

# ANYAGTUDOMÁNY



## **A projekt keretében elkészült tananyagok:**

Anyagtechnológiák

angol

Anyagtudomány

Áramlástechnikai gépek

CAD tankönyv

angol

CAD/CAM/CAE elektronikus példatár

CAM tankönyv

Méréstechnika

Mérnöki optimalizáció

angol

Végeselem-analízis

Finite Element Methode



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Szent István Egyetem

Gépészmérnöki Kar

# ANYAGTUDOMÁNY

Egyetemi tananyag

Írta:

BAGYINSZKI GYULA

BERECZ TIBOR

DOBRÁNSZKY JÁNOS

KOVÁCS-COSKUN TÜNDE

SZABÓ PÉTER JÁNOS

MÉSZÁROS ISTVÁN

NAGYNÉ HALÁSZ ERZSÉBET

PINKE PÉTER

SZAKÁL ZOLTÁN

VARGA PÉTER



TYPOTEX

2012

COPYRIGHT: © 2012-2017, Dr. Bagyinszki Gyula, Dr. Berecz Tibor, Dobránszky János, Kovács-Coskun Tünde, Dr. Mészáros István, Nagyné Halász Erzsébet, Pinke Péter, Szabó Péter János, Dr. Szakál Zoltán, Varga Péter, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szent István Egyetem, Óbudai Egyetem

LEKTORÁLTA: Dr. Czoboly Ernő

Creative Commons NonCommercial-NoDerivs 3.0 (CC BY-NC-ND 3.0)

A szerző nevének feltüntetése mellett nem kereskedelmi céllal szabadon másolható, terjeszthető, megjelentethető és előadható, de nem módosítható.

ISBN 978-963-279-532-4

KÉSZÜLT: a [Typotex Kiadó](#) gondozásában

FELELŐS VEZETŐ: Votisky Zsuzsa

TÁMOGATÁS:

Készült a TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0029 számú, „KMR Gépészmérnöki Karok informatikai háttérű anyagai és tartalmi kidolgozásai” című projekt keretében.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
www.ujszachenyiterv.gov.hu  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

KULCSSZAVAK:

Anyagtudomány, szerkezeti anyagok, szerszámanyag, fém, nemfémes anyag, polimer, anyagvizsgálat, anyag tulajdonság, szabványos jelölés, anyagkiválasztás, anyagok tulajdonsága, ötvözet, hőkezelés, ragasztás.

ÖSSZEFOGLALÁS:

Az Anyagtudomány c. tananyag keretében megismerkedhet az olvasó a műszaki gyakorlatban alkalmazott anyagok szerkezetével, fémek, ötvözetek kristályosodási folyamatával, szerkezet és tulajdonság összefüggésével, az anyagvizsgálat elméletével, gyakorlatával, a hőkezelés elméleti és gyakorlati alapjaival, a vas-szén ötvözetek csoportosításával, szabványos anyagjelöléssel. Ismertetésre kerül a nemfémes anyagok általános csoportosítása, a polimerek szerkezete, tulajdonságai. A tananyag komplexen ismerteti az anyagjellemzők értelmezését, az anyagok kiválasztásának szempontjait.

## Tartalom

1. Bevezetés az anyagtudomány informatikájába.....	6
2. A szerkezeti és szerszáanyagok rendszerezése .....	55
3. Az anyagkiválasztás szempontrendszere, stratégiái .....	100
4. Makroszerkezet és alaktényezők jelentőségei .....	134
5. Az anyagszerkezet és az anyagtulajdonságok közötti összefüggések .....	168
6. Mechanikai és termikus tulajdonságok definiálása és számszerűsítése .....	178
7. Elektromos, mágneses és akusztikai tulajdonságok .....	196
8. Az anyagvizsgálat alapjai .....	230
9. Fontosabb fémek és ötvözeteik előállítása .....	290
10. Szerkezeti anyagok és csoportosítások .....	322
11. A műszaki életben használt nemfémes anyagok és tulajdonságaik.....	370
12. A hőkezelés elméleti háttere.....	394
13. A ragasztás technológiái, a ragasztási paraméterek értelmezése és számszerűsítése .....	428
14. A polimer feldolgozás technológiái, a polimer technológiai paraméterek értelmezése és számszerűsítése.....	460
15. A fémes szerkezeti anyagok korróziója .....	494
16. A hőállóság és a kopásállóság .....	534
17. Komplex anyagjellemzők értelmezése és felhasználása .....	560
18. Anyagszelekciós diagramok alkalmazása, optimalizálási feladatok .....	592
19. Fémes szerkezeti anyagok szabványos jelölési rendszere .....	626
20. Esettanulmányok.....	648



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 1. Bevezetés az anyagtudomány informatikájába

Szerző: Dr. Bagyinszki Gyula  
([bagyinszki.gyula@bkgk.uni-obuda.hu](mailto:bagyinszki.gyula@bkgk.uni-obuda.hu))

A szerkezeti anyagokkal összefüggő hatalmas mennyiségű és rendkívül szerteágazó ismerethalmazból merítve ez a tananyag – a teljesség igénye nélkül – a műszaki anyagtudomány rendszerező áttekintésére tesz kísérletet, egyfajta általános anyagismereti szemlélet kialakítását megcélózva. Bemutatja a gyakorlatban előforduló szilárd technikai anyagok szerkezetét, választékát, konstrukciós tervezéshez alapot adó tulajdonságait és használat közbeni károsodásállóságát, valamint az ilyen anyagjellemzők mérhetőségét, számszerűsíthetőségét, ellenőrizhetőségét lehetővé tevő főbb vizsgálati módszereket.

Egy-egy termék jóságát nem csak a tervezése (konstrukciós méretezése és anyag kiválasztása) határozza meg, hanem a gyártástechnológiája, ill. annak következményei is. Ezért az anyagismeret mellett fontos a gyártástechnológiák és hatásaik ismerete is, melyek más tananyagokban – többek között ezen tananyaghoz szorosan kapcsolódó Anyagtechnológiák címűben – szerepelnek.

## Tartalom

BEVEZETŐ .....	8
Célkitűzések .....	10
Természettudományi alapok .....	12
MECHANIKAI ÉS HŐTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.....	15
ELEKTROMOSSÁGTANI ÉS MÁGNESSÉGTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.....	17
Szilárd anyagok szerkezeti szintjei.....	21
Szerkezeti anyagok fizikai tulajdonságai .....	26
Anyagkiválasztási szempontok .....	33
Tervezési szempontok .....	35
Anyagadatbázisok.....	38
Szabványügyi szempontok .....	47
Minőségügyi szempontok.....	48
Ökológiai szempontok .....	50



Belső égésű motor

diódalézer

ipari robotok

**BEVEZETŐ: KORSZERŰ ANYAGALKALMAZÁSI PÉLDÁK**

processzormagok

repülés- és űrtechnika

turbina járókerék

**BEVEZETŐ**

A közismert személygépkocsi – mint önálló szerkezet – több részegységből (motor, sebességváltó, kormánymű, futómű, karosszéria stb.) épül fel. Egy-egy ilyen részegység önálló fejlesztési és gyártási feladatot képez, mely egyedileg megtervezett alkatrészekből (a gépkocsi motor esetében forgattyústengely vagy főtengely, hajtórudak, dugattyúk, bütyköstengely vagy vezértengely, szelepek, hengerperselyek, motorház stb.) áll (bal felső **ábra**).

