti viszonyoknak megfelelően kell megválasztani a viszkozitási csoportot.**



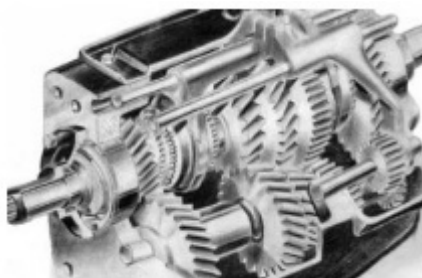
75. ábra. A motorolajat üzem közben befolyásoló tényezők és az adalékok összefüggései

(Forrás: [13])

A hazai korszerű (komplex) olajokhoz utólag bármilyen adalékot hozzáadni teljesen felesleges. Az elérhető legjobb eredmény ugyanis az, hogy nem okoz kárt, de haszonnal semmiképpen nem jár. **A motorolajok bármilyen jellegű utóadalékolása tilos!**

2.1.2. Hajtóműolajok

A közlekedési hajtóműolajok termékcsaládjába azokat a kenőanyagokat soroljuk, amelyek hajtóművek (sebességváltók, differenciálművek, osztóművek - általában nyomatékátvitelt megvalósító fogaskerékrendszer (76. ábra)) kenését végzik. Az ezekkel szembeni főbb követelmények: kopás csökkentése, súrlódás csökkentése, hő elvezetése, zaj- és vibráció csökkentése, korrózió.



76. ábra. Fogaskerekes hajtómű

(Forrás: [11])

A hajtóműolajoknak a következő összetett tulajdonságokkal kell egyidejűleg rendelkezniük:

- kopásgátló tulajdonságok (filmszilárdság, jó kenési tulajdonság, illetve EP hatás),
- optimális folyási tulajdonságok (alacsony hőmérsékleten minél kisebb, magas hőmérsékleten megfelelően hordképes filmet biztosító viszkozitás, elegendően alacsony folyáspont),
- korróziógátló tulajdonság (átmeneti korrózióvédő hatás és a korróziós kopás minimális értéke),
- összeférhetőség a tömítőanyagokkal,
- a tulajdonságok megtartása hosszú időn keresztül: öregedésállóság, oxidációs stabilitás, mechanikai stabilitás.

A kopás csökkentésére vonatkozó követelmény nagyon széles skálán értelmezhető. A hajtómű fogaskerékpárjai közötti gördülő és csúszó mozgás ugyanis a fogaskerék

A 77. ábra mutatja a különböző viszkozitású hajtóműolajok alkalmazhatóságát a környezeti hőmérséklet szerein.

hőmérséklet	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-05	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			
	HAJTÓMŰOLAJOK																				
	SAE 75 W																				
TÉLI		SAE 80 W																			
			SAE 85 W																		
TÉLI- NYÁRI		SAE 75 W - 90																			
		SAE 80 W - 90																			
			SAE 85 W - 140																		
NYÁRI									SAE 90												
										SAE 140											

77. ábra. Hajtóműolajok alkalmazhatósága

(Forrás: [14])

A teljesítményszint szerinti API osztályozási rendszert a 12 táblázatban mutatjuk be, az egyes jellegzetességek és alkalmazási területek feltüntetésével. A GL jelölés az angol Gear Lubricant kezdőbetűiből adódik

12. táblázat Hajtómű olajok teljesítmény szintje

(Forrás:[13])

API jelölés	Üzemelési körülmények
GL-1	Adalékoltalan, vagy rozsdas és oxidáció gátló tulajdonságú, nem EP hatású kenőanyag. Csak igen kevés helyen, elsősorban könnyű terhelésű ívelt fogazású hajtóműveknél, tengelyeknél alkalmazható.
GL-2	Az előzőnél magasabb adalékolási szintű hajtóműolaj, EP hatás nélkül. Közepes terhelésű gépjármű csiga hajtásokhoz. Európai berendezésekhez igen korlátozottan használható.
GL-3	Sebességváltóhoz, nem hipoid fogazatú hajtásokhoz enyhe EP hatású kenőolaj. Több autógyár használja a sebességváltók első feltöltésére.
GL-4	Szinkronizált sebességváltók és mérsékelt terhelésű hipoid hajtások közepes EP-hatású kenőanyaga. A legáltalánosabban elterjedt specifikáció. A járműgyártók többsége ezt a teljesítményszintet írja elő.
GL-5	Erősen igénybevett hipoid hajtások, hátsótengelyek, differenciálművek illetve lökésszerűen terhelt hajtóművek, nagy EP hatású kenőanyaga. Alacsonyabb teljesítményszintet igénylő kenési helyekre nem minden esetben felel meg.

Automatikus hajtóművek munkafolyadécai (ATF)

Az automata sebességváltók olajának igen sok feladatot kell maradéktalanul ellátnia. (Mint hagyományos hajtóműolajnak a következő követelményeknek kell megfelelnie):

- Változatos üzemelés (terhelés, sebesség) mellett is biztosítania kell a kapcsolódó fogfelületek között a kenőfilm kialakulását, vagyis megfelelő viszkozitásúnak és nyomásállóknak kell lennie.
- Csökkentenie kell a hajtómű zajszintjét, meg kell akadályoznia a fogfelületek károsodását (karcosodás, pitting, gödrösödés stb.).
- Stabillnak kell lennie, tulajdonságait hosszú időn keresztül meg kell tartania (jó öregedésállóság), emellett védenie kell a hajtómű szerkezeti anyagait a korróziótól.
- A hajtóműben használatos tömítő anyagokat nem támadhatja meg.
- Megfelelő viszkozitás-hőmérséklet karakterisztikája és folyási tulajdonságai révén a lehető legkisebb energiaveszteséget kell biztosítania az üzemelés alatt.

A hagyományos hajtóműolajoknál említettekén túlmenően az ATF-nek következő is funkciókra alkalmasnak kell lennie:

- hőelvezetés (a kapcsoló súrlódó betétek megfelelő hűtése),
- hidraulikus szabályozó folyadék a szervó berendezésben,
- hosszú időn keresztül szabályozott súrlódást kell biztosítania,
- hidraulikus energiaátvivő közeg a hidrodinamikus tengelykapcsolóban ill. nyomaték-átalakítóban,
- kenőanyag a kapcsolótárcsák betétjeinek kenésére.

Az ATF-ek esetében a motorolajokhoz és a hagyományos közlekedési hajtóműolajokhoz hasonló viszkozitási besorolást nem határoztak meg. Általában egységesen 150 feletti viszkozitási indexű 100 °C-on min. 7 mm²/s viszkozitású olajokat gyártanak a kenőanyaggyártó cégek.

Mind a motor-, mind a hajtóműolajok esetében, lehetőség szerint kerülnünk kell a keveredést, mert ez kedvezőtlen adalék-kölcsönhatáshoz vezethet, és jelentősen ronthatja a kenőanyagok alkalmazástechnikai jellemzőit.

Motorolajok esetében az azonos típusú és teljesítményszintű olajok az utántöltés erejéig keverhetők.

Hajtóműolaj csereidő

Az üzemeltetés során a hajtóműolaj is elhasználódik, viszkozitása megváltozik, adalékok kimerülnek. A csereidő közeire az eredeti gyári előírásokat ajánlott betartani, ezek igen magas értékek (pl. 2000÷3000 üzemóra). A hajtóműolaj cseréjét célszerű más miatt is aktuálissá vált szerviz idejére időzíteni, vagy a szükséges egyéb karbantartással egy időben elvégezni.

2.1.3. Hidraulikaolajok

A hidraulikus berendezések hosszú távú és zavarmentes üzemeltetésének elengedhetetlen feltétele a hidraulikus munkafolyadék megfelelő kiválasztása, rendszeres felügyelete és karbantartása [29]. Ezzel mind a gépszerkezetek mind a hidraulikaolaj élettartama meghosszabbítható, ami napjaink szűkös gazdasági viszonyai között nem elhanyagolható a nem megfelelő munkafolyadék működési zavarokat okozhat. A hidraulikus berendezések hosszú távú és zavarmentes üzemeltetésének elengedhetetlen feltétele:

- a hidraulikus munkafolyadék megfelelő kiválasztása,
- rendszeres felügyelete és karbantartása.

Hidraulikus erőátvitel alatt a hidrosztatikus (térfogat-kiszorítás) elven működő berendezéseket értünk.

Folyadékokra jellemző:

- Nincs önálló alakjuk,
- Összenyomhatatlanok,
- A nyomás a folyadékban minden irányba terjed,
- Folyadékkal nagy erőt lehet kifejteni.

A hidraulikus berendezéseket a vaskohászatától az űrkutatásig a technika számos területén alkalmazzák. A sokrétű felhasználás magas fokú követelményeket támaszt a munkafolyadékkal szemben. Ezen elvárások összességének egyetlen nyomóközeg sem tud megfelelni, ezért a felhasználási helyek támasztotta igényeknek megfelelően különböző hidraulika munkaközegek használatosak. Néhány jellegzetes alkalmazási területet a munkafolyadék szempontjából:

Telepített, stabil ipari berendezések

A hidraulikus rendszerek többsége ezen gépek közé tartozik. Ezek a hidraulikus egységek általában fedett helyen, üzemcsarnokban vannak elhelyezve, ezért a hidraulikaolajok hidegfolyási tulajdonságaival szemben nem támaszt különleges követelmény. Az olaj élettartama szempontjából kedvező üzemi hőmérsékletek is

könnyebben tarthatók, mert egyre elterjedtebbek az olyan berendezések, amelyek működése nem engedi meg a magas (70°C feletti) üzemi hőmérsékletet. A szabályozott rendszereknél fokozott tisztasági követelmények vannak, ezért lényeges a szennyező anyagok bejutásának megakadályozása, illetve a már bekerült szennyeződések kiszűrése. Fontos szempont az olaj jó szűrhetősége is.

Mobil berendezések (járművek, munkagépek)

A mozgó járműre szerelt hidraulikák szélsőséges hőmérsékleti viszonyok között üzemelő berendezések. A munkafolyadékot biztosítani kell a rendszer megfelelő üzemét (télen) hidegindításkor, üzemi hőmérsékleten és az esetleges túlterhelések során jelentkező (nyári) hőmérséklet emelkedés esetén is. Ezen gépeknél a szennyező anyagok bejutásának veszélye is nagy, ezért a gép gyártók gyakran olyan munkaközeget írnak elő, amelyek a szennyeződések egyenletes eloszlásban magukban tartják. Ilyen olajok például a motorolajok. Napjainkban a környezetvédelmi előírások szigorodásával egyre gyakrabban követelmény, hogy üzemzavar esetén a környezetbe kikerülő munkafolyadék biobontható legyen.

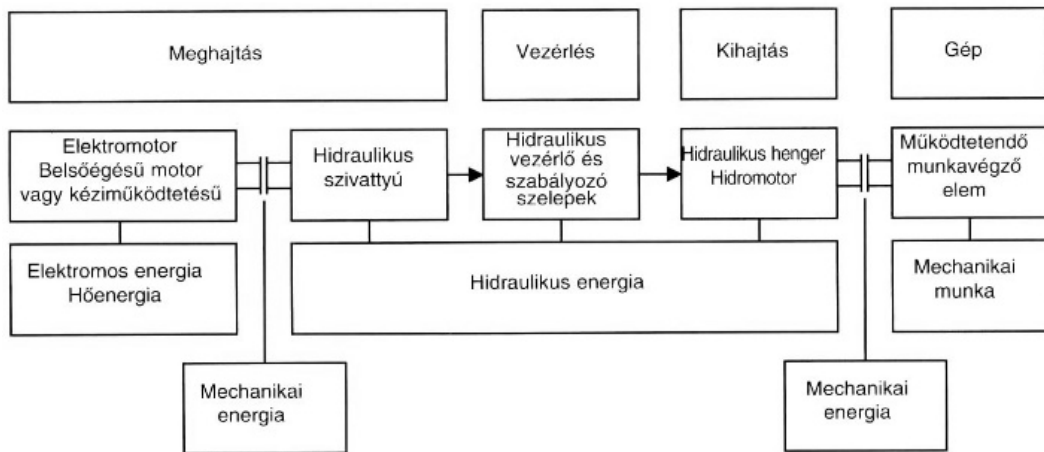
Tűzveszélyes környezetben üzemelő berendezések (bányák, acélművek)

Szigorú tűzbiztonsági előírásoknak kell megfelelnie a munkafolyadékoknak. Az acélművekben a magas hőmérséklet és az erősen szennyezett környezet miatt fokozott követelmények vannak az olajjal szemben. Ezeket szintetikusolajjal pl. foszfátészterrel lehet kielégíteni. A bányákban vizes, emulziós munkafolyadékokat alkalmaznak erősen szennyezett környezetben. Azonban ezen folyadékok leglényegesebb tulajdonsága a fémmegmunkálási segédanyagokhoz hasonlóan a jó biológiai stabilitás.

Speciális alkalmazások

A légi közlekedésben használatos munkafolyadékoknak nagyon jó folyási tulajdonságokkal (dermedéspont: -60°C) kell rendelkezniük. Speciális alkalmazásnak számít a többfunkciós olajok felhasználása is. Ezen olajoknál más nem csak hidraulikus funkciót kell ellátni, pl. szánkenő-hidraulikaolaj a szánok kenését is ellátja és a traktorhidraulikaolaj a hajtómű kenését is biztosítja.

A hidraulikus berendezések felépítését a 78. ábra mutatja.

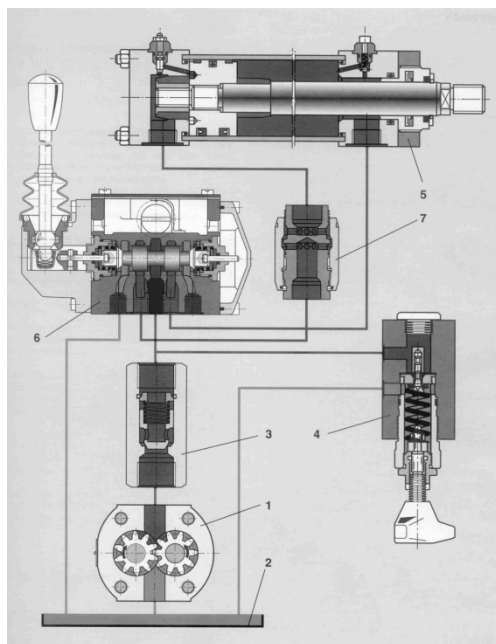


78. ábra. Hidraulikus berendezések felépítése

(Forrás: [29])

A mechanikai energiát hidraulikus energiává alakítjuk át. Ebben a formában továbbítjuk, vezéreljük, szabályozzuk, majd ismét mechanikai energiává alakítjuk át.

A 79. ábrán látható egy egyszerű hidraulikus rendszer felépítés.



Egyszerű hidraulikus rendszer elemei:

- (1) hidraulikus szivattyú
- (2) tartály
- (3) visszacsapó szelep
- (4) nyomáshatároló szelep
- (5) hidraulikus munkahenger
- (6) útszelep (mozgásirány vezérlés)
- (7) áramlás-szabályozó szelep (dugattyú sebesség vezérlése)

79. ábra. Egyszerű hidraulikus rendszer

(Forrás: [29])

A hidraulikai olajok alapvető feleadatai:

- Hatékony teljesítmény-átvitel
- A mozgó alkatrészek kenése és tömítése
- A nyomás fenntartása
- Hőelvezetés
- Vezérlés, szabályozás
- Kopásvédelem
- Korrózióvédelem

A hidraulikaolajokkal szemben támasztott követelmények a következők:

- Megfelelő viszkozitás, VI, kedvező nyírás-stabilitás
- Megfelelően alacsony folyáspont
- Jó kopásgátló tulajdonság
- Összeférhetőség a szerkezeti anyagokkal
- Termikus, oxidációs terhelhetőség, stabilitás
- Jó szűrhetőség (víz jelenlétében is)
- Hosszú élettartam
- Alacsony habképző hajlam
- Alacsony levegőfelvétel és jó elválási tulajdonság
- Jó hővezető képesség
- Jó vízelváló képesség
- Detergens-diszpergens hatás (speciális esetekben)
- Nehezen gyulladó, tűzálló (speciális esetekben)
- Biológiai lebomlás (speciális esetekben)

A munkafolyadékok osztályozása:

Viszkozitás szerinti besorolás régebben olajgyártónként eltérő volt, ma a hazánkban forgalmazott ipari olajok besorolása döntő többségben az ISO 3448 viszkozitási osztályozás alapján történik.

A hidraulikaolajokat ISO VG 10-től ISO VG 150-ig gyártják, ezek közül az ISO VG 32, 46 és 68-as viszkozitású folyadékokat alkalmazzák a leggyakrabban. (80. ábra)

Hidraulikaolajok ISO viszkozitási osztályai	Kinematikai viszkozitás középérték 40°C-on, mm ² /s
ISO VG 10	10
ISO VG 15	15
ISO VG 22	22
ISO VG 32	32
ISO VG 46	46
ISO VG 68	68
ISO VG 100	100
ISO VG 150	150

80. ábra. Hidraulikaolajok viszkozitási csoportja

(Forrás: [29])

A hidraulikus munkafolyadékok viszkozitás-hőmérséklet tulajdonságát az olaj viszkozitási indexével (VI) jellemezzük. A nagyobb viszkozitási indexű olajok szélesebb munka- és hőmérsékleti tartományban alkalmazhatók a megfelelő hatásfok és üzembiztonság mellett.