A dióda- (pl. 0,9...1,03  $\mu\text{m}$ -es hullámhosszúságú sugárzást produkáló, közvetlen vagy száloptika csatlósú) lézerben (középső felső **ábra**) szennyezett félvezetők pn-átmeneteiben, elektron-lyuk párok előállításával valósul meg a lézerfény-kibocsátás.

A jobb felső **ábrán** látható humanoid vagy antropomorf (azaz emberutánzó) karrendszerű ipari robotok hat szabadsági fokúak, azaz hat függetlenül vezérelhető hajtásrendszerrel rendelkeznek. A második és harmadik generációs ipari robotok az egyszerűbb és olcsóbb előkészítésből eredő pontatlanságokat szenzorokkal érzékelni is képesek, miáltal kiváltják a vezérlő számítógépiprogram-korrekciót, azaz saját mozgás-meghatározást végeznek.

Míg a 486-os számítógépek processzoraiban „csak” 1,2 millió, addig a „Core2 Extreme” CPU-kban már  $2 \times 291 = 582$  millió, fotolitográfias eljárással Si-lapkákon (bal alsó **ábra**) kialakított tranzisztor van. A processzor mérete nem nagyon növelhető, így a benne lévő tranzisztorok jellemző méretét kellett csökkenteni 0,8  $\mu\text{m}$ -ról 0,065  $\mu\text{m}$ -re („65 nm-es technológia”).

A repülés- és az űrtechnikai (középső alsó **ábra**) ipar fejlesztései, beruházásai során a pénzügyi korlátok tágabbak, ami lehetővé teszi a legjobb anyagok és technológiák (know-how-k) alkalmazását, vagy akár egészen új anyagok kifejlesztését. Sok korszerű, különleges tulajdonságú anyag megjelenését és



kis késéssel a civil életben történő alkalmazhatóságát éppen az űr-, ill. a hadiipari kutatásoknak köszönhetjük.

Az ún. *gradiens* anyagok mikroszerkezete és/vagy összetétele tervezett, minek révén fokozatos változásokat tartalmazó darabok (pl. a jobb alsó **ábrán** látható turbinalapátok és azok hőálló többrétegű bevonata) gyártására alkalmasak, a várható üzemelés helyileg változó igénybevételeinek megfelelően.

## ANYAGTUDOMÁNY

### Célkitűzések:

Az ipar különböző területein alkalmazható **anyagok** (természetes és szintetikus polimerek, fémek és ötvözeteik, keramikus anyagok, kompozitok) felépítésének, fizikai, technológiai és használati **jellemzőinek** rendszerezése.

A szilárd anyagok **szerkezetének**, **tulajdonságainak**, **megmunkálhatóságának** és **károsodásállóságának vizsgálatára**, a vizsgálati eredmények **számszerűsítésére**, az anyagokat feldolgozó technológiai folyamatok minőségirányítására alkalmas fontosabb módszerek, ill. eszközök áttekintése.

Az **anyag kiválasztás szempontrendszerének** és módszertanának összefoglalása.

### Célkitűzések

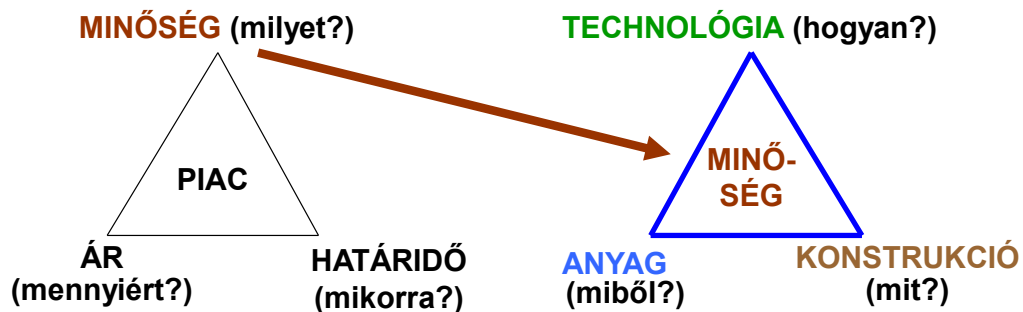
Az anyagtudomány, ill. annak informatikai szempontú megközelítése oktatásának célkitűzései:

Az anyag kiválasztás szempontrendszerének és módszertanának összefoglalása.

Az ipar különböző területein alkalmazható anyagok (természetes és szintetikus polimerek, fémek és ötvözeteik, keramikus anyagok, kompozitok) felépítésének, fizikai-, technológiai- és használati jellemzőinek rendszerezése.

A szilárd anyagok szerkezetének, tulajdonságainak, megmunkálhatóságának és károsodásállóságának vizsgálatára, a vizsgálati eredmények számszerűsítésére, az anyagokat feldolgozó technológiai folyamatok minőségirányítására alkalmas fontosabb módszerek ill. eszközök áttekintése.

## Az ANYAGTUDOMÁNY helye a Gépészmérnök képzésben



A gépészmérnökképzés **műszaki**, informatikai, gazdasági és humán **ismereteinek** legfontosabb részhalmaza:

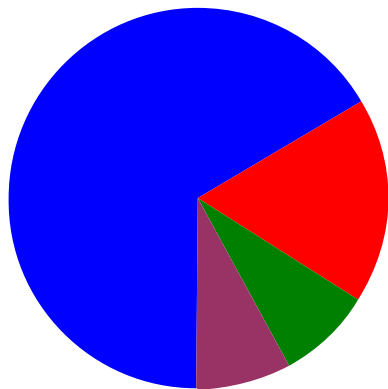
- **Anyagtudomány** + ökológia
- **Gyártástechnológia** + logisztika
- **Műszaki tervezés** + Mechanika

Az előállított szerkezeti és szerszáanyagokból tervezett, bel- és külföldi piacon értékesítésre szánt termékeket készítenek különféle megmunkálási, gyártási folyamatokkal (technológiákkal).

A létrehozott (termék-)minőséget lényegében a felhasznált anyag(ok), a kialakított konstrukció és az alkalmazott technológiá(k) határozzák meg.

Ezek tervezése különféle tantárgyak, ill. tudományágak elsajátított ismeretei birtokában lehetséges.

## Természettudományi alapok



- Fizika
- Kémia
- Biológia
- Matematika

- **FIZIKA** (szilárdtest-fizika, mechanika, hőtan, elektromosság, mágnesség, optika, akusztika);
- **KÉMIA** (általános kémia, szerves kémia, szervetlen kémia);
- **BIOLÓGIA** (sejttan, szövettan, szervtan és alaktan);
- **MATEMATIKA** (algebra, geometria, függvénytan, statisztika).

### Természettudományi alapok

A tananyag tartalma középfokú – főként fizikai és kémiai – előképzettséget és alapvetően olyan szakmai orientáltságot feltételez, amelynél széles körű műszaki-anyagtudományi (háttér) tudásra van szükség. Másképpen fogalmazva: horizontálisan sokirányú, de „ertikálisan nem túlzottan részletekbe menő az ismeretközlés.

Az ábrák jelentős hányada – a tananyag rendszerező jellegéből következően – nem csak szemléltet, hanem leírtakat kiegészít, ill. tömörsége és összefüggés-láttatása révén egyes ismertetőket helyettesít is, azaz információtartalma az ismeretanyag fontos részleteit képezi.

## Előtagok vagy prefixumok, és a nagyságrendek

Az anyagok szerkezetének és tulajdonságainak értelmezése, vizsgálata során előforduló

**fizikai mennyiségek,**  
illetve

**mértékegységeik**  
**nagyságrendbeli különbségeit**

helyesen értékelhetővé, jól összehasonlíthatóvá teszi, ha értékeiket **10-es alapú** (Briggs-féle) **logaritmikus koordinátatengely mentén** ábrázolják.

előtag	jel	tíz hatványa	számérték
Yotta-	Y	$10^{24}$	kvadrillió
Zetta-	Z	$10^{21}$	trilliárd
Eta-	E	$10^{18}$	trillió
Peta-	P	$10^{15}$	billiárd
Tera-	T	$10^{12}$	billió
Giga-	G	$10^9$	milliárd
Mega-	M	$10^6$	millió
kilo-	k	$10^3$	ezer
hekto-	h	$10^2$	száz
deka-	da	$10^1$	tíz
-	-	$10^0 = 1$	egy(ségnyi)
deci-	d	$10^{-1}$	tized
centi	c	$10^{-2}$	század
milli-	m	$10^{-3}$	ezred
mikro-	$\mu$	$10^{-6}$	milliomod
nano-	n	$10^{-9}$	milliárdod
piko-	p	$10^{-12}$	billiomod
femto-	f	$10^{-15}$	billiárdod
atto-	a	$10^{-18}$	trilliomod
zepto-	z	$10^{-21}$	trilliárdod
yokto-	y	$10^{-24}$	kvadrilliomod

Az anyagok szerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata során előforduló fizikai mennyiségek mérések és/vagy számítások eredményei, mérőszám(érték) és mértékegység szorzataként (de a szorzásjel elhagyásával) megadva.

Egy fizikai mennyiség dimenziója annak alapmennyiségek szorzataként való előállítását és nem a mértékegységét jelenti (pl. a sebesség dimenziója csak egyféle:  $L \cdot T^{-1}$ , viszont mértékegysége többféle: m/s, m/min, km/h stb. lehet).

Abból a célból, hogy a rendkívül kicsi vagy túlságosan nagy számokat elkerüljük, a mértékegységek bizonyos (általában a tíz hatványainak megfelelő) többszörösét, ill. tört részét használjuk és előtagokkal vagy prefixumokkal (azok rövidített jeleivel) utalunk rájuk.

A mértékegység prefixuma utal annak valódi nagyságrendjére. Sokszor ugyanis tévesen használják a különbségek érzékeltetésére a „nagyságrendekkel nagyobb” vagy a „nagyságrendekkel kisebb” kifejezést, ami csak akkor helyénvaló, ha (a többes szám miatt) legalább kettő nagyságrendnyi, azaz  $10^2$ -szoros (százszoros) különbségről van szó, ami 10000 %-os eltérést jelent!

Ha nincs legalább egy nagyságrendnyi (azaz 10-szeres) különbségről szó, de „nagyot” akar valaki mondani, akkor %-ban fejezze ki az eltérést (pl. ha valami háromszor nagyobb, akkor az 200 %-kal több).

## Négy legfontosabb SI-alap(mérték)egység (méter, kilogramm, másodperc, Kelvin) anyagi valóságához kötött nagyságrendjei

HOSSZÚSÁG méterben	TÖMEG kilogrammban	IDŐ másodpercben	HŐMÉRSÉKLET Kelvinben
$10^{24}$ Univerzum	$10^{40}$ Univerzum	$10^{15}$ Univerzum kora	szupernovák
$10^{18}$ Androméda-köd táv. Tejútrendszer	$10^{30}$ Tejútrendszer	$10^{10}$ Tejútrendszer forgási periódusideje	$10^7$ Nap magja
$10^{12}$ Naprendszer	$10^{20}$ Nap	$10^5$ egy évezred egy évszázad	$10^6$
$10^6$ Nap	$10^{10}$ Föld Hold óceán	egy év egy nap egy óra	$10^5$
$10^6$ Föld	$10^{10}$ évi meteorhullás repülőg.-anyahajó	1 egy perc szívverés periódusid.	$10^4$ csillagok felszíne tech. plazmasugár
1 hegy	1 5000 karát gyémánt	$10^{-5}$ hallható hangok periódusideje	$10^3$ Nap felszíne elektromos ív vasolvadék
$10^{-6}$ sejt	$10^{-10}$ homokszemcse	$10^{-10}$ rádióhullámok periódusideje	$10^2$ víz forrásban cseppfoly. levegő
$10^{-12}$ baktérium	$10^{-20}$ porlasztott csepp	$10^{-15}$ hőszugárak periódusideje	10 cseppfolyós H <sub>2</sub>
$10^{-18}$ H-atom	$10^{-30}$ vörösvérsejt	$10^{-20}$ látható fényhullám periódusideje	1 Univerzum
atommag	U-atom	röntgensugárzás periódusideje	
elemi részecske	proton		

⇐ hosszúság: 48 nagyságrend ⇒  
⇐ tömeg: 80 nagyságrend ⇒

⇐ idő: 40 nagyságrend ⇒  
⇐ hőmérséklet: 8 nagyságrend ⇒

A táblázat a négy legfontosabb SI-alapegység (méter, kilogramm, másodperc, kelvin) anyagi valóságához kötött nagyságrendjeit érzékelteti.

## MECHANIKAI ÉS HŐTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.

mennyiség megnevezése	mennyiség jele	SI mértékegység	többszörös és törtrész	egyéb mértékegység
hosszúság (távolság, átmérő)	$l$ vagy $L$ (length)	m (méter)	km, dm, cm, mm, $\mu$ m, nm	inch (") = 25,4 mm = 0,0254 m
terület	$S$ vagy $A$ (area) = $l^2$ ; (kör: $d^2 \cdot \pi/4$ )	$m^2$ (négyzetméter)	$km^2$ , $dm^2$ , $cm^2$ , $mm^2$	ha = 10000 $m^2$ $\square$ -öl = 3,6 $m^2$
térfogat (köbtartalom)	$V$ (volume) = $l^3$ ; $A \cdot l$	$m^3$ (köbméter)	$km^3$ , $dm^3$ , $cm^3$ , $mm^3$	liter (l) = $dm^3$ 0,001 $m^3$
tömeg	$m$ (mass)	kg (kilogramm)	g, mg, $\mu$ g	tonna (t) = 1000 kg mázsa (q) = 100 kg
sűrűség	$\rho$ („ró”) = $m/V$	$kg/m^3$	$g/m^3$ ( $g/cm^3$ , $kg/dm^3$ )	$t/m^3$ , $kg/l$ , $g/l$ , $g/ml$ , $g/m^3$
idő	$t$ (time) vagy $\tau$ („tau”)	s (szekundum)	ms	óra (h) = 3600 s perc (min) = 60 s
sebesség	$v$ (velocity) = $l/t$ ; (kerületi: $d \cdot \pi \cdot n$ )	m/s	km/s	km/h = 1/3,6 m/s
gyorsulás	$a$ (acceleration) = $v/t$	$m/s^2$	$km/s^2$ , $cm/s^2$	
gravitációs gyorsulás	$g$ (gravitational acceleration)	9,80665 $m/s^2$ (9,81 $\approx$ 10 $m/s^2$ )		
erő	$F$ (force) = $m \cdot a$	N = $kg \cdot m/s^2$ (Newton)	kN, MN	
súlyerő	$G$ (gravitational force) = $m \cdot g$	N = $kg \cdot m/s^2$ (Newton)	kN, MN	

## MECHANIKAI ÉS HŐTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.

A táblázat a műszaki gyakorlat – így az anyagtudomány – szempontjából fontos mechanikai és hőtani mértékegységeket, illetve azok gyakrabban használatos prefixumos formáit tekinti át.