A **teljesítményszint** a hidraulikus munkafolyadékok egyik legfontosabb alkalmazástechnikai értéke, magába foglalja az olaj adalékolásából adódó tulajdonságokat, így meghatározza a hidraulikaolaj alkalmazhatóságának határait. A teljesítményszinteket olaj- és géplaboratóriumi vizsgálatok sorozatával állapítják meg. Egy munkafolyadék csak akkor felel meg egy adott előírásnak, ha annak minden pontját a maradéktalanul teljesíti. A teljesítményszint szerinti osztályozás a nemzetközi gyakorlatban az ISO 6743/4 (H. 1, és H. 2. táblázat) előírásai szerint szokásos. A teljesítményszint megválasztásakor mindig a berendezés legigényesebb elemeit kell figyelembe venni, amelyek a következő szerkezeti egységek lehetnek:

- szivattyúk,
- motorok,
- csapágyak

Hidraulikaolajok teljesítményszint szerinti osztályozása ISO 6743/4 alapján (81. ábra)

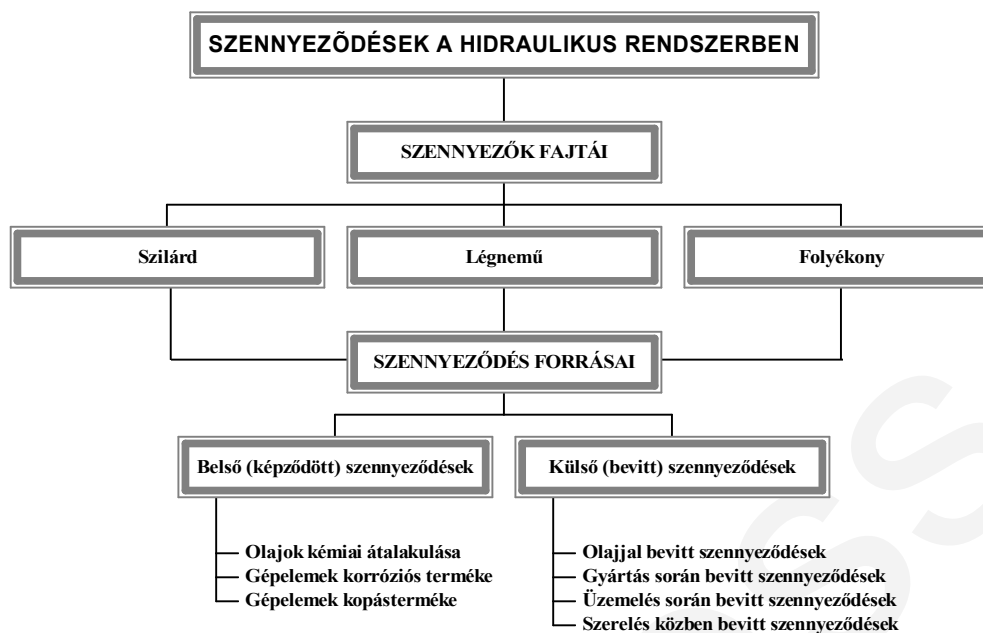
ISO 6743/4	DIN 51524	ADALÉKTARTALOM
HH	HH	Adalékoltatlan ásványolaj finomítvány
HL	HL	Oxidáció, korróziógátló adalékot tartalmazó termékek
HR	-	Emelt viszkozitási indexű HL termékek
HM	HLP	Kopásgátló, oxidáció- és korróziógátló tulajdonságú termékek
HV	HVLP	Emelt viszkozitási indexű HM termékek
HG	-	Stick slip gátló tulajdonságú többcélú termékek
-	HLPD	Detergens-diszpergens adalékot tartalmazó termékek
HS	HS	Szintetikus alapú termékek
	HETG	Növényolajalapú környezetkímélő termék
	HEPG	Poliglikolalapú környezetkímélő termék
	HEES	Szintetikus észteralapú környezetkímélő termék
HFA-E	-	Olaj a vízben emulziók
HFA-S	-	Szintetikus oldatok
HFB	-	Víz az olajban emulziók
HFC	-	Vizes polimer oldatok
HFD	-	Vízmentes szintetikus folyadékok
HFD-R	-	Foszfátészterek
HFD-U	-	Egyéb anyagok

81. ábra. Hidraulikaolajok teljesítményszintje

(Forrás: [29])

A hidraulikus rendszerek működésük során rendkívül érzékenyek a rendszeridegen anyagokra. Az olajba bekerülő, illetve a benne képződött szennyeződések rendszer idegen anyagok (82. ábra). Ezen szennyeződések a rendszer optimális működését

gátolják, zavarokat és kimeneti veszteségeket okoznak. A hidraulikaolajba kerülő külső vagy belső szennyezők mértékét rendszeresen ellenőrizni kell. A hidraulikaolajok rendszeres karbantartásával jelentős javítási költségek takaríthatók meg, és elkerülhetőek a váratlan termelés kiesések



82. ábra. Szennyeződések a hidraulikus rendszerben

(Forrás: [23])

A **szilárd szennyezők** elsősorban méretükkel, alakjukkal és keménységükkel összefüggésben fejtik ki abrazív vagy eróziós hatásukat. A szilárd szennyezők közül fokozottan káros hatásúak a levegő portartalmából bejutó kvarcsemcsék. A rendszeren belül keletkező kopásrészecskék elsősorban víz jelenlétében fejtik ki negatív hatásukat. Egy hidraulikus rendszer elemei különböző mértékben érzékenyek a szilárd szennyezőkre. A megengedett legnagyobb részecskeméretet a legérzékenyebb elem határozza meg. A **légnemű szennyezőanyagok** közül elsősorban a levegő jelenti a legnagyobb problémát. Levegő kerülhet a rendszerbe:

- töltés során,
- szívóoldali tömítetlenség révén,
- ha túl kicsi a folyadéktartály és az olajat túl gyorsan kell keringtetni, ha alacsony az olajsztint a tartályban.

A **folyékony szennyeződés** az esetek túlnyomó többségében víz. A vizet a hidraulikaolajok 0,1 %-ig károsodás nélkül emulgeálják, a többi víz a tartály alján leülepedik, vagy elpárolog. A víz jelenléte a hidraulikaolajban minden hatásában rendkívül káros, felgyorsítja az olaj oxidációját, legrombolóbb hatását azonban az

adalékokra fejt ki. A víz a hidraulikaolaj minden adalékát megtámadja, velük savas vegyületeket, bevonatokat, üledéket képez.

A hidraulika berendezés meghibásodási folyamatábrája a 83. ábrán látható.



83. ábra. Berendezés meghibásodási folyamata

(Forrás: [24])

Hidraulikaolajok karbantartása

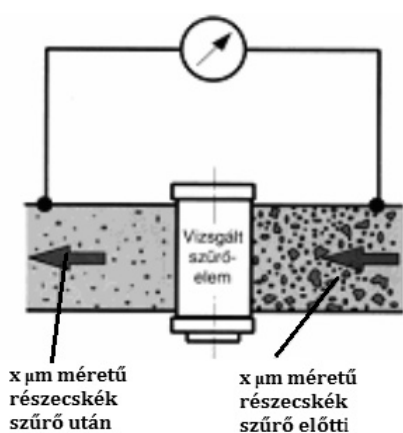
A berendezés üzeme alatt a munkafolyadék különböző hatásoknak van kitéve, amelyek negatívan befolyásolják a hidraulika folyadék élettartamát és a berendezés épségét.

Az említett hatások részben a munkafolyadék maradandó károsodását okozzák, míg a változások egy jelentős csoportja megszüntethető. A hidraulikaolaj állapota tehát a használat során részben helyreállítható.

A munkafolyadék karbantartása alatt a megszüntethető változások rendszeres helyreállítását értjük. Érdeemes megjegyezni, hogy ennek elmulasztása vagy a nem megfelelő időben való elvégzése olyan másodlagos következményekkel jár, amelyek már nem szüntethetők meg, és amelyek hatásukban drasztikusabbak, mint az elsődleges maradandó elváltozások.

Elsődleges maradandó változásnak tekintjük a hidraulikaolaj természetes elhasználódását, ami nagyrészt az oxidációban, és az adalékok hatékonyságának csökkenésében nyilvánul meg.

Üzem közben a hidraulikus munkafolyadék szennyeződik. A jelenség önmagában is negatív hatású pl. oly módon, hogy a szilárd szennyezők fokozzák a berendezés elemeinek kopását. Emellett általános érvénnyel kijelenthetjük, hogy a szennyeződés másodlagos hatása döntő fontosságú a munkafolyadék és a hidraulikus rendszer élettartama szempontjából. A szennyezők hatására ugyanis felgyorsulnak az elsődleges maradó változások, valamint olyan negatív folyamatok indulnak el, amelyek szennyeződés hiányában nem jelentkeznének. A szilárd szennyezők **szűréssel** távolíthatók el. Ha a hidraulikus rendszer szűrői - egy esetleges üzemzavar következtében - a bekerülő többlet-szennyeződést csak hosszú idő alatt képesek eltávolítani, akkor átmenetileg mellékáramkörű szűrést kell megvalósítani. Nagy értékű berendezéseknél csak nyomáskülönbség jelzővel ellátott szűrőket tanácsos alkalmazni. A korszerű szűrők hatásmechanizmusában ugyanis jelentős szerepet kapnak a felületi erők. A szűrőn mérhető nyomáskülönbség megengedett határon túli növekedése előidézi a deszorpciót, amely a már leválasztott részecskéknek a szűrőelemekről való leszakadásával a rendszerjelentős elszennyeződéséhez vezet.



Szűrési viszonyszám:

$$\beta_x = \frac{x \mu\text{m méretű részecskék szűrő előtt}}{x \mu\text{m méretű részecskék szűrő után}}$$

84. ábra. Szűrési viszonyszám értelmezése

(Forrás: [30])

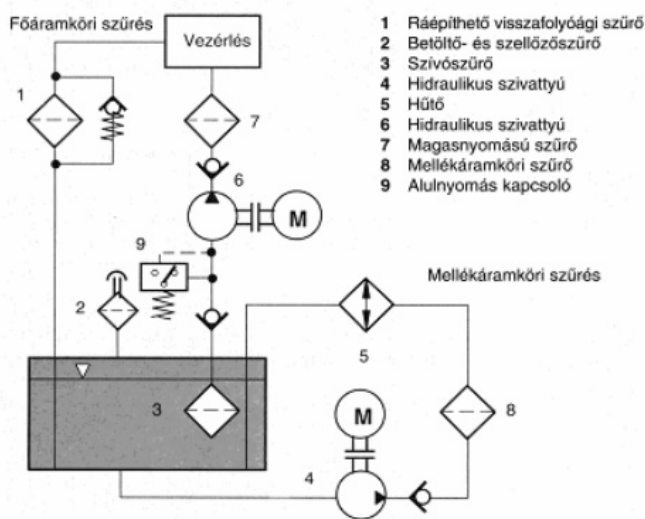
A szűrők fontos jellemzője a β_x szűrési viszonyszám (84. ábra). Értéke az **x µm méretű részecskék szűrő előtti és szűrő utáni** - egységnyi térfogatú hidraulikaolajban előforduló - **számának hányadosa**. A $\beta_x \geq 75$ érték biztosítása elegendő, a $\beta_x \geq 200$ megoldás nem jelent reális előnyt. Fontosabb követelmény az, hogy a $\beta_x \geq 75$ feltétel a veszélyt okozó teljes mérettartományban teljesüljön.



85. ábra. Különbség egy új és egy régi olajszűrő között

(Forrás: [30])

A szűrők elhelyezése a hidraulikai körfolyamatban (86. ábra).



86. ábra. Szűrők elhelyezése

(Forrás: [30])

A **víz jelenléte** hidraulikaolajban minden hatásában rendkívül káros. Felgyorsítja az olaj oxidációját, legrombolóbb hatását azonban azt adalékokra fejtí ki. A víz a hidraulikaolaj minden adalékát megtámadja, velük savas vegyületeket, bevonatokat, üledéket képez. Az **olajban lévő vizet** minden esetben el kell távolítani, ha koncentrációja meghaladja a 150 ppm-et. A víz eltávolítására az erre alkalmas szűrők szolgálnak, amelyek cseréjéről időben gondoskodni kell. Másik megoldást a mellékáramkörű - általában vákuumos - víztelenítő berendezések alkalmazása jelenti. Természetesen kivételt képeznek azon esetek, amikor szándékosan diszpergens hatású hidraulikaolajat használunk. Ennek lehetőségét a gépgyártók írják elő. A hidraulikaolajba kerülő külső vagy belső szennyezők mértékét célszerű méréssel rendszeresen ellenőrizni!

2.2. Kenőzsírok

A kenőzsírok olyan konzisztens kenőanyagok, amelyek alapolajból és egy gondosan kiválasztott sűrítőanyagból állnak. Bizonyos tulajdonságok fokozásához a kenőzsírokhoz adalékokat adnak. A kenőzsírok szerkezeti elemek, különösen ha tartós kenőanyagként használják őket élettartamra szóló kenéshez

A kenőzsírok nem egyszerűen sűrű gépolajok. A plasztikus kenőanyagok csoportjába tartoznak azok az anyagok, amelyeknek konzisztenciája a környezeti hőmérsékleten alaktartók. Közéjük tartoznak azok a kenőanyag-tulajdonságokkal rendelkező, de szoros értelemben nem zsírszerű termékek is, amelyek különböző sűrítőanyagok keverékeiből vagy oldataiból állnak (pl. bitumenek, viaszok, petrolátumok stb.)

A szűkebb értelemben vett, általánosságban elterjedt kenőzsírok kolloid rendszerek, gélek. **Folyékony fázisuk kőolajból gyártott vagy szintetikus** (pl. diészter vagy szilikon) **kenőolaj, amelyeket különböző** anyagokkal vagy **eljárásokkal sűrítnek.**

A **szilárd fázist** általában az olaj diszperz állapotban lévő **sűrítő anyag, a szappan képezi. Tartalmazhatnak** más olyan komponenseket, adalékokat is, amelyek speciális tulajdonságokat kölcsönöznek a kész kenőzsírnak:

A kenőzsírok fő felhasználási területei:

Gördülőcsapágyak, siklócsapágyak, nyitott hajtóművek, zárt hajtóművek, lánchajtások, tengelykapcsolók.

A zsírkenés előnyei:

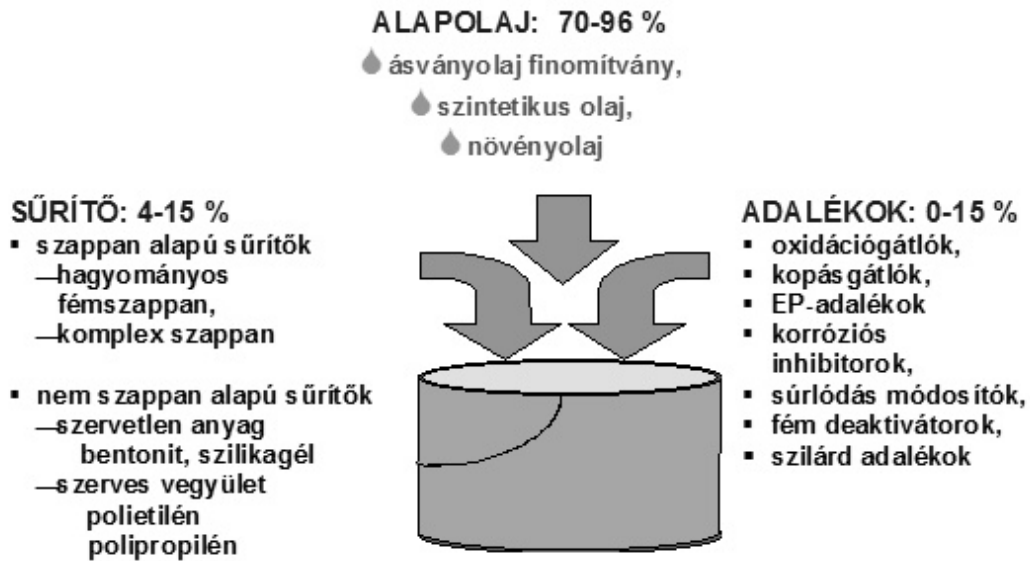
- Egyszerű konstrukció, a zsír a kenési helyről nem folyik el;
- Megakadályozza a por, nedvesség, szennyeződés bejutását, mivel a csapágy oldalán mintegy gátat képez;
- Egyszerűen, könnyen eljuttatható a kenési helyre;
- Hosszú ideig használható, ún. élettartam kenés;
- Leállás esetén is védi a felületet.

Nem célszerű zsírkenést alkalmazni

- Nagy fordulatszámú csapágyak esetén;
- Magas üzemi hőmérséklet esetén, mert olajkenéssel a hűtés is megoldható;
- Ha a csapágyazás súrlódási veszteségének csökkentése fokozott követelmény;
- Ha egy szerkezeten belül más gépelemek kenéséhez már olajat használnak.

2.2.1. A kenőzsírok felépítése

A kenőzsírok 70-96% mennyiségben **kenőolajat (alapolajat)**, majd 4-15%-ban **sűrítőket** és 0-15%-ig **különböző adalékokat** tartalmaznak (87. ábra)



87. ábra. A kenőzsír felépítése

(Forrás: [26])

Alapolajok

A kenőzsírok meghatározó mennyiségét **ásványolaj finomítványok, szintetikus olajok és növényolajok alkotják**, melyek típusa, viszkozitása, fizikai-kémiai tulajdonsága döntően meghatározza a kenőzsír alkalmazhatóságát.

Például: - A nagy- és kis hőmérsékletű, arktikus kenőhelyek, hűtőgépek, stb. kenésére szintetikus kenőfolyadékkal előállított kenőzsírok a legalkalmasabbak.

A viszkozitás befolyásolja a kenőzsír konzisztenciáját, terhelhetőségét, szivattyúzhatóságát, a kenhetőség alsó határát, stb.

Irodalmi adatok szerint a forgalomban levő kenőzsírok ~ 80% ásványolajjal, a fennmaradó ~20% - általában speciális kenési célra - különböző szintetikus folyadékkal készül.