## MECHANIKAI ÉS HŐTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 2.

mennyiség megnevezése	mennyiség jele	SI mértékegység	többszörös és törtrész	egyéb mértékegység
(forgató) nyomaték	$M$ (moment) = $F \cdot \ell$ ( $\ell$ : erőkar)	Nm	kNm, MNm	
fajsúly	$\gamma$ („gamma”) = $G/V$	N/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	
nyomás	$p$ (pressure) = $F/A$ (hidro.: $\rho \cdot g \cdot h$ )	Pa = N/m <sup>2</sup> (Pascal)	MPa = N/mm <sup>2</sup> , GPa, kPa	bar = 100000 Pa
mechanikai feszültség, szilárdság	$\sigma$ („szigma”) = $F/A$	Pa = N/m <sup>2</sup> (Pascal)	MPa = N/mm <sup>2</sup> , GPa	
munka	$W$ (work) = $F \cdot \ell$ ; (emel.: $m \cdot g \cdot h$ )	J = Nm = Ws (Joule)	kJ, MJ	Wh = 3,6 kJ kWh = 3,6 MJ
energia (munkavégző képesség)	$E$ (energy) = $m \cdot g \cdot h$ ; $m \cdot v^2/2$	J = Nm = Ws (Joule)	kJ, MJ	cal = 4,1868 J
hőmennyiség	$Q$ (quantity of heat) =	J = Nm = Ws (Joule)	mJ, kJ, MJ, GJ, TJ	cal = 4,1868 J
teljesítmény	$P$ (power) = $W/t = F \cdot \ell/t = F \cdot v$	W = J/s (Watt)	$\mu$ W, mW, kW, MW, GW	lóerő (LE) = 735,5 W
hőmérséklet	$T$ (temperature)	K (Kelvin)		Celsius-fok: °C = K
hőmérsékletkülönbség	$\Delta T$	K (Kelvin)		0 °C = 273,15 K
fajhő	$c$ (capacity of heat) = $Q/(m \cdot \Delta T)$	J/(kg·K)		

A táblázat a műszaki gyakorlat - így az anyagtudomány - szempontjából fontos mechanikai és hőtani mértékegységeket, illetve azok gyakrabban használatos prefixumos formáit tekinti át.



## ELEKTROMOSSÁGTANI ÉS MÁGNESÉGTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.

mennyiség megnevezése	mennyiség jele	SI mértékegység	többszörös és törtrész	egyéb mértékegység
elektromos áramerősség	$I$ (intensity)	A (Amper)	kA, mA, $\mu$ A, nA	
elektromos töltés(mennyiség)	$Q = I \cdot t$	$C = As$ (Coulomb)	kC, mC, $\mu$ C	Ah
elektromos áramsűrűség	$i = J = I/A$	$A/m^2$	$kA/m^2$	$A/mm^2, A/cm^2$
elektromos feszültség (potenciálkül.)	$U$	$V = W/A$ (Volt)	MV, kV, mV, $\mu$ V	
elektromos ellenállás	$R$ (resistivity) = $U/I$	$\Omega = V/A$ (Ohm)	T $\Omega$ , G $\Omega$ , M $\Omega$ , k $\Omega$ , m $\Omega$ , $\mu\Omega$	
fajlagos elektromos ellenállás	$\rho$ („ró”) = $R \cdot A/l$	$\Omega m$	G $\Omega m$ , M $\Omega m$ , k $\Omega m$ , m $\Omega m$	$\Omega mm^2/m$
elektromos vezetés	$G = I/U = 1/R$	$S = 1/\Omega = A/V$ (Siemens)	kS, mS, $\mu$ S	
fajl. elektromos vezetőképesség	$\sigma$ („szigma”) = $R \cdot A/l = \gamma$ („gamma”)	$S/m = 1/\Omega m$	MS/m, kS/m	$m/\Omega mm^2$
egyenáram teljesítménye	$P$ (power) = $I \cdot U = I^2 \cdot R = U^2/R$	$W = J/s$ (Watt)	MW, kW, mW	
egyenáram munkája	$W$ (work) = $P \cdot t = I \cdot U \cdot t$	$J = Ws$ (Joule)	kJ, MJ	kWh = 3,6 MJ

## ELEKTROMOSSÁGTANI ÉS MÁGNESÉGTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 1.

A táblázat a műszaki gyakorlat - így az anyagtudomány - szempontjából fontos elektromosságtani és mágnességtani mértékegységeket, illetve azok gyakrabban használatos prefixumos formáit tekinti át.

## ELEKTROMOSSÁGTANI ÉS MÁGNESÉGTANI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK 2.

menyiség megnevezése	menyiség jele	SI mértékegység	többszörös és törtrész	egyéb mértékegység
látszólagos teljesítmény	$S = U \cdot I$	VA (voltamper)	MVA, kVA	
hatásos teljesítmény	$P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	W (Watt)	MW, kW, mW	
meddő teljesítmény	$P = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sin \varphi$	var (voltamperreaktív)	kvar	
váltakozó áram munkája	$W = P \cdot t = I \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot t$	J = Ws (Joule)	kJ, MJ	kWh = 3,6 MJ
frekvencia vagy rezgésszám	$f$ (frekvency) = $1/T$ (T: periódusidő)	Hz = 1/s (Hertz)	THz, GHz, MHz, kHz	
elektromos kapacitás	$C$ (capacity) = $Q/U$	$F = C/V = As/V$ (Farad)	mF, $\mu F$ , nF, pF	
mágneses permeabilitás	$\mu$ („mű”) = $\mu_r \cdot \mu_0$	$\mu_r \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am = H/m	$\mu Hm$ , nHm	
elektromos (ön)induktivitás	$L = \mu \cdot N^2 \cdot A / \ell$	$H = Vs/A = Wb/m$ (Henry)	mH, $\mu H$ , nH, pH	
kapacitív reaktancia	$X_C = 1/(2\pi \cdot f \cdot C)$	$\Omega$ (Ohm)	M $\Omega$ , k $\Omega$ , m $\Omega$	
induktív reaktancia	$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$	$\Omega$ (Ohm)	M $\Omega$ , k $\Omega$ , m $\Omega$	
mágneses indukció vagy fluxussűrűség	$B = \mu_0 \cdot N \cdot I / \ell$	$T = Vs/m^2 = Wb/m^2$ (Tesla)	mT, $\mu T$ , nT	Gs (Gauss) = $10^{-4}$ T
mágneses fluxus	$\Phi$ („fi”) = $B \cdot A$	$Wb = Vs = Tm^2$ (Wéber)	mWb	Mx (Maxwell) = $10^{-8}$ Wb

A táblázat a műszaki gyakorlat - így az anyagtudomány - szempontjából fontos elektromosságtani és mágnességtani mértékegységeket, illetve azok gyakrabban használatos prefixumos formáit tekinti át.



A megfelelőnek ítélt anyaggal, konstrukcióval és technológiával a létrehozott minőség önmagában nem tudja szavatolni a tervezett (termék)élettartamot.

Tekintettel kell lenni az üzemeltetésre is, melynek során különféle elhasználódási, károsodási folyamatok indul(hat)nak meg, befolyásolva az anyagok szerkezetét, ill. tulajdonságait, továbbá a konstrukció alakját, méretét.

Ezen termékminőség- és élettartam-tényezőknek – egyben az anyagtudományi témakörök – kapcsolatrendszerét mutatja az **ábra**.