Sűrítők

A kenőzsírok legfontosabb gélesítő komponensei a **szappanok**, de lehetnek egyéb **szintetikus és szerves sűrítők is**. Ezért a forgalomban levő **kenőzsírok két alapcsoportba sorolhatók**.

Szappan alapú és nem szappan alapú sűrítővel készült kenőzsírok.

A **szappan alapú sűrítők** lehetnek hagyományos fémszappanok, illetve komplex szappanok. A szappanalapú sűrítők a zsírsavak alkáli földfém vagy nehézfém sói (**egyszerű** (Litium, Kalcium, Nátrium, Alumínium, Bárium), **vegyes** (Kalcium/Litium; Kalcium/Nátrium))

A **nem szappan alapú sűrítők** szerves és egyéb szervesetlen (szintetikus) sűrítők lehetnek. Ilyenek a polietilén, polipropilének illetve a bentonit, szilikagél, stb.

Adalékok

A kenőzsírokban alkalmazott **adalékok két csoportba sorolhatók:**

- **funkciójavítók és**
- **szerkezet módosítók.**

A **funkciójavító adalékok** hasonlóak a kenőolajban használatosakhoz. A kenőzsírban alkalmazott funkciójavító adalékok a következők: **oxidáció-, korróziógátlók, terhelési kapacitás növelő ún. EP/AW adalékok, viszkozitást módosító, habzástgátló, savsemlegesítő- stb. és szilárd adalékok.**

A leggyakrabban használt szilárd adalékok a grafit és/vagy molibdén szulfid, de lehetnek egyéb fémek, bitumen, stb. is.

A **szerkezetmódosító adalékok** eltérnek az előzőekben tárgyalt adalékoktól. Ezek hatása **gélesítőként, töltőanyagként, közömbösítő anyagként, stb. jelentkezik.**

A **töltőanyagokat, mint finom szilárdító közeget a kenőzsírok kenéstechnikai tulajdonságainak javítására alkalmazzák.** Tipikus töltőanyagok a grafit, MoS₂, lemezes grafit, korom, síkpor, stb. Az élelmiszeripari kenőzsírokba cink és magnézium oxidot használnak, mivel ezek közömbösítik a keletkező vagy a kenési helyre bejutó savakat.

2.2.2. A kenőzsírok kiválasztása, jelölése, osztályozása

A kenőzsírokkal szemben támasztott követelmények a következők:

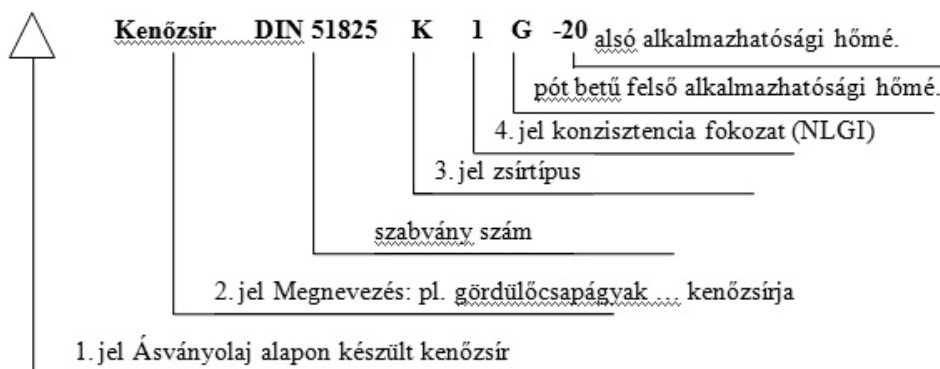
- Hosszú élettartam, ezen belül
 - jó mechanikai, szerkezeti és oxidációs stabilitás;
- Nyomásállóság;
- Jó tapadóképesség;
- Korrózióvédő hatás;

- Kopáscsökkentő hatás;
- Összeférhetőség, illetve
- Jó vízállóság;
- Magas fordulatszámon való üzemelés;
- Extrém alacsony-, vagy magas hőmérsékleten üzemelés;
- Szivattyúzhatóság, porlaszthatóság;
- Tömítőképesség;
- Agresszív közegek való ellenállás;
- Ne legyen toxikus, és végezetül
- Legyen környezetbarát, lebontható.

A kenőzsírok felhasználási csoportjelét (betűjelét és jelképeit) a 11. táblázat, a konzisztencia szerinti osztályozását a 12. táblázat, a felső alkalmazási hőmérsékletét és vízállóságát a 13. táblázat, az alsó alkalmazási hőmérsékletet jelző számjeleket a 14. táblázat tartalmazza.

A kenőzsírok konzisztenciáját az NLGI (National Lubricating Grease Institute), Nemzetközi Kenőzsír Intézet által kidolgozott rendszer szerint osztályozzák. (88.ábra)

Megjelölés: Kenőzsír DIN 51825 K 1 G -20



88. ábra. A kenőzsírok megnevezésének értelmezése DIN 51825 szerint

(Forrás: [13])



A kenőzsírok osztályozásánál két nagy csoportot lehet megkülönböztetni:

- konzisztencia szerint: NLGI 000 ⇒ NLGI 6
(folyós) ⇒ (nagyon kemény)

- sűrítő típusa szerint:
 - mechanikai és szerkezeti stabilitás
 - vízállóság
 - hőállóság

1. és 2. jel megnevezése a 11. táblázat alapján készül.

11. táblázat Kenőzsírok betűjele és jelképei (Forrás: [13])

1. jel szimbólum	2. jel <u>kenőzsírtípus</u>	Betűjel*
Asványolaj alapon készült kenőzsírok 	Gördülő-, siklócsapágyak és súrlódó felületek kenőzsíja	K
	Zárt hajtóművek kenőzsíja	G
	Nyitott hajtóművek kenőzsíja	OG
	Siklócsapágyak és tömítések kenőzsíja	M
Szintetikus olaj alapon készült kenőzsírok 	Per fluor-folyadék alapú	FK
	Szintetikus szénhidrogén alapú	HC
	Foszfátészter alapú	PH
	<u>Poliglikol</u> alapú	PG
	<u>Szilikonolaj</u> alapú	SI
Egyéb	X	

Kiegészítő betűjelek:

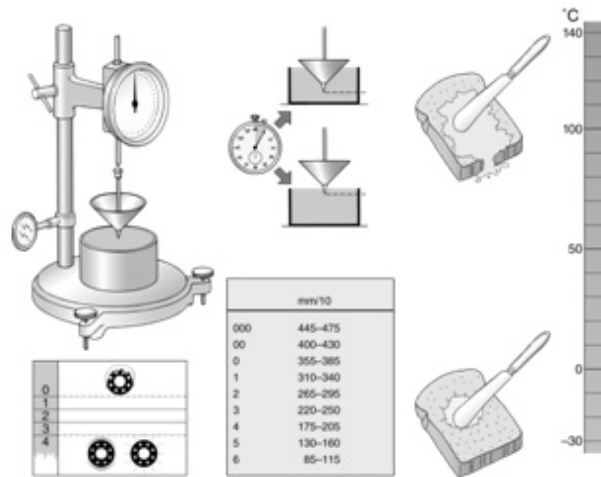
P : EP adalékolású, F: szilárd adalék tartalmú (grafit, MoS₂)

3. jel NLGI szerinti konzisztencia fokozatot mutatja (12. táblázat)

12. táblázat A kenőzsírok konzisztencia szerinti osztályozás (Forrás: [13])

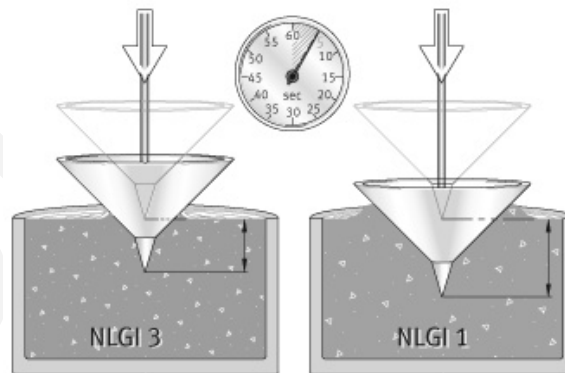
Konzisztencia fokozat NLGI szerint	Penetráció 60 törés után, 25 °C-on, 0,1 mm-ben	A kenőzsír állaga	Jellegzetes felhasználási területek
000	445-475	nagyon folyós	hajtóművek kenése
00	400-430	folyós	
0	355-385	nagyon lágy	alvázkenés
1	310-340	lágy	gördülőcsapágyak kenése
2	265-295	mérsékelten lágy	
3	220-250	<u>félfolyékony</u>	
4	175-205	félkemény	ma már nem használják
5	130-160	kemény	
6	85-115	nagyon kemény	

A kenőzsír legfontosabb tulajdonsága a konzisztenciája, melyet a 12 táblázat tartalmazza. A zsír konzisztenciája a rá ható erővel szembeni ellenállás. Egy túl kemény zsír nem jut el minden kenési pontra, egy túl lágy zsír viszont kifolyhat. A zsír konzisztenciája az alapolaj viszkozitásán és a felhasznált szappantípuson múlik. Azt mutatja meg, hogy a zsír mennyire deformálódik a rá ható erő hatására. Mértéke a penetráció. A penetráció mérésére az ASTM tesztek egy megadott tömegű kúpot használnak, amelyet 25 °C-on, 5 másodpercig hagynak a zsírba süllyedni. A kúp által a zsírban megtett távolság a penetráció. [60 törés után (duplalökethen számolva)] Mértékegysége a milliméter tizedrésze. Egy 100-as penetráció egy kemény zsírra utal, míg egy 450-es egy nagyon folyósra. (89. ábra). A mérést a 90. ábra mutatja pl. az NLGI 3 és NLGI 1 konzisztencia fokozatú kenőzsíroknál.



89.ábra. Kenőzsírok konzisztenciája

(Forrás: [26])



90. ábra. Konzisztencia fokozat mérésének menete

(Forrás: [26])

4. jel (13. táblázat)

13. táblázat A kenőzsírok felső alkalmazási hőmérsékletét és vízállóságát jelző kiegészítő betűjel (Forrás: [13])

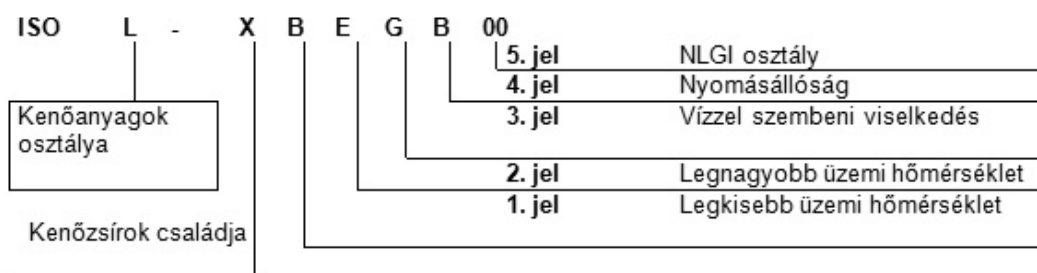
Kiegészítő betűjel	Felső alkalmazási hőmérséklet	Vízállóság értelmezése
C	+ 60	0 = változatlan
D		
E	+ 80	1 - csekély változás
F		
G	+ 100	2 - mérsékelt változás
H		
K	+ 120	3 – erős változás
M		
N	+ 140	
P	+ 160	
R	+ 180	
S	+ 200	
T	+ 220	
U	+ 220 felett	

5. jel (14. táblázat)

14. táblázat A kenőzsírok alsó alkalmazási hőmérsékleteit jelző kiegészítő számjel (Forrás: [13])

számjel	Alsó alkalmazási Hőmérséklet
- 10	- 10 °C
- 20	- 20 °C
- 30	- 30 °C
- 40	- 40 °C
- 50	- 50 °C
- 60	- 60 °C

Kenőzsírok betűjel és szimbólum szerinti osztályozása ISO 6743-9 szerint



91. ábra. A kenőzsírok megnevezésének értelmezése ISO 6743-9 szerint

(Forrás: [13])

1. jel (15. táblázat)

15. táblázat Legkisebb üzemi hőmérséklet

(Forrás:13])

Jel	A	B	C	D	E
Legkisebb üzemi hőmérséklet, °C	0	-20	-30	-40	< - 40

2. jel (16. táblázat)

16. táblázat Legnagyobb üzemi hőmérséklet

(Forrás:13])

Jel	A	B	C	D	E	F	G
Legnagyobb üzemi hőmérséklet, °C	60	90	120	140	160	180	>180

3. jel (17. táblázat)

17. táblázat Vízzel szembeni viselkedés

(Forrás:13])

Jel	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Környezet	L	L	L	M	M	M	H	H	H
Védőhatás	L	M	H	L	M	H	L	M	H

Környezet:

L - száraz

M - statikus nedvesség

H - dinamikus nedvesség

Védőhatás:

L - nincs védőhatás

M - védőhatás édesvíz jelenlétében

H - védőhatás sós víz jelenlétében

4. jel Nyomásállóság

A jel: Nagy nyomásállóságot nem igénylő alkalmazás

B jel: Nagy nyomásállóságot igénylő alkalmazás (EP-hatás)

5. jel NLAGI osztály (12. táblázat szerint)

Különböző sűrítőkkel készült zsírok

1. Szappan alapú kenőzsírok

- Kalcium-bázisú kenőzsírok (víztartalmú)

A kalciumbázisú kenőzsírok jellemzően sima, homogén, rövidszálú zsírok. Gyártásuk során szerkezetükbe vizet építenek be, ebből eredően vízben nem oldódnak és kitűnő vízállósággal rendelkeznek. Magasabb hőmérsékleten azonban a víz párolgásának következtében elvesztik beállított konzisztenciájukat, így a maximális üzemi hőmérséklet a 60 °C-i nem lépheti túl. A kalciumzsírok a közepes terhelésű, közepes sebességű, vizes környezetben üzemelő berendezések kenőanyagai, A felső alkalmazási hőmérsékletük alacsony volta miatt használatuk visszaszorulóban van.

- Kalcium-bázisú kenőzsírok (vízmentes)

Sima, vajszerű termékek. Ezen típusú kalcium-zsírok magasabb hőmérsékletig, 90-110 °C-ig használhatók. 120 °C körül azonban az olaj elválk a szappantól, és a szerkezete visszahűlés után sem áll helyre.

- Nátriumbázisú kenőzsírok

A nátriumbázisú kenőzsírok lehetnek hosszúszerűek, amikor "szálas, gumiszerű" a megjelenésük, és lehetnek rövidszerűek, amikor vajszerűek. A felülethez jól tapadnak. Nagy mennyiségű vízzel szemben nem ellenállóak, de kisebb mennyiséget - pi. a levegő páratartalmát- károsodás nélkül emulgeálnak és biztosítják a megfelelő korrózióvédelmet. Közepes stabilitású kenőzsírok.

- Lítiumbázisú kenőzsírok

A lítium bázisú kenőzsírok sima, rövidszerű zsírok. Jó mechanikai stabilitással, vízállósággal rendelkeznek, jól tapadnak a felülethez. Zavarmentes üzemmenetet biztosítanak széles terhelés-, és hőfoktartományban. EP {nyomásálló} adalékolású változatai nehéz üzemi körülmények között, ütészzerű igénybevételnek kitett berendezések esetén is biztonságos kenést biztosítanak. Az általános üzemi viszonyok által támasztott követelményeket maximálisan kielégítik, ezért a **lítium-bázisú kenőzsírokat használják legszélesebb körben.**

- Kalcium-komplex kenőzsírok

Magas cseppenés ponttal, jó vízállósággal rendelkező kenőzsírok. A hagyományos szappannal készült kenőzsíroknál magasabb hőmérsékletig, kb. 150°C-ig használhatók. Tárolás során, illetve nagy nyomás alatt keményedésre hajlamosak.

- Alumínium-komplex kenőzsírok

Magas cseppenés ponttal, jó vízállósággal, közepes mechanikai stabilitással rendelkező termékek. Hajlamosak arra, hogy magas hőmérsékleten irreverzibilisen leleágyuljanak, ezért ilyen alkalmazási helyeken folyamatos után zsírozást kell biztosítani. Nagyon jó folyási és szivattyúzhatósági tulajdonsággal rendelkeznek, ami különösen alkalmassá teszi őket kiterjedt központi kenőrendszerekben való használatra

- Lítium komplex kenőzsírok

Magas cseppenésponttal, jó mechanikai stabilitással, mérsékelt vízállósággal rendelkező kenőzsírok. Gördülőcsapágyak kenéséhez 150 °C-ig kiválóak, ez alatti hőmérsékleten kiemelkedően hosszú élettartamot biztosítanak, ezért a zárt csapágyak jellemző kenőzsírja.

2. Nem szappan alapú kenőzsírok

- Bentonitbázisú kenőzsírok

A bentonitbázisú kenőzsírok közepes mechanikai stabilitással, jó vízállósággal, de gyenge korróziós tulajdonsággal rendelkező termékek. Nincs cseppenés-pontjuk, felső alkalmazási hőmérséklet-határukat az alapolaj párolgási tulajdonságai határozzák meg. Tartósan 180 °C-ig használhatók, e felett gyakori után kenés szükséges. Más sűrítővel készült kenőzsírokkal való keveredésre különösen érzékenyek, ezért kerülni kell.

- Poliurea zsírok

Kiemelkedően jó oxidációs stabilitással, de gyenge nyírásstabilitással rendelkező termékek. Magas hőmérséklet melletti tulajdonságaik a komplex zsírokéval vethetők össze. Kiváló vízállóságuknak, magas alkalmazási hőmérséklet-határúknak köszönhetően használatuk az acélgépjárművekben terjed.

A sűrítő nagymértékben meghatározza a kenőzsír mechanikai és szerkezeti stabilitását, vízállóságát, hőállóságát és olajtartó képességét.

A felsorolt sűrítővel készített kenőzsírok jellemzői a 18. táblázat foglalja össze.

18. táblázat Fontosabb kenőzsír sűrítők és tulajdonságai (Forrás: [26])

A sűrítő típusa	Alkalmazható hőmérséklet, max. °C	Mechanikai stabilitás	Vízállóság	Olajtartó képesség
Kalcium-szappan (víztartalmú) <i>KZS sorozat</i>	60	jó	kitűnő	gyenge
Kalcium-szappan (vízmentes)	110	kitűnő	kitűnő	jó
Nátrium-szappan	100	közepes	gyenge	közepes
Lítium-szappan <i>LZS sor.</i>	120	jó	jó	jó
Kalcium-komplex szappan	160	jó	jó	kitűnő
Alumínium-komplex szappan. Alukomplex sorozat, MHZS 1 M, HZS2 EP, - hajtómű H1 Alton 2 – élelmiszeripari Chemresist 2 - szintetikus	160	kitűnő	jó	kitűnő
Lítium-komplex szappan <i>Favorit 2</i>	160	kitűnő	kitűnő	kitűnő
Organofil bentonit <i>Helios szorozat</i>	220	jó	jó	kitűnő
Poliurea	160	közepes	kitűnő	kitűnő

A 19. táblázatban található a kenőzsírok (sűrítők) összeférhetősége

	Al	Al-kompl	Ba	Ca	Ca kompl	Agyag	Li	Li/Ca	Li 12 hidr.	Li komp	Poliurea
Al	-	C	I	I	I	I	I	I	I	C	B
Al kompl	C	-	I	I	I	I	I	I	I	C	B
Ba	I	I	-	I	I	I	I	I	I	I	B
Ca	I	I	I	-	I	C	C	C	B	C	B
Ca kompl	I	I	I	I	-	I	I	I	I	C	C
Agyag	I	I	I	C	I	-	I	I	I	I	I
Li	I	I	I	C	I	I	-	C	C	C	B
Li/Ca	I	I	I	C	C	I	I	-	C	C	C
Li 12 hidr.	I	I	I	B	I	I	C	C	-	C	B
Li komp	C	C	I	C	C	I	C	C	C	-	B
Poliurea	B	B	B	B	C	I	B	B	B	B	-

C: összeférhető **I: nem összeférhető** **B: részlegesen összeférhető**

A megfelelő kenőzsír kiválasztásának irányelvei.

A megfelelő kenőzsír kiválasztásánál az üzemi körülmények lehető legteljesebb ismerete szükséges, úgymint:

- **Igénybevétel**
- **Fordulatszám**
- **Beépítés módja**
 - *Ferde, vagy függőleges elrendezés:* jól tapadó, NLGI 3 konzisztenciájú kenőzsír, amelynek alkalmazhatósági hőmérséklete 50%-kal nagyobb, mint üzemi hőmérséklet.
 - *Vízszintes elrendezés:* NLGI 2 konzisztenciájú kenőzsír,
- **Karbantartás**
 - *Gyakori utánkenés:* lágy kenőzsír, NLGI 1 vagy 2
 - *Élettartam kenés:* Mechanikailag és termikusán stabil kenőzsír. A kenőzsír alkalmazhatósági hőmérsékletetára 30 %-kal nagyobb legyen, mint a maximális hőmérséklet.
- **Környezeti tényezők**
 - Hőmérséklet:
 - extrém magas:* oxidációra kevésbé hajlamos, komplex-, bentonit-bázisú, fél- vagy teljesen szintetikus kenőzsírok speciális adalékokkal.

extrém alacsony: NLGI 1-2 konzisztenciájú kenőzsír, kis viszkozitású alapolajjal.

- **Porterhelés:**

- Tömítő. ill. gallérképződésre hajlamos, viszonylag kemény kenőzsír, NLGI 3.
- Bejutó víz: Vízálló kenőzsír, pl. Al- vagy Ca bázisú kenőzsír
- Futási tulajdonságokkal szemben támasztott követelmények:

Alacsony súrlódás: Vajszerű vázszerkezetű kenőzsír, kis viszkozitású alapolajjal.

Alacsony zajsint: Erősen homogenizált, szűrt kenőzsír viszonylag magas viszkozitású alapolajjal. ($v/40=40-200$ cSt)

- **Korábban alkalmazott kenőzsír.**

Ahhoz, hogy a megfelelő kenőzsírt ki tudjuk választani, és az üzemi viszonyok ismeretében megfelelő kenést biztosíthassuk, a kenőzsírok tulajdonságaival is tisztában kell lenni. Ismernünk kell a kenőzsírok alábbi jellemzőit, amely jellemzőket a kenőzsírok termékklapjai általában tartalmaznak.

- konzisztencia,
- törésállóság,
- sűrítő típusa,
- fordulatszám megfelelésség,
- alkalmazhatóság alsó és felső hőmérséklete,
- korrózióvédő tulajdonság,
- vízzel szembeni tulajdonság,
- cseppenéspont
- alapolaj típusa és viszkozitása

Az üzemi viszonyok, valamint a kenőzsírok jellemzőinek ismeretében a kenőzsír kiválasztható.

2.3. Szilárd kenőanyagok

A szilárd kenőanyagokat akkor alkalmazzák, ha más kenőanyagok alkalmazása nem kívánatos vagy hatástalan. Nem kívánatos a kenőzsírok vagy olajok alkalmazása, ha szennyeződés veszélye áll fenn, vagy ha a karbantarthatóságot nehezíti.

A szilárd kenőanyagok optimális felhasználási feltétele, ha kis sebességű vagy kis terhelésű, kis hézaggal illesztett csúszófelületek között összefüggő kenőfilm és rendkívül kis súrlódási ellenállás a követelmény. A leggyakoribb szilárd kenőanyagokat a 20 táblázat foglalja össze. Gyakran használt szerzetlen, nagy terhelést bíró kenőanyag a grafit és a molibdéndiszulfid. Kenőzsírokban töltőanyagként is használatosak nagy terhelésű helyeken. A molibdéndiszulfid (MoS₂) nagy terhelést és hőt elviselő pasztaként is használatos.

Hatástalan a kenőzsírok és kenőolajok alkalmazása bizonyos környezeti hatások során (korrozív gáz, piszok), magas vagy kritikus hőmérsékleten, nagy terhelésen.

A folyadékkenés akkor nem kívánatos, ha

- Szennyeződés veszélye áll fenn:
 - élelmiszeripari gépek
 - elektromos érintkezők
- Karbantartási nehézségek okoznak gondot
 - hozzáférhetetlenség
 - tárolási problémák

A folyadékkenés akkor hatástalan, ha

- kedvezőtlen a környezet (korrozív gázok, piszok, szenny)
- magas a hőmérséklet (alagútkemencék, fémmegmunkálás)
- kritikus a hőmérséklet (hűtőüzem vagy vákuum)
- nagy a berágási veszély (nagy terhelésű csapágyak)
- üzemközben rendkívül nagy a nyomás (nyitott fogaskerékajtás)

Szilárd kenőanyagtípusok

A szilárd kenőanyagok optimális felhasználási feltétele, ha kis sebességű vagy nagy terhelésű, kis hézaggal illesztett csúszófelületek között összefüggő kenőfilm és rendkívül kis súrlódási ellenállás a követelmény. A leggyakrabban használatos szilárd kenőanyagokat a 20. táblázat foglalja össze, melyek használati módja a következő:

A szilárd kenőanyagokat mezőgazdasági gépeknél tisztán nem alkalmazzák, de adalékanyagként egyre inkább megtalálhatók.

- Poraikból 0,1-10 µm vastag égetett film vagy „gumírozott rugalmas felületi réteg” képzése.
- Illékony folyadékban 5-25 µm vastag porlasztott vulkanizált felület kialakítása.
- Nem illékony folyadékban képzett diszperziójuk adalékként való hasznosítása.

- Speciális bevonat előállítás vákuumban (rétegeképés, részecskeérintkezés, elektrolízis).

20. táblázat Szilárd kenőanyagok jellemzői

(Forrás: [13])

Lemezes szilárd anyagok			Polimerek		
anyag	t_{max} [°C]	speciális jellemzők	anyag	t_{max} [°C]	speciális jellemzők
MoS ₂	350	vákuumban 115 °C-on bomlik	FEP	210	kémiaiilag inert anyagok, kritikus hőmérsékleteknél használandók
MoS ₂	400	oxidációs stabilitása a reakció miatti adhéziós tapadása a fémhez kitűnő	PTECE	250	
WS ₂	400		PTFE	275	
grafit	500	vákuumban hatástalan	Nylon	150	a felületen egyenletes védőréteget képeznek, ezáltal csökkentik a kopás, de a súrlódási ellenállást növelik
Vegyes anyagok					
lágú fémek	hatásuk	oxidok	hatásuk	sók	Hatásuk
Pb, Au, Ag, Sn, In	vákuumban hatástalanok	MoO ₃ PbO/SiO ₂ B ₂ O ₃ /PbS	csak magas hőmérsékleten fejtik ki hatásukat	Na ₂ WO ₄ PbMoO ₄	gyakran a kombinált kenéshez alkalmazzák

Szilárd anyagok alkalmazása diszperzióban:

A grafit-, MoS₂- és PTFE (Politetrafluoretilén)-diszperziók széles körben használhatók vízben, alkoholban, toluolban, olajban stb.

Szilárd kenőanyagok fajtái, alkalmazása:

Bizonyos esetekben kenőolajok, kenőzsírok nem használhatók az adott kémiai, fizikai körülmények között. Így kenőanyagként olyan anyagokat alkalmazunk, amelyeknek csiszoló, koptató hatása nincs vagy csekély és az adott körülmények között is megtartják tulajdonságaikat. Ilyen anyagok a szilárd kenőanyagok. (92. ábra)

Grafit (C)

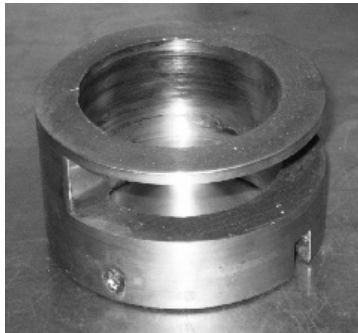
A grafitot finomra őrölve, olajjal vagy zsírral keverve különösen nagy terhelésű vagy magas hőmérsékleten üzemelő csapágyak kenésére alkalmazzuk. Enyhe csiszolóhatásának köszönhetően kiválóan alkalmas csapágyak, fogaskerekek bejáratására is.

Molibdén-szulfid (MoS₂)

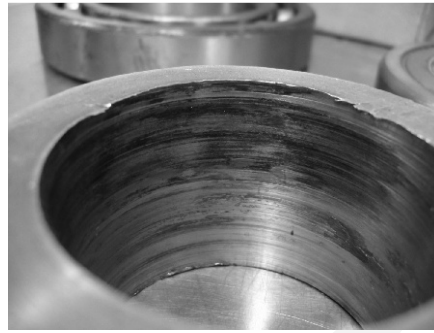
A molibdén-szulfid száraz, finom por alakú 400°C-ig alkalmazható kenőanyag. Olajjal vagy zsírral keverve pasztát alkot, amely nagy felületi nyomáson és magas hőmérsékleten is szilárdan megtapad a csúszófelületeken, de jó csúszást, kenést biztosít.

Talkum

A zsírkő (magnéziumszilikát) púder finomságú, por alakú őrleménye. A talkum finom kristálylemezekből áll, melyek egymáson könnyen elcsúsznak. Gumialkatrészek kenő- és elválasztó-anyagként alkalmazzák.



Siklócsapágy



Súrlódás miatt kopott felület

92. ábra. Szilárd kenőanyag alkalmazási példák

(Forrás: [21])

Egy sor olyan csapágy- és kenőanyag megoldást fejlesztett ki, melyek szélsőséges üzemi körülmények között is nagyon jól teljesítenek, segítenek áttörni az eddigi korlátokat, ezzel növelve a termelékenységet és csökkenteni a költségeket. Kohászati üzemekben, vagy építőanyagok gyártás során alkalmazott, nagyon magas hőmérsékleten üzemelő berendezéseknél (pl. utánmelegítő kemence, szárító berendezések) az ásványolaj alapú kenőanyagok az előzőekben elmondottak miatt nem jelentenek ideális megoldást. Ilyen és hasonló esetekre az **SKF száraz kenőanyag** alternatívát ajánl: a csapágyban lévő szabad teret egy grafit alapú kenőanyag keverékkel töltik meg. A csapágyegységet addig melegítik, míg a keverék megszilárdul. Mivel a kenőanyag a teljes szabad teret kitölti, védi a gördülő elemeket és a futópályát a beható szennyező részecskékkel szemben. Olyan esetekben, amikor a korrózióállóság követelmény, a grafit alapú keveréket egy polimerrel impregnálják. (93.ábra) A polimer **javítja a korrózióval szembeni ellenállást, ugyanakkor magasabb fordulatszám elérését teszi lehetővé.**



93. ábra. Szilárd kenőanyag alkalmazása magas hőmérsékleten üzemelő csapágynál

(Forrás: [21])

DUPress

3. GÉPELEMÉK KENÉSE

A gépelemek jelentős részénél, működésük során az egymással érintkező felületek elmozdulnak. Az ilyen jellegű *érintkezés a felületek közötti súrlódással valósul meg*, amelynek természetes következménye a *melegedés* és a *felületek kopása*. Annak érdekében, hogy ezeket a jelenségeket mérsékeljük, ill. elfogadható szinten tartsuk, a felületek közé súrlódást csökkentő anyagot juttatunk, vagyis *kenést* alkalmazunk. A kenőanyag, amellyel, hogy csökkenti a súrlódást és a kopást, meggátolja a korróziót, és védelmet nyújt a túlmelegedés és a szennyeződések ellen is [15, 18].

A gépelemek kenése akkor hatékony, ha megfelelő kenőanyagot alkalmazunk, és azt célszerűen megválasztott módszerrel juttatjuk a felületek közé.

Eszerint a kenés tervezése:

- a megfelelő kenőanyag kiválasztását, valamint
- a hatékony kenési rendszer kialakítását jelenti.

A gépelemek kenésére *kenőolajat* vagy *kenőzsírt*, különleges esetekben, amikor sem zsírkenés, sem olajkenés nem jöhet szóba, *szilárd kenőanyagot* alkalmazunk.

Olaj kenés

Olajkenést általában akkor használnak a gépelemek kenésére, ha

- folyamatos kenőanyag-ellátást kell biztosítani,
- gondoskodni kell a hőelvezetésről, a hűtésről,
- egyidejűleg több gépelem kenését is meg kell oldani.

A felsorolt feltételek külön-külön is igénylik az olajkenés alkalmazását, a gyakorlatban azonban ezek legtöbbször együtt jelennek meg.

Az olajkenés előnyei:

- biztosított a hűtés, hőelvezetés,
- a károsodások legtöbbször észlelhetők az olaj kopástermékeinek vizsgálatából,
- a szennyeződések és kopástermékek szűréssel eltávolíthatók,
- a bevezetett olajmennyiség könnyen szabályozható,
- a teljes olajcsere könnyen végrehajtható,
- extrém üzemi hőmérsékletnél az olaj hűtése vagy melegítése megoldható,
- kenőolajok széles választéka áll rendelkezésre,
- nagy sebességű működésnél használható,

- adalékok könnyen vegyíthetők az olajba,
- nagy sebességnél jó filmképző képesség,
- központi kenőrendszer kialakítható.

Az olajkenés hátrányai:

- gondosan kialakított tömítést igényel,
- néhány szintetikus olaj kivételével extrém hőmérsékleteknél nem alkalmazható,
- gondot okozhat a szivárgás, szennyezheti a környezetet, a terméket,
- nagy sebességnél habosodás léphet fel,
- a ház kialakítása nem lehet független a kenési rendszertől,
- nagy sebességnél terelőlemezre lehet szükség,
- az indítás pillanatában nem mindig kielégítő a kenés,
- hosszútávú korrózióvédelem bizonytalan,
- gondot jelenthet a levegő olajba emulgeálása,
- a kenési rendszert biztonsági berendezéssel kell ellátni a kenés nélküli működés megakadályozása érdekében,
- a kenési rendszer meghibásodása a gépelemek károsodását, tönkremenetelét okozhatja.

Az olajokat felhasználásuk, viszkozitásuk és teljesítményszintjük szerint csoportosítjuk

Zsírkenés

A zsírkenés előnyei:

- a ház és a kenési rendszer kialakítása egyszerű,
- minimális karbantartást igényel,
- a tömítéseknel segít a szennyeződések bejutásának megakadályozásában,
- már az indítás pillanatában biztosított a kenés,
- nem feltétlenül igényel tömítést,
- nagy terhelésű és kis sebességű érintkezéseknél jobb a filmképzés, mint az olaj esetében,
- a rövid ideig, szakaszosan terhelt gépelemeknél az érintkezési zónában a zsír jobban megőrzi merevségét, mint az olaj,
- kis sebességnél is jól tapad az érintkező felületeken,

- egyidejűleg nyújtja a kenőképesség és a korrózióvédelem kedvezőbb kombinációját kis sebességű, szakaszosan üzemelő berendezésekben,
- zajcsökkentő hatása van.