**Témakörök**

Szilárd anyagok szerkezete és szerkezetvizsgálatai

Szerkezeti anyagok választéka és jellemzői

Szerkezeti anyagok tulajdonságai és tulajdonságvizsgálata

Szerkezeti anyagok megmunkálhatósága és technológiai vizsgálata

Szerkezeti anyagok károsodásállósága és üzemeltetési vizsgálatai

Anyagválasztási szempontok

Anyagtudományi szempontból az anyagok szerkezetének, választékának, fizikai (konstrukciós) tulajdonságainak, megmunkálhatóságának (technológiai tulajdonságainak), valamint károsodásállóságának (üzemeltetési tulajdonságainak) és a kapcsolódó minősítési (vizsgálati) eljárásoknak az fontos. Ezeknek megfelelően – az **ábra** szellemében – a tananyag fő témakörei:

- Szilárd anyagok szerkezete és szerkezetvizsgálatai
- Szerkezeti anyagok választéka és jellemzői
- Szerkezeti anyagok tulajdonságai és tulajdonságvizsgálata
- Szerkezeti anyagok megmunkálhatósága és technológiai vizsgálata
- Szerkezeti anyagok károsodásállósága és üzemeltetési vizsgálatai
- Anyagválasztási szempontok

## Szilárd anyagok szerkezeti szintjei

az egésztől a rész(let)ek felé haladva az anyagfelépítés különböző szintjei:

- makroszkopikus szerkezet:
  - külső makroszerkezet
  - belső makroszerkezet
- mikroszkopikus szerkezet:
  - kvalitatív mikroszerkezet
  - kvantitatív mikroszerkezet
- szubmikroszkopikus szerkezet:
  - kristályrács-szerkezet
  - kristályrácselem-szerkezet
- atomi szerkezet
  - atomi kötés szerkezet
  - atomszerkezet

+ nukleonok (protonok, neutronok), elektronok; elemi részecskék (mezon, hiperon, rezon, neutrínó, müon, ...), antirészecskék (pozitron, antiproton, antineutron, ...); nukleonokat alkotó kvarkok ill. antikvarkok

Szerkezetvizsgálati eszközök ill. módszerek: elektromágneses vagy korpuszkuláris sugárással előállított ill. hordozott információ

## Szilárd anyagok szerkezeti szintjei

A makroszerkezet több vonatkozásban fontos szerkezeti jellemző, hiszen az alapanyagok, ill. a belőlük készült elő- vagy félkész gyártmányok, továbbá a késztermékek piacán a vevő ezt szemrevételezi, ezt tudja közvetlenül értékelni.

A külső makroszerkezet, azaz a geometria (alak, méretek) érzékelhető legnyilvánvalóbban, műszaki szempontokon kívül esztétikailag is értékelhető. Az ilyen elő- vagy félkész gyártmány alakja pl. rúd (kör-, négyszög-, hatszög- stb. keresztmetszetű), drót, huzal, vékony és vastag lemez, szalag, fólia, cső, nyitott profil, zárt szelvény, tömb, formázott öntvény, alakos kovácsdarab lehet. Az anyagok – pontosabban azok valamilyen feldolgozottsági állapotának, esetenként a gyártó/megmunkáló szerkezet geometriájának is megfelelő – keresztmetszeti (szelvény) alakja döntően befolyásolja az anyag kihasználhatóságát, ill. azon keresztül az anyaggal való takarékoskosságot, az (ön)súlycsökkentés lehetőségét. Fontos tervezési kérdés, hogy mennyire valósul meg egy adott gyártmányban a „könnyűszerkezet”-es kialakítás, valamint az ehhez választott alapanyagok és félgyártmányok teherviselő keresztmetszeti szelvényalakjának optimális jellege. Egy anyag szilárság(ian)ilag annál jobban kihasználható, minél alkalmasabb arra, hogy az igénybevétel (pl. hajlítás, csavarás) jellegének leginkább megfelelő szelvényalakokkal lehessen előállítani. Az alak és a méretek mellett a felület, ill. annak állapota is döntően meghatározza a külső makroszerkezetet. A felület az anyag (termék) leg gondosabban megmunkált, gyakran sokféle eljárással befolyásolt része. Az anyagok (termékek) valóságos felületei nem ideálisan simák, hanem kiemelkedések és bemélyedések sorozatából (hullámosság, érdesség) állnak.

Belső makroszerkezet alatt azt értjük, hogy a külső makroszerkezeti geometria által behatárolt térfogatot az anyag milyen folytonossággal (kontinuitással) tölti ki. Célszerű módosítással kialakíthatók

olyan belső makroszerkezetek, amelyek kellően merevvé, de egyben könnyebbé is teszik az anyagokat. Nem csak a mechanikai terhelésekkel szembeni ellenállás fokozása lehet a belső makroszerkezet módosításának célja, hanem a termikus tulajdonságok módosítása is. Például az ún. hőszigetelő anyagok mindegyikének belső makroszerkezete levegő- vagy gáztartalmú pórusokat, üregeket, cellákat tartalmaz, amelyeket az esetek többségében az anyagelőállítás során, szándékosan hoznak létre.

A mikroszerkezetet az anyag-folytonosságot biztosító, egymással összeépült fázisok jelentik. A fázisok jól meghatározható felülettel (fázishatárral) körülvett anyagrészek, amelyekben a fizikai és a kémiai tulajdonságok azonosak. A legtöbb anyagunk heterogén, azaz nem egyetlen fázisból épül fel, hanem két, vagy több fázis "eredőjeként" áll elő.

A mikroszerkezet kvalitatív (minőségi) oldala ezen fázisok alkotta, mikroszkópon megfigyelhető „összkép”, beleértve a fázisok morfológiáját (alaktani jellegzetességeit), egymáshoz képesti eloszlását, arányát, jellemző méreteit.

A mikroszerkezet kvantitatív (mennyiségi) adatai az egyes fázisokra, ill. az azokat alkotó szemcsékre, továbbá mennyiségi, ill. dimenzionális jellemzőikre – vagyis számszerűsíthető adatokra – terjednek ki. Különösen fontos a szemcsék méretének ismerete, ugyanis az anyagok tulajdonságai - főként fémek és kerámiák esetében - szemcseméret-függők.

A szubmikroszkopikus szerkezet az anyag atomjainak, ionjainak, molekuláinak bizonyos fokú rendezettségét mutatja. A kristályos anyagok, ill. a részben kristályos anyagok kristályos tartományai belső rendezettsége azt jelenti, hogy az alkotó részecskék (atomok, ionok, molekulák) vagy közös (általános) elnevezéssel bázisok ún. translációs szimmetriával építik fel a kristályrácsot, ill. a szilárd anyag szemcséit. A kristályrácsszerkezetek ill. kristályrácselemek bázisainak fajtájától (atom, ion, molekula) függően beszélhetünk atomrácsról, fémrácsról, ionrácsról, avagy molekularácsról.

Az egymással kötésben lévő atomok nem "tömör golyók", anyaguk zömét az atommag képezi, körülötte található a viszonylag kistömegű elektronok. Egy test anyaga atommagok alakjában, egymástól meghatározott távolságban lévő pontokban "rendeződik" el. Ezen pontok körül az atommag elektromos terével együtt rezgőmozgást végez, mégpedig annál nagyobb amplitúdójú, minél nagyobb a hőmérséklet. Az anyagok szerkezetében az atomok távolsága  $10^{-10}$  m nagyságrendű, ami anyagszerkezettani egységnek tekintendő:  $10^{-10}$  m = 0,1 nm = 1 Å (Ångström).