A zsírkenés hátrányai:

- gyakorlatilag nincs hűtő hatása,
- a kopástermékeket nem szállítja el az érintkezési területről,
- az érintkező felületek közé juttatott kenőanyag mennyisége nehezen ellenőrizhető,
- a kopástermékek vizsgálatával nem lehetséges a károsodások előrejelzése,
- körülményes a kenőanyag teljes cseréje,
- nem észlelhető azonnal a káros mértékű szinterézis,
- a szennyeződések a kenőanyagban maradnak,
- egyes nagy sebességű alkalmazásoknál a centrifugális erő eltávolíthatja a kenőanyagot az érintkezési zónából,
- közepes sebességeknél a kenőanyag bevezetése érdekében terelőlemezekre lehet szükség,
- egyetlen kenőzsír nem alkalmas a széles határok közötti hőmérséklet-változások elviselésére,
- a kenőzsír csak néhány előnnyel rendelkezik az olajjal szemben:
- egyszerűbb és olcsóbb kenőrendszert igényel,
- jobbak az adhéziós tulajdonságai,
- nagyobb védelmet nyújt a környezeti ártalmakkal (nedvességgel, szennyeződéssel) szemben.

A kenőzsírokat konzisztenciájuk alapján osztályozzuk, amely rendszert az Egyesült Államok Nemzeti Kenőzsír Intézete, az NLGI (National Lubricating Grease Institute) fejlesztette ki.

Kenés szilárd kenőanyagokkal

A szilárd kenőanyagok előnyei:

- nagyon nagy üzemi hőmérsékleten is használhatók (mintegy 500 °C-ig),
- legtöbb tagja alkalmazható vákuumban,
- nincs szükség tömítésekre,
- nagyon kis üzemi hőmérsékleten is használhatók (kb.-180 °C-ig).
- gyakran élettartamkenést biztosítanak,
- elektromos szigetelőként működhetnek,

- „érzéketlenek számos kémiai és gáznemű szennyeződésre,
- „a kenési „rendszer” tömege minimális,
- egyetlen kenőanyag, amely szélsőséges hőmérsékleti körülmények között is alkalmazható,
- ideálisak műszerek, hangszerek stb. esetében.

A szilárd, kenőanyagok hátrányai:

- a bevonat viszonylag lágy, könnyen károsodhat
- teherviselő képessége korlátozott,
- fokozottan por- és szennyeződésmentes helyeken használhatók,
- _ különleges eljárással juttathatók a felületekre,
- **kevés** kivétellel nem valósítható meg az újrafenítés,
- elektromos szigetelőként működhetnek,
- a súrlódási tényezőjük nagyobb, mint zsír- vagy olajkenés esetén

3.1. Gördülőcsapágyak kenése

A gördülőcsapágyak megbízható működéséhez, a legkedvezőbb élettartam elérése érdekében, megfelelő kenésre van szükség. A gördülőcsapágyban üzem közben a gördülőelem és a kosár, a gördülőelem és a gyűrűk vezetőpereme, valamint a gördülőelem és a gyűrűk érintkezési pontjaiban a rugalmas alakváltozások miatt csúszósúrlódás lép fel.

A kenőanyag feladata, hogy:

- filmet képezzen az egymáshoz képest viszonylagos mozgást végző csapágyelemek között, megakadályozva a fémes érintkezést. A kenőfilmnek elegendően vastagnak kell lennie ahhoz, hogy megfelelő kenést biztosítson még nagy terhelés, nagy hőmérséklet-változások és rezgések esetén is,
- csökkentse a súrlódást, akadályozza meg a kopást és a súrlódással járó melegekedést,
- nyújtson védelmet a korrózió ellen,
- kenőzsír alkalmazásakor tömítsen a szennyeződések és a víz ellen.

A gördülőcsapágyak kenéséhez finomított ásványolajok, konzisztens vagy szintetikus gördülőcsapágy-zsírok használhatók. Növényi vagy állati eredetű kenőanyagok

alkalmazását kerülni kell, mert hajlamosak korrodáló savak létrehozására, gyantásodásra és beszáradásra

A gördülőcsapágyak kenésének minőségét - hasonlóan más gépelemekhez - két alapvető döntés határozza meg:

- a megfelelő kenőanyag kiválasztása,
- a kenőanyag csapágyelemek közé juttatását biztosító kenési mód megválasztása.

A gördülőcsapágyak kenésére leggyakrabban kenőzsírt, ritkábban kenőolajat és csekély számban, főleg szélsőséges üzemi körülmények között, amikor sem a zsírkenés, sem az olajkenés: feltételei nem adóttak, szilárd kenőanyagot használnak.

3.1.1. Gördülőcsapágyak zsírkenés

A kenőrendszer egyszerű szerkezeti kialakítása, valamint az egyszerű tömítőrendszerek alkalmazhatósága miatt a legtöbb gördülőcsapágy zsírkenésű.

Nem célszerű a zsírkenés:

- nagy fordulatszámú csapágyak esetén,
- nagy üzemi hőmérséklet esetén, mert cirkulációs olajozással a csapágy hűtése is megoldható,
- ha a csapágyazás súrlódási veszteségének csökkentése fokozott követelmény,
- ha egy szerkezeten belül más gépelemek kenéséhez már olajat használunk (pl. fogaskerék-hajtóművek).

A zsírkenés előnyei az olajkenéssel szemben:

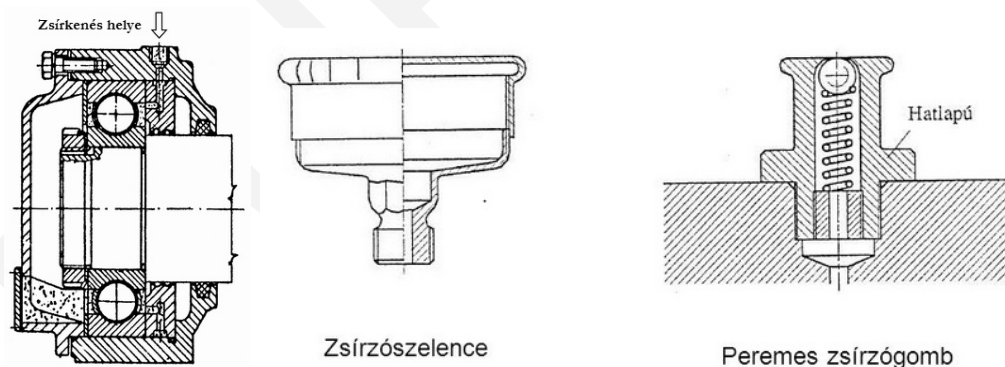
- a tömítőszerkezet lényegesen egyszerűbb,
- fokozza a csapágy tömítettségét a külső szennyeződések, nedvesség bejutása ellen,
- csökkenti a csapágyzajt,
- az üzemi viszonyoknak megfelelően megválasztott zsír esetén a csapágy hosszú ideig gondozás nélkül üzemel.

A gördülőcsapágy kenéséhez használt zsír fajtájának megválasztásakor mindenképp a csapágy terhelését és fordulatszámát kell figyelembe venni, de tekintettel kell lenni az üzemi körülményekre is, mint pl. a csapágy hőmérsékletére, a beépítés szerkezeti megoldására, a környezeti viszonyokra stb.

Zsírkenésű gördülő-csapágyazások tervezése során fontos követelmény egyrészt, hogy legyen megfelelő nagyságú zsírtér, másrészt, hogy utánkenés esetén a kenőanyag biztonságosan a működő felületek közé jusson.

Az alkalmazható csapágyzsírok jelentős részét a **kalcium- nátrium- és lítium-bázisú zsírok** képezik. A **kalciumbázisú** zsírok vízállóak, állaguk sima, vajszerű. Néhány százalék vizet tartalmaznak, így nedves környezetben is alkalmazhatók. Ugyanakkor a víztartalom miatt fokozottan hőérzékenyek. Ajánlott kis terhelésű és közepes fordulatszámú csapágyakhoz 0°C-tól 80°C-ig. Nyomásállóságuk úgynevezett EP adalékokkal (kén, foszfor vagy ólomvegyületek), hőmérséklet-állóságuk pedig glicerín és szabad zsírsavak adalékolásával növelhető (-30°C-tól 100°C -ig). A **nátriumbázisú** zsírok oldódó nátriumszappanokat tartalmazzanak, ezért nem vízállóak, a vízfelvételi folyamat nem reverzibilis (megfordítható). Alkalmazhatók -30°C -tól 80°C -ig, de rövid ideig a cseppenéspont feletti hőmérsékleten is használhatók (hőreverzibilis zsírok). A szintetikus nátrium alapú zsírok lényegesen nagyobb üzemi hőmérsékleten is használhatók. A **lítium-bázisú** zsírok vízállóak és reverzibilisek. Alacsony és magas (-30°C és 120°C) hőmérsékleten is egyaránt alkalmazhatók. Előnyei miatt ez a leggyakrabban alkalmazott kenőanyag. Oxidáció gátló adalékok hozzáadásával a korrózió gátló képességük is jó. Előnyösen alkalmazhatók ritka utánkenésű, vagy utánkenést nem igénylő ágyazások kenésére. Az üzemeltető szempontjából rendkívül fontos annak az ismerete, hogy korlátlanul csak azonos bázisú zsírok keverhetők. A nátriumbázisú zsírok más bázisú zsírokkal nem keverhetők és hogy a lítium-bázisú zsírokkal kálium bázisú legfeljebb 30 %-ban keveredhet. Nagyobb arányú keveredés a zsír szerkezetének megromlását eredményezheti. Célszerű tehát a különböző bázisú zsírok keveredését megakadályozni.

Újrakenésnél, vagy a már alkalmazott zsírfajtát előírni, vagy a megváltozott üzemi viszonyoknak megfelelő másfajta kenőanyag alkalmazásakor teljes átmosást ajánlatos elvégezni. Ezzel elkerülhető a konzisztencia csökkenés és az esetleges csapágykárosodás



94. ábra. Gördülőcsapágy zsírkenése és alkalmazott zsírzó szerkezetek

(Forrás: [21])

A 21. táblázat tartalmazza az SKF kenőanyag a fő kiválasztási paramétereket

21. táblázat SKF kenőanyag a fő kiválasztási paraméterek (Forrás: [20])

Csapágy üzemi paraméterek	
Hőmérséklet	
L = alacsony	<50 °C
M = közepes	50 - 100 °C
H = magas	>100 °C
EH = rendkívül magas	>150 °C
Terhelés	
VH = nagyon nagy	C/P <2
H = magas	C/P ~4
M = közepes	C/P ~8
L = alacsony	C/P ≥15
<small>C/P = Terhelésre vonatkozó arány C = csapágy névleges, dinamikus terhelése, kN P = alap, egyenértékű, dinamikus csapágy terhelés, kN</small>	
Fordulatszám	
Golyóscsapágyak esetén	
EH = különösen magas	n x d _m 700 000 felett
VH = nagyon magas	n x d _m 700 000-ig
H = magas	n x d _m 500 000-ig
M = közepes	n x d _m 300 000-ig
L = alacsony	n x d _m 100 000 alatt
Fordulatszám	
Görgős csapágyakra Beálló-, kúpgörgős és CARB	
H = magas	n x d _m 210 000 felett
M = közepes	n x d _m 210 000-ig
L = alacsony	n x d _m 75 000-ig
VL = nagyon alacsony	n x d _m 30 000 alatt
<small>Hengergörgős csapágyakra n x d_m 270 000 felett n x d_m 270 000-ig n x d_m 75 000-ig n x d_m 30 000 alatt</small>	
<small>n d_m = ford. szám, r/min x 0,5 (D+d), mm</small>	

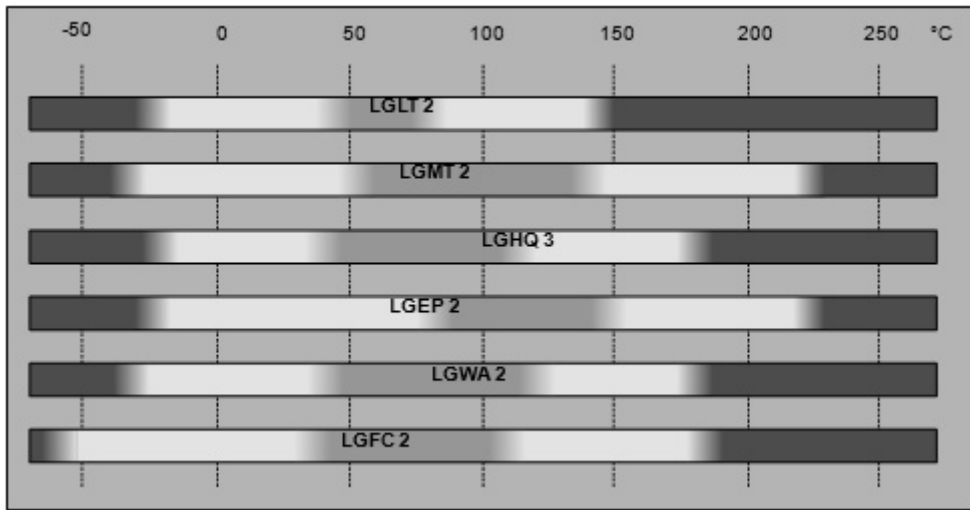
A legáltalánosabban használt SKF csapágyzsír alapválasztékok a 22. táblázatban találhatóak

22. táblázat SKF csapágyzsír alapválasztékok (Forrás: [20])

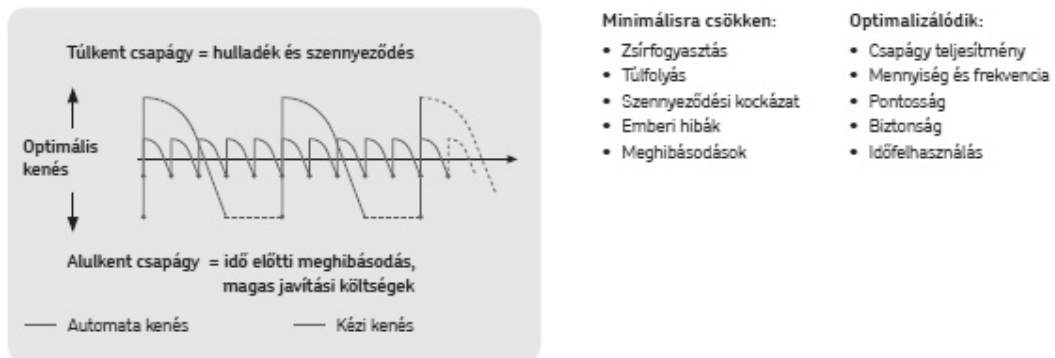
Csapágyzsír alapválaszték	
Általánosan használt, ha:	
fordulatszám = M, hőmérséklet = M és terhelés = M	LGMT 2 Általános célú
Azonban, ha:	
A várható csapághőmérséklet folyamatosan > 100 °C	LGHP 2 Magas hőmérséklet
A várható csapághőmérséklet folyamatosan > 150 °C, követelmény a sugárzásnak való ellenállás	LGET 2 Rendkívül magas hőmérséklet
Alacsony környezeti hőmérséklet -50 °C, várható csapághőmérséklet < 50 °C	LGLT 2 Alacsony hőmérséklet
Lökészerű terhelések, nagy terhelések, gyakori indítás/leállítás	LGEP 2 Nagy terhelés
Élelmiszeripari zsír	LGFP 2 Élelmiszeripar
Biológiailag lebomló, alacsony toxicitás	LGGB 2 Biológiailag lebomló

Megjegyzés - Viszonylag magas környezeti hőmérséklet esetén használjuk az LGMT 3-at az LGMT 2 helyett.
 - Különleges üzemi körülmények esetén válasszon az SKF csapágyzsír választékából

Az általános célú zsírok üzemi hőfoktartományát tájékoztató jelleggel a 23. táblázat tartalmazza.



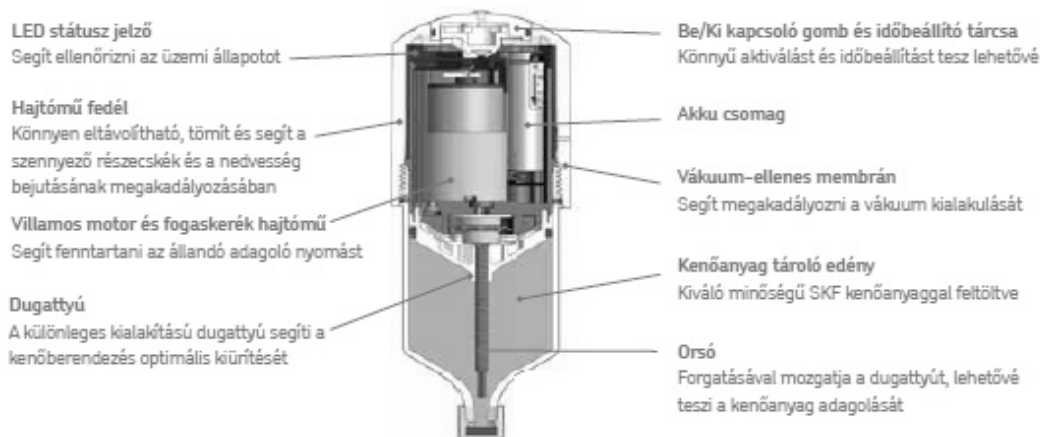
A kézi újrafenésítési feladatok elvégzése nagy kihívást jelenthet a karbantartási szakemberek számára, ha nem a megfelelő szerszámokkal (kézi kenőszerszámok), gyakorlattal és tudással végzik. A megbízhatóságot befolyásolhatja az alul- vagy túllikenés is, valamint a szennyeződés. (95. ábra) Az automatikus kenés rendszeres időközönként kis mennyiségű kenőanyagot adagol, ezáltal javítja a csapágy teljesítményét.



95. ábra. Az automatikus kenés fő előnyei

(Forrás: [20])

Erre példa az SKF SYSTEM 24 család LAGE sorozat elektro-mechanikus egyponos automata kenőberendezése. (96. ábra)



96. ábra. Elektro-mechanikus egyponos automata kenőberendezés

(Forrás: [20])

3.1.2. Gördülőcsapágyak olajkenése

Az olajkenésű gördülőcsapágyak az összes gördülőcsapágyazásnak mintegy 10–15%-át teszik ki. Gyakorlati kivitelezésére többféle megoldás van, amelyek közül az üzemi körülmények és a gazdaságossági szempontok együttes figyelembevételével lehet választani.

A **merülőolajozás** vízszintes tengelyelrendezésű csapágyazások esetén használható. A kenést a csapágyházba töltött olaj biztosítja oly módon, hogy a csapágy alsó gördülőeleme belemerül az olajba.

A **szórótárcsás olajozásnál** az olajba ún. szórótárcsa merül, ami az olajat szétszórja a házban, és a csapágyat a levegőben lebegő olajszemcsék kenik. Előnye, hogy az olaj keverési vesztesége kisebb, mint a merülő olajozás esetén.

A **cirkulációsolajkenés** esetén a kenés mellett az olaj feladata a csapágyban fejlődő hő elvezetése is. A legegyszerűbb esetben az olajat szivattyú szállítja a gördülőcsapágy valamelyik homloklapjához, a csapágy másik oldalán az olaj szabadon elfolyhat.

Nagy fordulatszámú ágyazások kenése és egyben hűtése célszerűen **olajköd kenéssel** valósítható meg. Lényege, hogy az olaj megfelelő nyomású levegőbe porlasztva, olajköd formájában jut a csapágyházba, ahol lecsapódva keni a csapágyat. A nyomás alatt lévő levegő a csapágyház tömítésein keresztül távozik, javítva ezzel a tömítés hatékonyságát.

Az **olajbefecskendezéses kenés** esetén az olajat egy megfelelően kialakított fúvóka közvetlenül a működő felületek közé juttatja. Előnye – különösen nagyobb

fordulatszámokon –, hogy az irányított olajsugárral a csapágyat körülvevő légörvényt biztonságosabban lehet áttörni, a kenés megbízhatóbb, mint a ködkenés esetén.

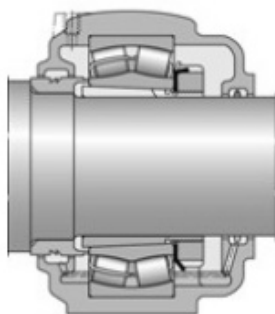
Azoknál a kenési rendszereknél, ahol az olaj kívülről kerül az ágyazásba, gondoskodni kell arról, hogy ne jöhessen létre olajfeltöltődés, ezért megfelelő keresztmetszetű visszafolyó vezetéseket kell kialakítani.

A gördülőcsapágyak kenéséhez általában finomított ásványolajok használhatók. Újabban szintetikus kenőolajokat is alkalmaznak. A kenéstechnikai szempontból mérvadó tulajdonságok: a viszkozitás és a viszkozitási index, a lobbanáspont, a dermedéspont, a savasság, az öregedés-állóság, a nyomásbíró képesség és a korróziógátló képesség. A gördülő csapágyak kenésére használhatók a motor- és hajtóműolajok, továbbá a forgalmazók által kínált nagyszámú olajfélések. Az olaj megválasztásának alapja az üzemi viszonyoknak megfelelő olajviszkozitás. A terhelési módtól, a csapágy típusától, a fordulatszámtól és üzemi hőmérséklettől függő, megkívánt olajviszkozitás diagram alapján meghatározható.

Az olajkenés műszaki megoldásai:

Merülő olajkenés

Az olajkenés gyakorlati megvalósítása az üzemi körülmények, konstrukciók és gazdasági szempontok függvénye. Az egyik leggyakrabban használt kenési mód a merülő olajozás (97. ábra) **különösen vízszintes tengelyelrendezéseknél alkalmazható**. A kenést a csapágyházba töltött olaj biztosítja oly módon, hogy a csapágy alsó gördülőeleme belemerül az olajba. A gördülőtestek nyugalmi helyzetében az alsó gördülő elemek körülbelül félig merülnek az olajba, nagyobb fordulatszámoknál a habosodási veszély és a keverési veszteség miatt a szintet csökkenteni kell.

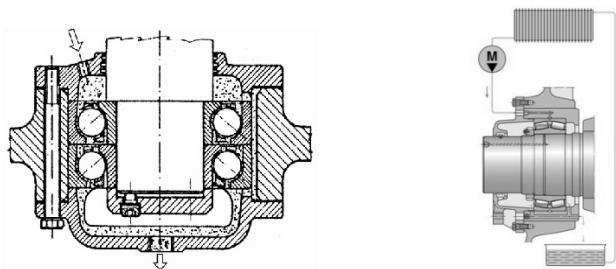


97. ábra. Merülő olajkenés

(Forrás: [21])

Cirkulációs olajkenés

A cirkulációs kenés (98. ábra) vagy a forgó tengelyre rögzített kúpos tárcsa szivattyúhatására épül, vagy pedig külön szivattyú beiktatását igényli. Függetlenes tengelyelrendezéseknél is alkalmazható. Az időegység alatt áramoltatott olaj mennyisége a kívánt hűtőhatástól is függ. Aszimmetrikus kialakítású csapágyaknál (egysorú ferde hatásvonalú golyós és kúpgörgős csapágyak) helyes, ha az olajbelépés a belsőgyűrű kisebb átmérőjénél van, így a csapágy szállíthatása is kihasználható. A kenés mellett az olaj feladata a csapágyban fejlődő hő elvezetése. A legegyszerűbb esetben az olajat szivattyú szállítja a gördülőcsapágy valamelyik homloklapjához, a csapágy másik oldalán az olaj szabadon elfolyhat.

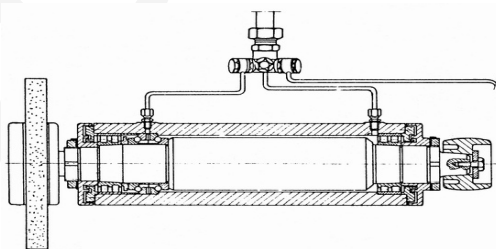


98. ábra. Cirkulációs olajkenés

(Forrás: [21])

Olajköd kenés

Az **olajköd kenéssel** (99. ábra) különösen kedvező hűtési viszonyokat lehet biztosítani több független kenési hely egyidejű ellátására. Nagy fordulátú ágyazások kenésére alkalmas. Lényege, hogy a csapágyhoz porlasztóval előállított olajködöt juttatunk. Az olaj a csapágyon lecsapódik, a levegő a csapágyház tömítésénél eltávozik, hűt és egyben meggátolja a szennyeződések bejutását a csapágyházakba. A levegő túlnyomása a belépés helyén 0,03...1,4 MPa, a levegőigény: 5...10 l . Az olajfogyasztás rendkívül kicsi, csapágytípustól függően minimálisan 0,1...0,4 g/h.

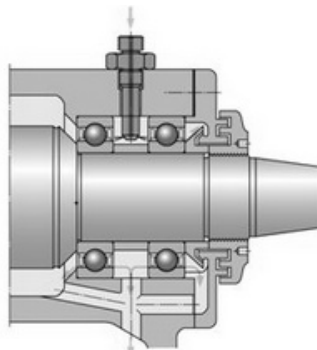


99. ábra. Olajköd kenése

(Forrás: [21])

Olajbefecskendezéses kenés

Az **olajbefecskendezéses kenés** (100. ábra) esetén az olajat egy megfelelően kialakított fúvóka közvetlenül a működő felületek közé juttatja. Előnye – különösen nagyobb fordulatszámokon –, hogy az irányított olajsugárral a csapágyat körülvevő légörvényt biztonságosabban lehet áttörni, a kenés megbízhatóbb, mint a ködkenés esetén.



100. ábra. Olajbefecskendezés

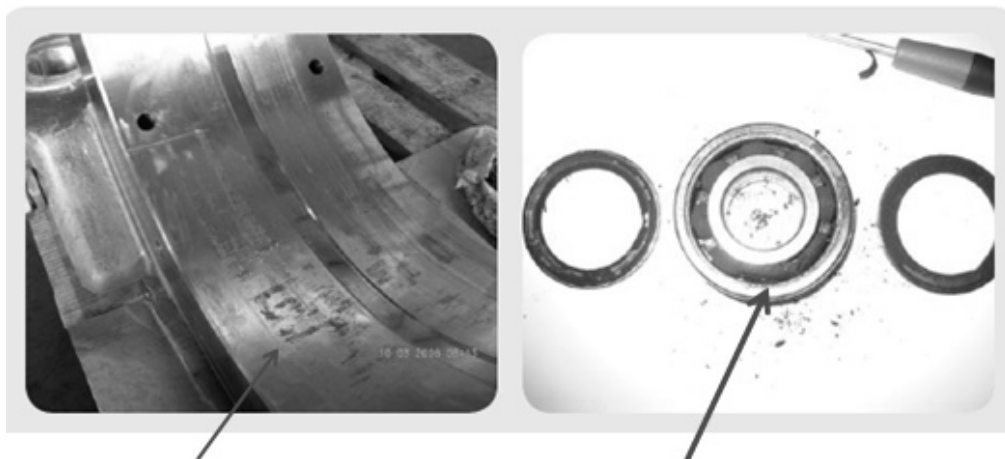
(Forrás: [21])

3.1.3. Kenés szilárd kenőanyaggal

Szilárd kenőanyagot szélsőséges üzemi körülmények (kis fordulatszám, nagy terhelés, nagy hőmérséklet) esetén alkalmaznak, amikor sem a zsírkenés, sem az olajkenés feltételei nem adóttak. A leggyakrabban használt szilárd kenőanyagok a **grafit**, a **molibdén-diszulfid** és a **PTFE** (polite- trafluor-etilén). A por alakú száraz kenőanyagot mechanikus vagy galvanikus úton viszik fel a gördülőpályákra. A rétegvastagság kb. 1 μm . A grafit 500 °C-ig, a molibdén-diszulfid kb. 350-450 °C, a PTFE 260 °C hőmérsékletéig alkalmazható. A grafit vákuumban hatástalan, a MoS_2 azonban vákuumban sem bomlik meg 1150 °C-ig. A szilárd kenőanyagokat elsősorban kenőolajhoz vagy zsírhoz keverve használják. Megjelenési formái: a szuszpenzió, a paszta és a kenőzsírba ágyazás. A szuszpenzió az olaj és a kolloid méretű száraz kenőanyagpor keveréke. A száraz kenőanyag mennyisége kevesebb, mint 5%. A paszta kenőolajból, több mint 50% száraz kenőanyagporból és megfelelő sűrítőből áll. Kenőzsírba ágyazás során a zsírhoz legfeljebb 3% száraz kenőanyagport adnak. [15]

Néhány szemléletes példa a csapágyak tönkremenetelére:

- hibás zsírválasztás miatt tönkrement csapágyak 101. ábra



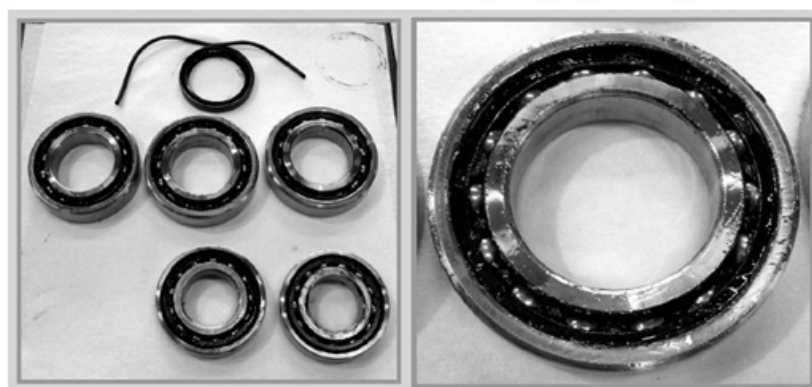
Kenőanyaghiány, elégtelen kenés

Magas hőmérséklet következtében tönkrement zsír- a csapágy 48 óra alatt meghibásodott. Látható a megkeményedett és megfeketedett zsír és a tönkrement kosár

101. ábra. Hibás zsírválasztás

(Forrás: [26])

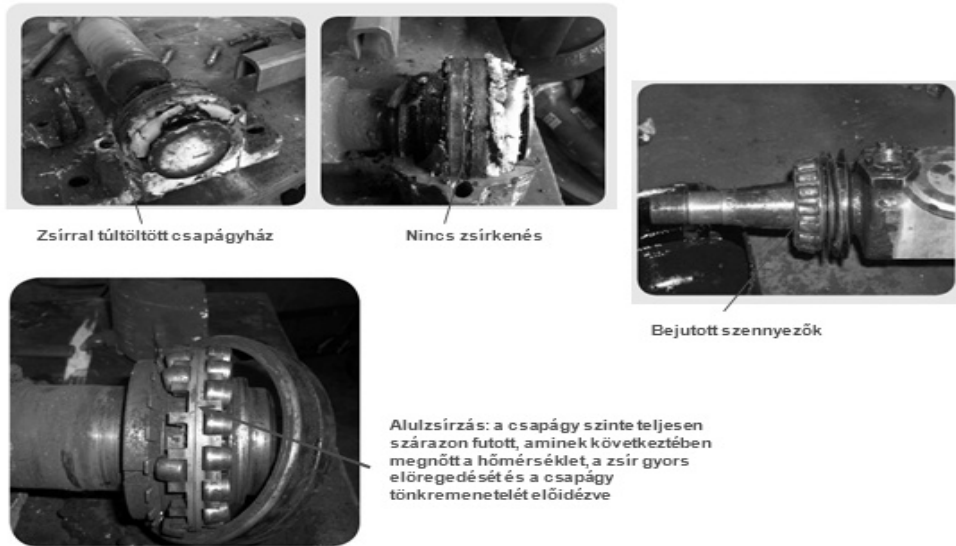
- hidraulika folyadék kimosta a kenőanyagot a csapágyból 102. ábra



102. ábra. Hidraulika olaj kimosta a kenőanyagot a csapágyból

(Forrás: [26])

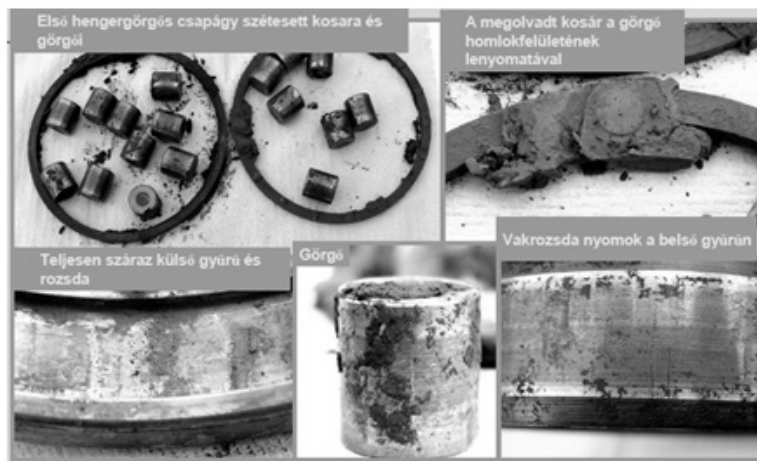
- alulkenés miatt jelentkező hibák 103. ábra



103. ábra. Alulkenés hatása

(Forrás: [26])

- kenési hibából kialakult kosártörés 104. ábra



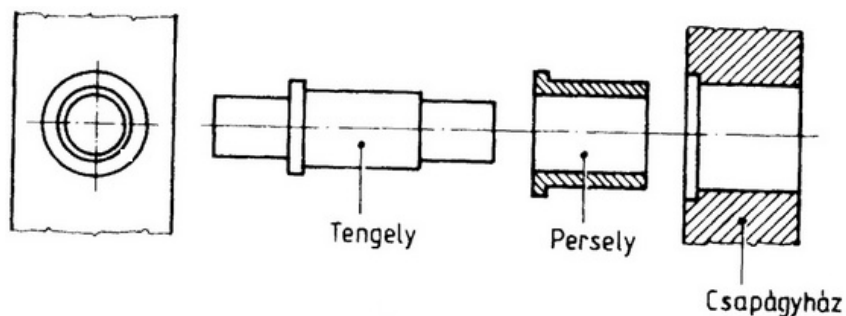
104. ábra. Kosártörés kenési hibából

(Forrás: [26])

3.2. Siklócsapágyak

A **siklócsapágy** vagy **csúszócsapágy** a csapágyak egyik fő típusa, melyeknél a tengely és a csapágy felülete csúszik egymáson, illetve megfelelő feltételek esetén a köztük kialakuló vékony olaj- vagy zsírrétegen. A siklócsapágyak feladata (105. ábra) a tengely alátámasztása, megtámasztása, rögzítése. A siklócsapágyban a tengelycsap

megfelelő illesztéssel készül, kisebb, mint a persely furata. Amikor a tengely nem forog, a csap a persellyel közvetlenül érintkezik, kiszorítja a kenőanyagot. Ezt nevezzük fémes súrlódási állapotnak. A tengely megindulásakor a kenőanyagot kezdi besodorni a csap és a persely közti részbe. Ezt vegyes súrlódási állapotnak nevezik. Ebben a kezdeti szakaszban a tengely és a persely nem központos helyzetű. Amikor a tengely megfelelő sebességgel forog, az olajnak akkora a nyomása a két felület között, hogy létrejön a teljes olaj filmréteg. Ezt nevezik folyadéksúrlódási állapotnak. Ekkor a tengely középpontosan forog [15, 18, 21].