A kötésben részt vevő atomok szerkezetének szemléletes leírását Niels Henrik David Bohr-tól (1885-1962, dán fizikus) származó modell adja. Az atom középpontjában van a protonokból (pozitív töltésekből) és neutronokból (semleges töltésekből) álló atommag, körülötte diszkrét (kvantumosan változó, de az atommagtól távolodva egyre növekvő energiájú) pályákon - ún. elektronhéjakon és - alhéjakon - keringenek az elektronok (negatív töltések). Az elektronok energiája az atomon belül kvantált, azaz csak meghatározott, egymástól jól elkülöníthető energiával rendelkezik, ill. ennek megfelelő atommag körüli pályán (elektronhéjon) kering(het)enek. Ha az atommal elegendő energiát közlünk (gerjesztett állapotba vesszük), az alapállapotban lévő elektronok nagyobb energiaszintű pályára ugranak. Ez az állapot nem stabil, rövid időn belül megkezdődik a visszaugrás. Ha az elektronok egy nagyobb energiájú ( $E_2$ ) pályáról egy kisebb energiájú ( $E_1$ ) pályára "ugranak" át, akkor energiakisugárzás lép fel és a kisugárzott energia ( $\nu$  frekvenciájú elektromágneses rezgés) megfelel a két pálya energiatartalma különbségének:  $E_2 - E_1 = h \cdot \nu$ , ahol  $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$  Js a Planck-állandó (Max Karl Ernst Ludwig Planck /1858-1947/ német fizikusról elnevezve).

## Anyagszerkezeti nagyságrend példák

műszaki gyakorlat szempontjából fontos mm-ben kifejezve:

$$3 \text{ m} = 3000 \text{ mm}$$

százsoros ↑ ↓ századrész

$$30 \text{ mm}$$

százsoros ↑ ↓ századrész

$$0,3 \text{ mm}$$

százsoros ↑ ↓ századrész

$$3 \text{ } \mu\text{m} = 0,003 \text{ mm}$$

százsoros ↑ ↓ századrész

$$30 \text{ nm} = 0,00003 \text{ mm}$$

százsoros ↑ ↓ századrész

$$0,3 \text{ nm} = 0,0000003 \text{ mm}$$

VIZSGÁLAT TÁRGYA ÉS MÉRETÉNEK NAGYSÁGRENDJE		VIZSGÁLAT ESZKÖZE ÉS JELLEMZŐ ANYAGSZERKEZETI SZINTJE	
turbina lapátok a turbinaházban	3 m	százsoros	MAKROSZERKEZET
turbinalapát a lapátokban	30 mm	százsoros	EMBERI SZEMLENCSÉ (SEGÍTHETŐ OPTIKAI ESZKÖZKEL)
szemcsék a turbinalapáton	0,3 mm	százsoros	MIKROSZERKEZET
ényszőrválások a szemcsékben	3 μm	százsoros	FÉNYMIKROSZKÓP
ényszőrválások felületi felépítése	30 nm	százsoros	SZUBMIKROSZKÓPIUS SZERKEZET
szemcsék felületi felépítése	0,3 nm	százsoros	ELEKTRONMIKROSZKÓP

A szilárd anyagok szerkezete az egésztől a rész(let)ek felé haladva is áttekinthető, hozzárendelve az anyagszerkezet egyes szintjeihez a jellemző szerkezetvizsgálati módszereket.

Az anyagszerkezet vizsgálata magában hordja azt az igényt, hogy közvetlenül vagy közvetetten (vizsgálóeszközök felhasználásával) „láthatóvá” tegyük az anyagfelépítés különböző szintjeit, ill. az azokra valamilyen formában utaló jeleket és a kapott információk alapján értelmezzük az anyagok tulajdonságait.

A vizsgálóeszköz felbontóképességéhez (két vonalnak vagy pontnak azon legkisebb távolságához, amely mellett azok még különállónak látszanak) igazodva szokás:

- makroszkopikus,
- mikroszkopikus,
- szubmikroszkopikus
- és atomi szintű

szerkezetéről beszélni.

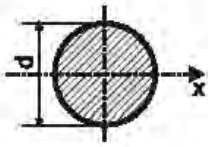
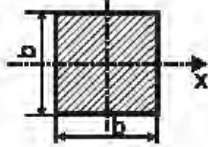
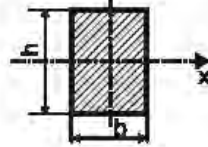
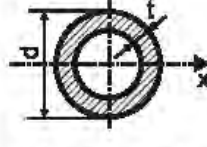
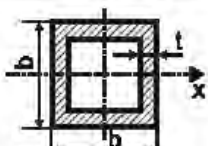
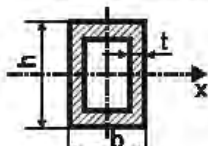
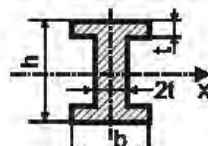
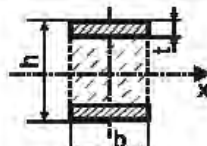
Ezek az emberi szem, a fénymikroszkóp és a különféle elektronmikroszkópok felbontóképességével észlelhető részletekre utalnak.

Az **ábrán** egy turbinalapát példáján keresztül láthatók az anyagszerkezeti szintek, illetve a nagyságrendi különbségeik (2 nagyságrendnyi lépésekben) is.

A szerkezetvizsgálati eszközök, ill. módszerek, noha eléggé különbözőek, abban közösek, hogy információjuk előállítója, ill. hordozója valamilyen sugárzás, ami kétféle lehet: elektromágneses- (fény-, röntgen-) vagy korpuszkuláris-, azaz részecske- (elektron-, neutron-) sugárzás.

A vizsgálatok nagyobb része anyagminta felületén (külső felszínén), kisebb része annak térfogatán (teljes egészén) végezhető el. A felület lehet az anyagi test külső határa, belsejét láttató metszete vagy törete.

## Fontosabb külső makroszerkezeti szelvényalakok

 <p>d átmérőjű tömör köröszevény</p>	 <p>bxb méretű tömör négyzetszevény</p>	 <p>bhx méretű (b&lt;h) tömör téglalapszevény</p>	 <p>dxt méretű csőszevény, azaz zárt (üreges) köröszevény</p>
 <p>b/b1t méretű zárt (üreges) négyzetszevény</p>	 <p>b/hxt méretű zárt (üreges) téglalapszevény</p>	 <p>I-szevény, azaz nyitott (gerinclemez) téglalapszevény</p>	 <p>szendvics-szevény, azaz nyitott (habtöltésű) téglalapszevény</p>

A megfelelő (ideális, optimális) külső makroszerkezeti szelvényalak kiválasztásához a jellemző mechanikai (szilárdságtanból ismeretes) igénybevételt kell alapul venni.

Húzás esetén – amikor a húzóerő hatására kialakuló  $\sigma$  normál feszültség állandó a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet területével (A) arányos, de független annak alakjától, ezért a relatív olcsón és viszonylag egyszerűen gyártható tömör kör- vagy négyzet- vagy téglalapszevény az ideális (pl. csavarhoz, mint húzott kötőelemhez).

Nyomás esetén – a kihajlás veszélye (járulékos  $\sigma$  hajlítófeszültség) miatt – a terhelhetőség a keresztmetszet ekvatoriális másodrendű nyomatékával ( $I_x, I_y$ ) arányos, tehát függ az alaktól, ezért a szimmetrikus zárt kör- vagy négyzet- vagy téglalapszevény kedvezőbb (pl. oszlophoz, mint nyomott „karcú” rúdhoz).