105. ábra: Siklócsapágy

(Forrás: [21])

A siklócsapágyak legfontosabb előnyeik a gördülőcsapágyakkal szemben:

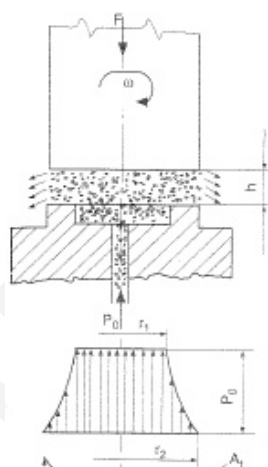
- egyes területeken olcsóbbak,
- csendesebbek,
- jól csillapítanak,
- teherbírásuk nagyobb lehet,
- magasabb fordulatszámon is üzemeltethetők,
- nagy méretben és osztott kivitelben is készülhetnek,
- egyes típusaik kenés nélkül is működtethetők,
- különleges környezeti körülmények között is használhatók stb

Ugyanakkor hátrányosabbak lehetnek, mert:

- nagyobb a súrlódásuk,
- érzékenyek a kenéskimaradásra,
- készen kapható elemeik sok területen nem használhatók,
- a radiális és az axiális terhelés felvételére áltatában külön csapágy szükséges,
- kopnak, ezért viselkedésük az üzemelés során változik,
- nem feszíthetők elő.

A siklócsapágyak akkor működnek hatékonyan, ha elemeik anyagát és szerkezeti kialakítását a követelményeknek megfelelően nagy gondossággal választják ki. Az egyik elem (pl. a tengelycsap vagy a támasztó tárcsa) rendszerint acélból vagy öntöttvasból, a másik elem (pl. a persely, a csapágygyűrű) csapágyfémről, öntöttvasból vagy valamilyen nemfémes szerkezeti anyagból készül. A siklócsapágyak a legkülönbözőbb területeken kerülnek felhasználásra, ezért nagyon sokféle követelményt kell kielégíteniük. E követelmények kielégítésében fontos szerepet játszik csapágyanyag kiválasztása. A siklócsapágyak alapvető rendszerezése a súrlódási viszonyok alapján végezhető el. A Stribeck diagram jellemző működési tartományainak megfelelően két fő csoport jelölhető meg: vegyes, vagy átmeneti súrlódási állapotban működő siklócsapágy, valamint folyadéksúrlódási állapotú siklócsapágy. Ez utóbbi **hidrosztatikus**, illetve **hidrodinamikus (folyadéksúrlódású)** elven működhet. További felosztás lehet a csapágypersely anyaga szerint: a fém és nemfém perselyek sokfélesége alkalmas siklócsapágyak készítésére.

A **hidrosztatikus (külső erők)** csapágyaknál a kenőanyag nyomását szivattyú hozza létre, mégpedig a kenőanyag a csapágyba jutása előtt, vagyis a hidrosztatikus csapágy összes teljesítményszükséglete (P_0) a szivattyúteljesítményből (P_{sz}) és a csapágy súrlódás legyőzéséhez szükséges teljesítményből (P_s) tevődik össze, így a $P_0 = P_{sz} + P_s$. A 106. ábra hidrosztatikus talpacsapágy működését mutatja.



F = terhelő erő

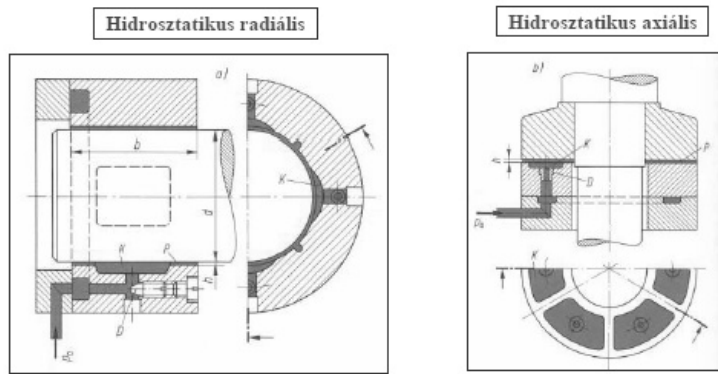
p_0 = szivattyúnyomás

h = kenőfilmvastagság

ω = forgás szögsebessége.

106. ábra. Talpacsapágy működési elve

(Forrás: [15])



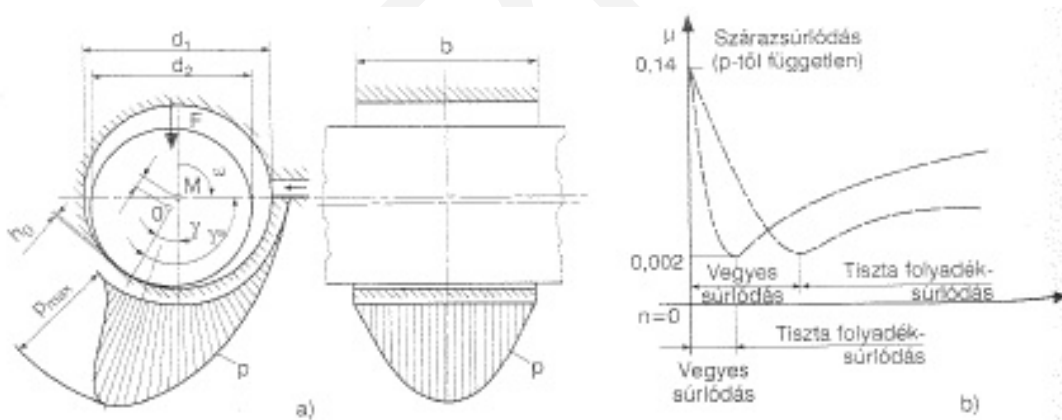
107. ábra. Hidrosztatikus csapágy kialakítások

(Forrás: [21])

A **hidrodinamikus** folyadéksúrlódás kialakulásának sok feltétele közül négy alapvetőnek mindenképpen teljesülnie kell:

- elegendő sebességkülönbség a csap és persely között (dinamika a rendszerben),
- viszkózus kenőanyag (akár légnemű is lehet),
- mozgás irányába szűkülő rés,
- kenőanyag tapadása a felületekhez.

Hidrodinamikus folyadéksúrlódási állapotot elsősorban sík, henger vagy gömb síkló- felületek között valósítunk meg. (108. ábra)



108. ábra. a) Nyomáseloszlás hidrodinamikai csapágyaknál; b) Stribeck-féle diagram

(Forrás: [15])

A síklócsapágyakban kialakuló kenésállapot a fordulatszám függvénye, melyet a 109. ábra mutatja. A csap középpontja a fordulatszám függvényében vándorol.



Nyugalmi állapot,
szilárdtest érintkezés

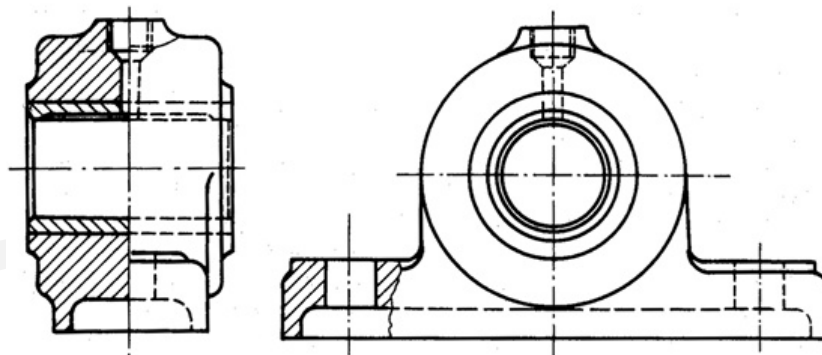
Kis fordulatszám,
határ- vagy vegyes-
kenés állapot

Nagy fordulatszám,
hidrodinamikai,
vagy elasztohidrodinamikai
kenésállapot

109. ábra. A siklócsapágyakban kialakuló kenésállapot a fordulatszám függvényébe

(Forrás: [11])

A tengelyvégre szerelhető radiális csapágy rendszerint osztatlan kivitelben készül (110. ábra), a közbenső csaphoz csatlakozó csapágyat osztani kell. A csapágyak kialakítását jelentős mértékben meghatározza a kenés módja. Az önálló csapágházba épített siklócsapágyak kialakítása veszteséges kenés (pl. szakaszos kenés, csepegtető olajozás, filcpárnás kenés) esetén a legegyszerűbb, mert ott csak a kenőanyag bevezetéséhez és elosztásához szükséges furatokat és hornyokat kialakítani. A kenéshez szükséges olajat kis fordulatszámú tengelyek esetén laza kenőgyűrű (111. ábra), nagyobb fordulatszámokon a tengelyre szerelt merev kenőgyűrű hordja fel a csapágyperselyhez, a házban kialakított olajtérből.

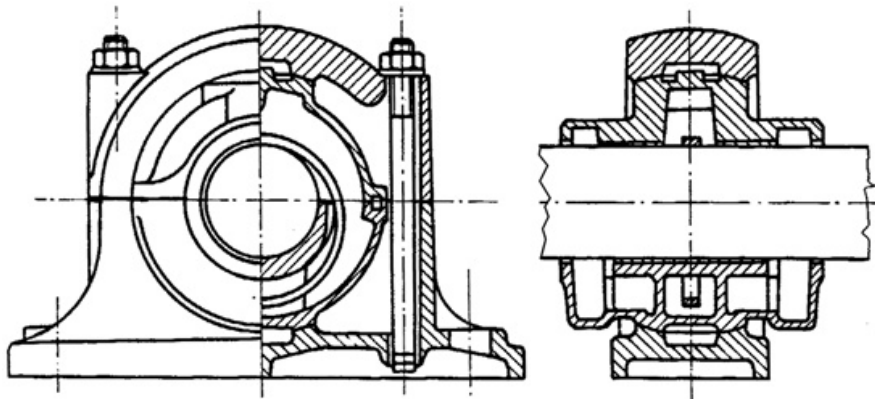


110. ábra. Egyszerű nem osztott csapágy

(Forrás: [31])

3.2.1. A siklócsapágyak kenőanyagai

A kenőolajfilm létrehozásához megfelelő minőségű kenőanyagra van szükség. A kenőanyagok eredetük szerint ásványi, növényi vagy állati eredetűek, konzisztenciájuk szerint pedig kenőolajok és kenőzsírok lehetnek.



111. ábra. Laza kenőgyűrűs, osztott siklócsapágy

(Forrás: [31])

A gépiparban alkalmazott kenőolajok nagy része ásványi eredetű, amelyek a kőolaj atmoszférikus desztillációja után visszamaradó termékből, vákuum desztillációval nyerhetők. A desztilláció során nyert, javarészt már aszfaltmentesített olajpárlatokat közvetlenül, vagy parafintalanítás után még finomítani kell. Az alapolaj legfontosabb jellemzői, a sűrűség, a víztartalom, a hamutartalom, a dermedés- és a lobbaspont, az oxidációs stabilitás, a kokszképződési hajlam, a savasság, a korróziós tulajdonságok és a viszkozitás. A csapágy méretezés szempontjából a legfontosabb tulajdonság az olaj viszkozitása. A kenőolajok viszkozitása a hőmérséklet függvényében változik. Ezért a viszkozitás egy hőfokon való ismerete önmagában nem elegendő az olaj kiválasztásához. Az olajnak ugyanis széles hőmérsékleti tartományban kell kielégítenie a vele szemben támasztott igényeket.

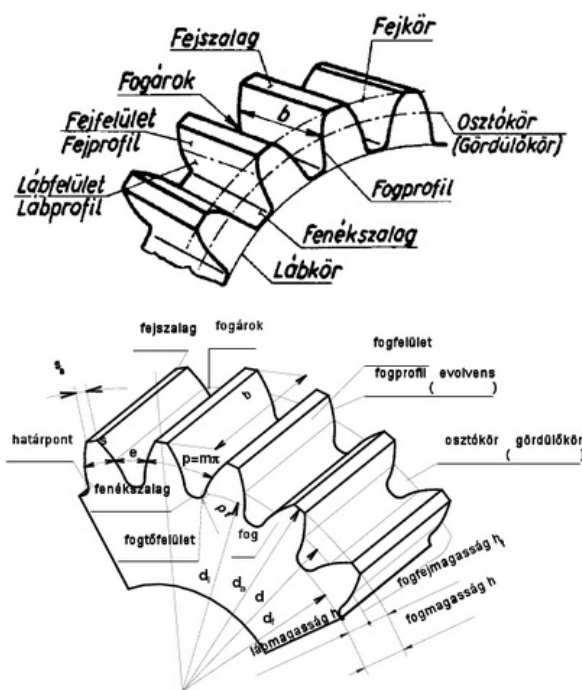
3.2.2. Siklócsapágy kenési rendszerek

A csapágyazások tervezése során gondoskodni kell kenőanyag bevezetéséről, elosztásáról, elvezetéséről, esetenként tisztításáról és hűtéséről is. A kenőanyag bevezetése lehet egyszeri, időszakos és folyamatos. Az időszakos kenőanyag bevezetést alárendeltebb helyeken, valamint zsírkenésű csapágyaknál alkalmazzák. A szobahőmérsékleten szilárd kenőzsírok időszakos pótlása zsírzó szelencével, vagy zsírzó présel történhet. Nagyon fontos követelmény azonban az előírt kenési időközök pontos betartása. A siklócsapágyak többsége folyamatos

kenőanyag ellátást igényel. A folyadéksúrlódási állapot egyik alapfeltétele ugyanis az állandóan megújuló kenőfilm. Ezt csak folyamatos kenőanyag bevezetéssel lehet biztosítani.

3.3. Fogaskerekek kenése

A kenés a fogaskerekek esetében - más gépelemekhez hasonlóan - a működési feltételek javításában és a károsodások megelőzésében játszik szerepet. A kenőanyag és a kenési rendszer megválasztása ugyanolyan fontos, mint az anyagválasztás, a hőkezelés vagy bármelyik másik tervezési szempont. A fogaskerekek esetében a legfontosabb követelmény, hogy az előírásoknak megfelelően működjenek, a tervezett élettartamon belül ne szenvedjenek semmiféle károsodást [15;18]. Ehhez ismernünk kell a fogaskerekek jellegzetes károsodási formáit, amelyek, túlterhelés következményeként kialakuló károsodások (törés, képlékeny deformáció stb.), fogtőkifáradás, fogfelület-kifáradás, kopás, berágódás. A fogaskerekek tönkremenetelében meghatározó szerepet játszanak a kenéstől függő károsodások a felületi kifáradás, a kopás, a berágódás. (112. ábra)



112. ábra. A fogaskerekek jellemző részei

(Forrás: [31])

A fogaskerekek elméletileg pontban vagy vonal mentén érintkező felületekkel rendelkező gépelemek, melyekre - a gördülőcsapágyakhoz hasonlóan - alkalmazható az elasztohidrodinamikai (EHD) kenés elmélete.

3.3.1. A fogaskerekek kenőanyagai és kenési módjai

A fogaskerekek kenésére általában kenőolajat, kenőzsírt, ritkán szilárd kenőanyagot használnak. A kenőanyag kiválasztásakor először azt célszerű megítélni, hogy alkalmazható-e kenőolaj, ugyanis az **olajkenés** előnye többek között az, hogy a kenés mellett a hűtés, a hőelvezetés és más gépelemek kenését is elvégzi. **Zsírkenésre** akkor lehet szükség, ha az olajkenésnek akadálya van, pl. nyitott hajtóművek esetén vagy olyan zárt fogaskerékhajtásoknál, amelyeknél a rövid időtartamú, szakaszos üzemelés miatt komoly hőterhelés nem várható. Célszerű alkalmazni zsírkenést lassan forgó ($v=4$ m/s) fogaskerékhajtásoknál. **Szilárd kenőanyagot** olyan esetekben alkalmaznak, amikor sem az olajkenés, sem a zsírkenés nem jöhet szóba. Ennek oka lehet valamilyen extrém üzemelési körülmény (nagyon nagy vagy nagyon kicsi hőmérséklet, környezeti szennyezés veszélye, vegyi anyagok jelenléte stb.), egészségügyi, higiéniai követelmény (élelmiszeripar, gyógyászat) stb. A legtöbb fogaskerekes-hajtómű **olajkenésű**.

Kenési módok

A **kenőolaj** fogfelületek közé juttatása történhet, kézi kenéssel, csepegtetéssel, merülő kenéssel, olaj sugárral, illetve olajködkenéssel.

Kézi kenést igénytelen alkalmazásoknál, nyitott hajtóműveknél lehet használni. Olcsó megoldás, de szennyezi a környezetet.

Csepegtető kenés során az olaj a gravitáció révén szabályozható mennyiségben jut a fogfelületekre. Kevésbé igényes alkalmazásokhoz olcsó megoldás.

Merülő kenés esetén a hajtópár egyik tagja olajfürdőbe merül, és felhordja a kenőanyagot a kapcsolódásba. Az olaj szórása révén más gépelemek kenése is megoldható.

Befecskendező kenés kiépített vezetékrendszerben folyamatosan keringtetett és a kapcsolódó fogfelületek közé befecskendezett kenőanyaggal valósítható meg. Jó hűtőhatás érvényesül- Egyidejűleg más gépelemek kenésére is igényes megoldás.

Olajködkenés során egy fúvókán keresztül nagy sebességgel olaj-levegő keveréket fújnak a fogfelületekre. Nagy sebességű hajtásoknál alkalmazzák Nagy sebességű hajtásoknál alkalmazzák.