Nyírás esetén – amikor a nyíróerő hatására kialakuló  $\tau$  csúsztatófeszültség állandó a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet nagyságával (A) arányos, de független annak alakjától, ezért a relatív olcsón és viszonylag egyszerűen gyártható tömör kör-, négyzet- vagy téglalapszevény az ideális (pl. szegecshez, reteszhez mint nyírt kötőelemhez). Azonban tiszta nyíró igénybevétel viszonylag ritkán fordul elő, ezért a járulékos hajlításra is tekintettel kell lenni.

Hajlítás esetén – amikor a hajlítónyomaték ( $M_n$ ) hatására kialakuló  $\sigma$  normál feszültség lineárisan változik a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet ekvatoriális másodrendű nyomatékával ( $I_x, I_y$ ), ill. abból származtatott keresztmetszeti tényezővel ( $K_x, K_y$ ) arányos, ezért az álló I-, szendvics- vagy zárt téglalapszevény az optimális (pl. gerendához mint hajlított kéttámaszú tartóhoz).

Csavarás esetén – amikor a csavaró- vagy torziós nyomaték ( $M_T$ ) hatására kialakuló  $\tau$  csúsztatófeszültség lineárisan változik a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet poláris másodrendű nyomatékával ( $I_p$ ), ill. az abból származtatott poláris keresztmetszeti tényezővel ( $K_p$ ) arányos, ezért a forgásszimmetrikus csőszevény a legmegfelelőbb (pl. tengelyhez, mint csavart gép- elemhez).



## Belső makroszerkezeti anyagfolytonossági hiányok

- **Planimetrikus (síkszerű, 2D-s)**
  - repedések
  - nem összefüggő határfelületek
- **Volumetrikus (térszerű, 3D-s)**
  - gázüreges
  - szilárd zárványok

MEGNEVEZÉS	JELÖLÉS			VÁZLAT	
	típus	jelleg	számkód		betűjel
repedés	100	hosszirányú	101	Ea	
	E	keresztirányú	102	Eb	
		többirányú	103	Ec	
gázzárvány	201	gömbalakú	2011	Aa	
	A	halmazszerű	2013	Ad	
		tömlőalakú	2015	Ae	
szilárd zárvány	300	gömbalakú salak	301	Ba	
	B	soros elrendeződésű salak	3011	Bb	
		idegen fém	304	Bc	
kötéshiány	400	összeolvadási	401	C	
	C, D	átolvadási	4021	Db	
		áthegesztési	4022	Dc	
alakeltérés	500	szélkiolvadás	501	Fc	
	F	túlzott domborúság	502	Fb	
		gyökátfolyás	504	Fa	
egyéb eltérés	600	ívgyújtási nyom	601	—	
		fröcskölés	602	—	
	—	aláköszörülés	606	—	

Az anyag belső makroszerkezetéhez tartozó folytonossági hiányok, geometriai jellegüket tekintve, lehetnek planimetrikus (síkszerű) és a volumetrikus (térszerű) folytonossági hiányok. Az előbbiek közé tartoznak a repedések és a nem összefüggő határfelületek, míg az utóbbiak gázüreges vagy szilárd zárványok lehetnek.

Ezek egy része szándékolt (pl. a műanyag szivacs üregei), másik része „elviselhető” (pl. a természeti parafa légszákjai), harmadik része hiba (pl. a fémek és a kerámiák nem megengedhető repedései). Ez utóbbiak jelenléte az anyag, ill. a belőle készített termék rendeltetészerű felhasználását különösen veszélyessé teheti, ezért felderítésük alapvető fontosságú.

<p><b>TERMIKUS TULAJDONSÁGOK:</b>  Hővezetési tényező (<math>\lambda</math>)  Termikus ellenállás (<math>R_T</math>)  Hőtágulási együttható (<math>\alpha, \beta</math>)  Olvadási hőmérséklet (<math>T_{olv}</math>)  Alkalmazási határ-hőmérséklet (<math>T_{max}</math>)  Fajhő (<math>c</math>)</p> <p>hővezetési tényező: <math>\lambda = \frac{P}{A_0 \cdot G} \text{ [W/m}\cdot\text{K]}</math></p>	<p><b>ELEKTROMOS TULAJDONSÁGOK:</b>  Fajlagos elektromos vezetőképesség (<math>\sigma</math>)  Fajlagos elektromos ellenállás (<math>\rho</math>)  Veszteségi tényező (<math>tg\delta</math>)  Átütési szilárdság (kritikus térerősség) (<math>E_{cr}</math>)  Alkalmazási határ-áramsűrűség (<math>i_{max}</math>)  Dielektromos állandó (<math>\epsilon</math>)</p> <p>fajlagos elektromos vezetőképesség:  <math>\sigma = \frac{I}{A_0 \cdot E} \text{ [1/(}\Omega\cdot\text{m)]}</math></p>
<p><b>MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK:</b>  Rugalmasági modulus (Merevség) (<math>E, G</math>)  Poisson tényező (<math>\nu</math>)  Keménység (HB, HV)  (Szakitó-, hajlító-, nyomó-)szilárdság (<math>R_m</math>)  (Húzó-, nyomó-)folyáshatár (<math>R_w, R_p</math>)  Duktilitás (Képlékenységi) (<math>A_0, Z</math>)</p> <p>rugalmassági modulus: <math>E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ [N/m}^2\text{]}</math></p>	<p><b>MÁGNESES TULAJDONSÁGOK:</b>  Mágneses szuszceptibilitás (<math>\chi</math>)  Mágneses permeabilitás (<math>\mu</math>)  Koercitív erő (mágneses keménység) (<math>H_c</math>)  Telítési mágneszettség (<math>M_0</math>)  Remanens indukció (<math>B_r</math>)  Mágneses jósági szám (<math>B_r \cdot H_c</math>)</p> <p>mágneses permeabilitás:  <math>\mu = \frac{B}{H} \text{ [Vs/(A}\cdot\text{m)]}</math></p>
<p><b>AKUSZTIKAI TULAJDONSÁGOK:</b>  Hangterjedési sebesség (<math>c</math>)  Akusztikai törésmutató (<math>n</math>)  Akusztikai sűrűség (<math>\sim 1/c; -n</math>)  Hangáteresztési tényező (<math>\tau</math>)  Hangelnyelési tényező (<math>\alpha</math>)  Hangvisszaverési tényező (<math>\rho</math>)</p> <p>hangáteresztési tényező: <math>\tau = \frac{I_0}{I} \text{ [-]}</math></p>	<p><b>OPTIKAI TULAJDONSÁGOK:</b>  Fényterjedési sebesség (<math>c</math>)  Optikai törésmutató (<math>n</math>)  Optikai sűrűség (<math>\sim 1/c; -n</math>)  Fényáteresztési tényező (<math>\tau</math>)  Fényelnyelési tényező (<math>\alpha</math>)  Fényvisszaverési tényező (<math>\rho</math>)</p> <p>fényáteresztési tényező: <math>\tau = \frac{I_0}{I} \text{ [-]}</math></p>

## Szerkezeti anyagok fizikai tulajdonságai

**A tervezési (anyagkiválasztási) követelményeket elégítik ki, továbbá lehetőséget adnak összehasonlításra ill. a szabványosítást is szolgálják.**

**Színállapotban ill. nagy tisztasággal kevés anyag áll rendelkezésre, sőt legtöbb esetben többalkotós anyagok előállítására törekszünk, így fontos a szerkezet- és tulajdonságbefolyásoló összetétel ismerete is.**

**Szintén nagy jelentőségű az anyagszerkezetből következő sűrűség is, mely meghatározza a készítendő termék tömegét és lehetőséget ad az anyagkiválasztáshoz, összehasonlításokhoz fajlagos mutatók (pl. szilárdság és sűrűség hányadosaként értelmezett fajlagos szilárdság) számítására.**

## Szerkezeti anyagok fizikai tulajdonságai

Mivel a szerkezeti anyagok fizikai anyagok, ezért a fizikai (mechanikai, termikus, elektromos, mágneses, optikai, akusztikai) tulajdonságaik szolgálnak minősítésük alapjául.