Zsírkenés

Zárt hajtóművekben működő fogaskerekek zsírkenésére a DIN 51 826 szabvány szerinti G jelű kenőzsírok, nyitott hajtóműház esetén OG típusú kenőzsírok alkalmazása ajánlott. Fogaskerekek kenésére az **NLGI 3** és az ennél magasabb konzisztenciafokozatú kenőzsírok nem használatosak. Az **NLGI 1** és **NLGI 2** jelű zsírok jól tapadnak, ezért a kis sebességű, nyitott fogaskerék-hajtóműveknél alkalmazhatók. Az **NLGI 0** jelzésű zsírokat főleg a kis sebességű (az osztóköri kerületi sebesség: < 3 m/s) mérsékelt és nagy terhelésű fogaskerekeknél alkalmazzák. A ház megfelelő kialakításával (pl. terelőlemezekkel) gondoskodni kell arról, hogy a kenőzsír megmaradjon az érintkezési zónában. Az **NLGI 0** zsírok használhatók nyitott fogaskerék-hajtóművekhez is, amennyiben tapadókéességük megfelel az adott alkalmazáshoz. Az **NLGI 00** konzisztenciájú zsírok a mérsékelt sebességű (az osztóköri kerületi sebesség: kb. 4 m/s) és kis vagy mérsékelt terhelésű fogaskerekek számára alkalmasak, azzal a megkötéssel, hogy a ház tervezése során gondoskodni kell a kenőanyag érintkezési zónába vezetéséről. A legalacsonyabb konzisztenciájú **NLGI 000** zsírt a viszonylag nagy sebességű (az osztóköri kerületi sebesség: kb. 7 m/s), kisterhelésű, zárt fogaskerék-hajtásoknál alkalmazzák. A kenőanyag érintkezési zónába áramoltatásáról a ház megfelelő kialakításával ebben az esetben is gondoskodni kell. A kenőzsírt a fogfelületek közé merülő kenéssel, kézi vagy gépi adagolással lehet bejuttatni [15, 18].

Kenés szilárd kenőanyaggal

A fogaskerekek kenésére leginkább alkalmazott szilárd kenőanyag a **molibdén-diszulfid** (MoS_2), amit paszta formájában dörzsöléssel vagy lakkréteggént viszik fel a fogfelületekre, de elterjedten használják a poli-tetra-flur-etilénként (**PTFE**), valamint a foszfátot.

4. KENÉSGAZDÁLKODÁS

A korszerű üzemfenntartás megteremtésének egyik előfeltétele a kenésgazdálkodás és annak gyakorlati alkalmazása. A kettő egységes rendszert alkot, amely a gazdasági és műszaki követelmények alapján alakítható ki. [13;14]

Az üzemi kenésgazdálkodás a termelés jellegétől, folyamatától, a géppark típusától, korszerűségétől függ. Időben változik és rugalmasan kapcsolódik a műszaki, illetve termelési követelményekhez.

4.1. A feltételrendszer kialakítása

Az üzemi kenésgazdálkodás végigkíséri a kenőanyag útját az üzemben – a beszerzéstől a fáradt olaj gyűjtéséig – és minden szakaszában keresi a leggazdaságosabb optimális műszaki megoldást. Ebből kiindulva meghatározhatók a kenésgazdálkodás feladatai, amelyeket rugalmasan kell integrálni az üzemfenntartási, karbantartási rendszerbe.

Az üzemfenntartási rendszer megteremtésének előfeltételei:

- karbantartásra alkalmas konstrukció,
- tipizált géppark,
- állóeszköz beszerzés műszaki előkészítése,
- a gépparkhoz alkalmas és a termeléshez igazodó diagnosztikai rendszerek és módszerek kialakítása,
- a termelési folyamatra épített kenésgazdálkodási rendszer létrehozása,
- a karbantartás végrehajtásához szükséges személyi és tárgyi feltételek megteremtése.

Miután alaposan tájékozódnak a meglévő gépekről, darabszámaikról, majd ezek birtokában az alábbi **feltételrendszert határozzák meg**, a következő kérdések, teendők figyelembe vételével:

- Mit kell elvégezni?
- Kinek?
- Milyen eszközökkel? (Hol? Mivel?)
- Milyen ütemezés mellett? (Mikor?)
- Milyen technológiával? (Hogyan?)
- Biztonságtechnikai előírások ismerete, teendői.
- Környezetvédelem előírásai, feladatai (pl. fáradt olaj gyűjtés).

A kenésgazdálkodási feladatok megoldása a következő **részproblémákat** veti fel:

- a legalkalmasabb kenőanyag kiválasztása,
- a kenési időköz meghatározása,

- a kenési ütemterv és a gép működési ütemtervének összehangolása,
- a határidők betartása, annak biztosítása, hogy az előírtakból semmi sem marad el,
- a feladatok gazdaságos lebonyolítása,
- a feladatok időben egyenletes elosztása,
- a gazdaságos kenőanyag – készletezés,
- a kenőanyag-beszerezés és – készletezés összehangolása,
- az elhasználdott kenőanyag elszállítása,
- a felelősségi körök előírása.

4.2. A kenőanyag kiválasztás irányelvei:

A kenőanyagok kiválasztásánál mindig a gépgyártói ajánlatból kell kiindulni. Ha nincs gyári ajánlat vagy az előírásban bármi is gyanús, akkor a kenési hely elemzése alapján választják ki a szükséges kenőanyagot.

A kenőanyag kiválasztása történhet:

- általános elvek alapján (előkiválasztás)
- konkrét módszerrel (végső kiválasztás)

A kenőanyagok kiválasztásának általános alapelvei:

- **A kenési cél meghatározása**
- **A kenési hely elemzése:**
 - a gépelem, aggregát, gép, gyártósor, stb.
 - anyagpárosítás (anyag, geometria, felületi érdesség stb.)
 - terhelési viszonyok (hőmérséklet, sebesség, stb.)
 - mikro környezet (levegő, agresszív gáz, porszennyeződés stb.)
- **A kenőanyag elemzése:**
 - viszkozitás szerint
 - teljesítmény szerint
 - alkalmazástechnikai jellemzők szerint
 - egyéb anyagi jellemzők és tulajdonságok szerint.

4.3. Kenőanyag-beszerezés, minőségi átvétel, raktározás

Ezen feladatokat a megbízott illetékes személyek végzik, a kenéstechnikai felelős előírásai szerint. A raktározásra nagyobb tételeknél hordós, kisebb mennyiségnél kannás vagy dobozos tárolást kell alkalmazni.

4.4. Kivételezés, szétosztás, fáradt olaj gyűjtése

Ezeknek szintén illeszkedni kell az üzemeltetési és üzemfenntartási folyamathoz, s lényeges a korrekt és pontos, naprakész regisztrálása.

4.5. Üzemi kenési feladatok ellátása, környezetvédelem

Ezek lényegében a kenési feladatok technológiai végrehajtását jelentik, vagyis azt, hogy hol és milyen eszközökkel, milyen ütemezés mellett és milyen technológiával végzik el, a kenéstechnológiai előírásokat.

Lényeges tennivaló a kenéstechnikán belül az állandó kapcsolattartás és fejlesztés, (a kenőanyag gyártókkal és forgalmazókkal, a gyártóművekkel, a fejlesztő és tanintézetekkel, szakkönyvekkel és szakfolyóiratokkal, stb.) vagyis a teljes rendszer kézbentartása, s állandó rugalmas korszerűsítése.

A társadalmi és gazdasági életben – így a kenéstechnikában is – egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a **környezetvédelemmel** kapcsolatos kérdések.

E téren elsősorban az alábbi szempontokra kell ügyelni:

- A kenőanyagok manipulálása (szállítás, raktározás, kivételezés, feltöltés, csere) közben a kenőanyag ne szennyeződjön és még kis mennyiségben sem kerüljön a környezetbe! (Ez egyébként műszaki és gazdaságossági szempontból is lényeges.)
- A gépeket úgy kell ápolni és karbantartani, hogy azokon üzem- és kenőanyag csepegés, vagy szivárgás sem üzemelés, sem tárolás közben ne forduljon elő.
- Szervezetten gondoskodni kell a fáradt olaj és egyéb elhasznált kenőanyagok összegyűjtéséről, szakszerű tárolásáról és megsemmisítési vagy hasznosítási helyre való juttatásáról. Ugyanez vonatkozik a tisztító, mosó folyadékokra és az olajos, zsíros törlő rongyokra is.

Mindezen ismereteknek a felhasználásával nagymértékben egyszerűsíthető az üzemi kenéstechnika végrehajtása, csökkenthető az üzemfenntartási költség, s vele párhuzamosan növelhető a gépkihasználás, illetve az üzem- és termelésbiztonság, valamint az élővilág védelme.

Az idényjelleggel dolgozó gépekhez olyan kenőanyagokat célszerű választani, amelyekkel a munka megkezdése előtt a gép kenési helyei feltölthetők és az idény után a teljes mértékben kihasznált kenőanyagok lecserélhetők.

A választék racionalizálásának módszere az, hogy a termelés jellege és az üzemfenntartási rendszer alapján az azonos viszkozitású olajok közül az optimálisat hagyjuk a választékban (amelyik minden vagy a legtöbb helyre jó).

Kapcsolt géprendszereknél, (pl. ahol közös hidraulikus kör üzemel), vigyázzunk, hogy mindkét gépbe azonos viszkozitású és teljesítményszintű olaj kerüljön. Ha a gépkönyvi előírás a traktorhidraulika-körbe pl. HLP, a hozzá kapcsolható munkagépekbe pedig HL teljesítményszintű olajat ír elő, a munkagép hidraulikus rendszerébe is magasabb, HLP teljesítményszintű olajat kell tölteni.

4.6. A kenéstechnikai dokumentáció

A kenési dokumentáció három fő dolgot tartalmaz:

- a kenési útbaigazítót,
- a műszaki adatokat,
- az ábrás egyedi gép kenési előírást.

Kenési útbaigazító

Minden információt rögzít a gépek kenéséről, amelyek szükségesek a biztonságos kenés megvalósításához. A gépgyártó készíti el. A kenési útbaigazító része a gépkezelési utasításnak.

A **kenési hely** és a **beavatkozási hely** fogalmakat pontosan kell értelmezni.

- **Kenési hely** az, ahova kézzel, vagy mechanikusan a kenőanyagot odavezetjük, bevezetjük, vagy – öntjük.
- **Beavatkozási hely** a kenőberendezés minden olyan külső helye, amelyen keresztül a rendszere működésbiztonsága érdekében beavatkozás lehetséges. Pl. olajállapot ellenőrzése, szűrőtisztítás, ill. csere, nyomásellenőrzés, vagy további tevékenység.

Utánkenésnél és utántöltésnél a beavatkozási hely és a kenési hely azonos.

A kenési útbaigazító magában foglalja azokat a műszaki adatokat, amelyeket az **ábrás egyedi gépkenési előírás** is tartalmaz.

Ezek a következők:

- a gépre vonatkozó adatok,
- a gép, pl. a szerszámgép kenendő részei, (a kenési helyek)
- minden beavatkozási pont pontos helye,

- a beavatkozás menete (ellenőrzés, utántöltés, tisztítás, kenőanyagcsere, beállítás, stb.),
- a kenőanyagok minőségét jelző számok,
- a töltetek,
- a gépüzemórákban (vagy más teljesítmény egységben) megadott időintervallum, amikor valamilyen beavatkozás szükséges,
- a „jó” vagy „rossz” állapotra utaló jellemző(k) határértékét.

Az egyedi gépkenési előírás minden kenőanyaggal, gyakorlati kenéstechnikával, karbantartással foglalkozó szakember alapidokumentációja.

Az egyedi ábrás gépkenési előírásra mutat példát az 6. ábra. A gépkenési előírás feleljen meg a DIN 30 600 szabvány előírásoknak.

Ahhoz, hogy az előírt beavatkozások szakszerűen, tévedés mentesen legyenek elvégezhetőek; a gépeken a beavatkozási hely közelébe kell elhelyezni az **azonosító adattáblát**.

Azonosító adattábla

Az egyedi beavatkozási helyek közelében kell elhelyezni a beavatkozási adattáblát, nehogy egy másik beavatkozási hellyel összecsereéljék. **A tábla** csak az **aktuális kenéstechnikai feladatokat, információkat tartalmazza**. A feliratokat az egyedi gépkenési adatlapról kell elkészíteni.

4.7. Kenőanyagcsere

A kenőanyag csereidőt a gépgyártók üzemidőben adják meg. Ezen adat alapján tudja az üzemeltető a hozzávetőleges kenőanyag csereidőt rögzíteni (pl. műszakonként, naponta, hetente, havonta és így tovább), amely a gép üzemeltetőjének is különösképpen megfelel. A kenőanyag ápolása üzemi végrehajtási szinten beintegrálódik az alkalmazott üzemfenntartási rendszerbe.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] SZABÓ József Zoltán - A károsodások, a tönkremenetel okai, jellegzetes rongálódási, kopási folyamatok
<http://www.doksi.hu/get.php?order=DisplayPreview&lid=10728&p=4> 2018.02.15
- [2] SZÁNTÓ J.: Javítástechnológia (Károsodás-elmélet), (2013) www.tankönyvtar.hu
- [3] JENEI I.-LADÁNYI G.: Kenésgazdálkodás, (2013) www.tankönyvtar.hu
- [4] DREYER-GERGYE.: Kopási folyamatok online mérése radionukleációs technika (RNT) segítségével *epa. Magyar Tudomány* • 2012 07 • Mobilitás és környezet
oszk.hu/00600/.../EPA00691_mtud_2012_12_MOBI_071-080.pdf
- [5] gt3.bme.hu/oktatas/letoltes/.../GEAGG2/.../AGG2_tribologia_12t.pdf 2017.11.20
- [6] <https://moly.hu/konyvek/dr-janik-jozsef-gepuzemfenntartas-I-II> 2017.11.20
- [7] SÓLYOMVÁRI Károly: *Járműfenntartás II, Károsodás (1997) BME*, [http://doksi.hu; Károsodás kt72.doc](http://doksi.hu;Károsodás kt72.doc) 2017. 12.18.
- [8] JANIK J. szerk. (2001): *Gépüzemfenntartás I.* Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. ISBN: 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6777 3
- [9] JANIK J. szerk. (2001): *Gépüzemfenntartás II.* Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. ISBN: 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6778 1
- [10] RÁTHY Istvánné - FAZEKAS Lajos – GAVALLÉR József – KUGYELA Péter: *Karbantartás és gépjavítás (2015) Debreceni Egyetem Műszaki Kar* ISBN 978-963-473-905-0
- [11] KISDEÁK Lajos- *Kenéstechnikai alapok*
www.jht.bme.hu/hun/BJ4_ea_kenestechikai_alapok1.pdf 2018.04.12.
- [12] KISDEÁK Lajos -*A kenőanyagok legfontosabb jellemzői és összetételük*
docplayer.hu/21225741-A-kenoanyagok-legfontosabb-jellemzoi-es-osszeteteluk-kisd... 2018.04.04.
- [13] DÚLL S.: *Kenéstechnika az üzemfenntartásban (2006) Segédlet DE. MFK*
- [14] SÓLYOMVÁRI K.: *Karbantartás, javítás III. Kenéstechnika (2003) BME Járműgyártási és javítás Tanszék, Budapest*
- [15] VALASEK I.-TÖRÖS Mihályné : *Tribológia. (2007) Képzőművészeti Kiadó Kft, ISBN 978-963-337-014-8*
- [16] VALASEK I.. *TRIBOLÓGIA 1. A tribológia alapjai (2002) TRIBOTECHNIK Kft, Budapest ISBN 963 00 8688 3*
- [17] VALASEK I.. *TRIBOLÓGIA 2. Kenőanyagok és vizsgálatok (2003) TRIBOTECHNIK Kft, Budapest ISBN 963 00 8686 1*
- [18] VALASEK I.. *TRIBOLÓGIA 3. Gépelemek kenése 3 (2003) TRIBOTECHNIK Kft, Budapest ISBN 963 00 8690 5*

- [19] MOL-LUB Kenőanyag Gyártó, Forgalmazó és Szolgáltató Kft.: Alapismeretek kenőanyagból (Oktatási segédlet) 2002.07.
- [20] SKF Maintenance and Lubrication Products (SKF Karbantartási és kenéstechnikai termékek) 2018.
<http://www.skf.com/binary/21-163650/03000EN.pdf> 2018.02.20
- [21] Csapágycsukások kenése <http://tudasbazis.sulinet.hu>
- [22] KISDEÁK Lajos-A motorolajokkal szembeni követelményeket továbbra is az emissziós célkitűzések határozzák meg. *Nemzeti Közlekedési Napok, Siófok 2013. november 5-7.*
- [23] FAZEKAS L. – KISDEÁK L. – TIBA Zs.: Some questions on the purity of hydraulic machine fluids In: Manufacturing Engineering University of Technology in Kosice 2006/1. p.23-26.
- [24] MOL-LUB Kenőanyag Gyártó, Forgalmazó és Szolgáltató Kft. Kenés szerepe a berendezések megbízhatóságában. GIQ- 2016 FAG Magyarország Ipari Kft, Debrecen
- [25] HBMMK Gépészeti Szakcsoport szervezésében AÉFT továbbképzés, FAZEKAS L. Emelőgépekhez használt korszerű motor- és hajtóműolajok. Debrecen, 2012.10.17.
- [26] HBMMK Gépészeti Szakcsoport szervezésében AÉFT továbbképzés, FAZEKAS L. Az emelőgépekben alkalmazott gépelemek kenésének fontossága, kenőanyagok áttekintése. Csapágycsukások, csuklók, csapszegek kenése, csapágyhibák Debrecen, 2013.03.08.
- [27] Ipari Technológiák-4-Németh Béla Kőolaj feldolgozó technológiák, PTE, 2012
www.physics.ttk.pte.hu/pages/munkatarsak/nemetb/IT-4-Koolaj-feldolgozas-NB.pdf
- [28] RE-CORD Kenőanyagok, <http://www.re-cord.hu/tudastar> 2018.05.02.
- [29] HBMMK Gépészeti Szakcsoport szervezésében AÉFT továbbképzés, FAZEKAS L. Hidraulikus munkafolyadékok. Debrecen, 2012.10.17.
- [30] <http://www.autoszektor.hu/hu/content/> 2018.04.20.
- [31] SZENDRŐ Péter et. al: *Gépelemek* Gödöllő: Mezőgazdasági Kiadó, 2007.-ISBN 978-963-286-645-1