Gyakran többalkotós, többfázisú anyagok előállítására törekszünk, így fontos a szerkezet- és tulajdonságbefolyásoló összetétel ismerete is.

Szintén nagy jelentőségű az anyagszerkezetből következő sűrűség is, mely meghatározza a készítendő termék tömegét és lehetőséget ad az anyagkiválasztáshoz, összehasonlításokhoz fajlagos mutatók (pl. szilárdság és sűrűség hányadosaként értelmezett fajlagos szilárdság) számítására.

Szerkezeteink jelentős része összetett igénybevételeknek van kitéve, az összetevők elemzésénél el kell dönteni, melyik közülük a mértékadó, azaz a stabilitást, biztonságot, élettartamot leginkább befolyásoló.

Pl. egy hídszerkezet esetében a statikus (időben állandó  $\rightarrow$  önsúlyból származó) és dinamikus (időben változó  $\rightarrow$  rajta lévő forgalom ingadozásából eredő) mechanikai igénybevételek a meghatározók, ha a termikus igénybevétel káros hatásának kiküszöbölését célozva az egyik megtámasztást görgőre tervezzük, hogy az akadályozott hőtágulásból ne keletkezzenek belső feszültségek, azaz a híd dilatációra (szabad „hőmozgásra”) legyen képes. A szintén fellépő, anyagvastagság-csökkentő hatású korróziós igénybevétel káros következményeit megelőzhetjük gondosan tervezett és kivitelezett védőbevonatrendszer alkalmazásával.

Vagy pl. az elektromos távvezetékek anyagainak egyszerre kell megfelelniük elektromos, mechanikai, korrózióállósági és gazdaságossági követelményeknek. Elsődlegesnek tűnő szempont a minél jobb elektromos vezetőképesség, ami elsősorban színelemekre teljesül, viszont ezeknek kicsi a mechanikai terhelhetőségük, ráadásul közülük kevésbé jöhetnek szóba a nagyobb sűrűségű anyagok, hiszen a

mechanikai terhelés nagyobb részét a sűrűséggel arányos önsúly jelenti. Tehát kisebb sűrűségű és teherbírás-növelés céljából ötvözött (bár így rosszabb vezetőképességű) anyagokra van szükség. A kedvezőtlenebb elektromos ellenállást azzal kompenzáljuk, hogy nem nagy áramerősséggel, hanem nagy feszültséggel továbbítjuk az elektromosságot, így az áramerősség négyzetével arányos hőveszteség csekély marad. Ha ezeket figyelmen kívül hagyjuk, akkor sűrűbben (jelentős többletköltséggel) kell a tartóoszlopokat telepíteni, hogy a maximálisan megengedett belógást ne lépjük túl. A korrózióállóság kevésbé jelent problémát, mert a jó elektromos vezetékanyagok általában jó korrózióállóságúak.

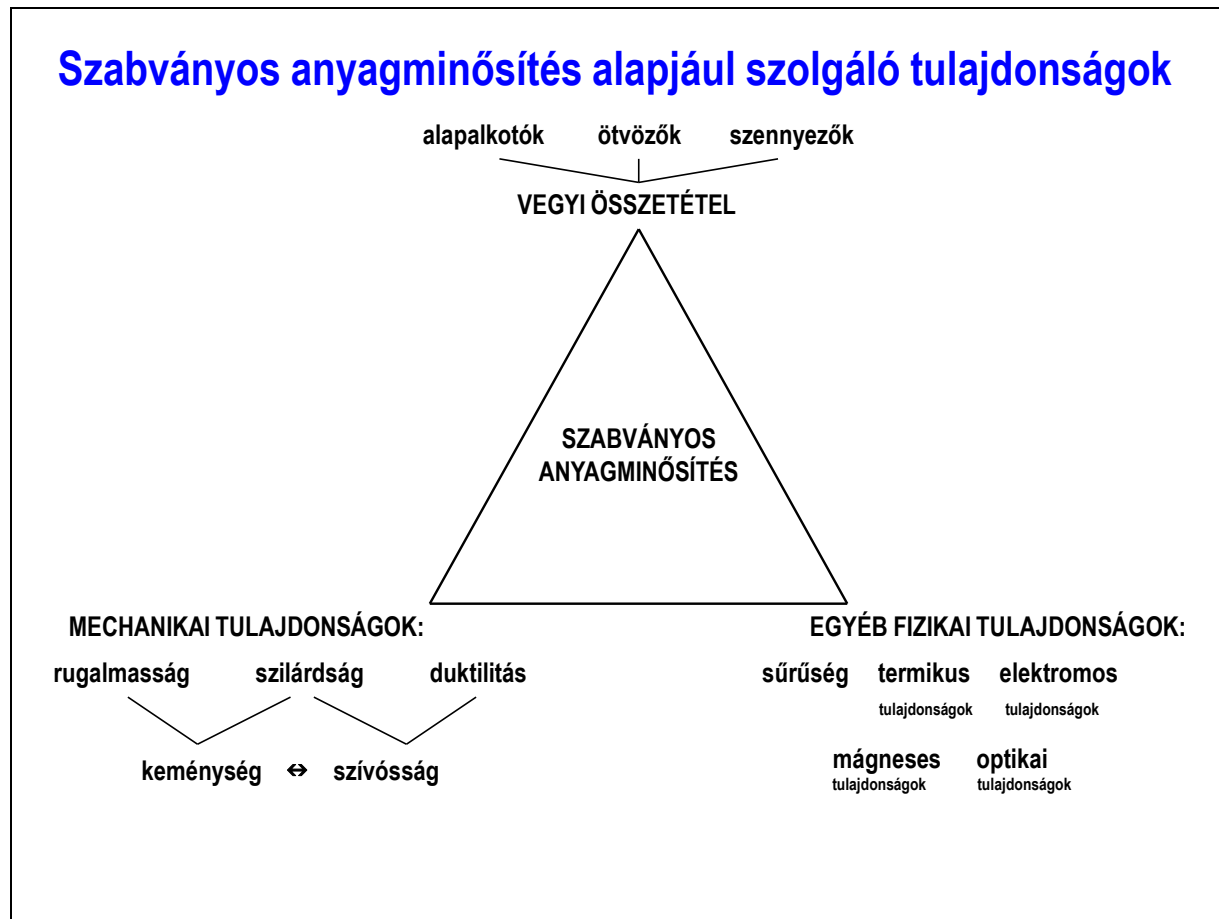
A tönkremenetel és a várható élettartam szempontjából legveszélyesebb igénybevételt kell alapul venni, majd annak várható hatásait elemezve lehet a további igénybevételek járulékos befolyásoló hatásaival számolni. Az összetett igénybevételekkel szembeni ellenállás erősen konstrukció- (alak-, méret-) függő, amihez számításba veendő az üzemeltetés speciális követelményei is.

## Szerkezeti anyagok tulajdonságainak nagyságrendjei

fizikai mennyiség	mértékegység	jellemző alsó érték (anyagpéldával)	nagyságrend-különbség	jellemző felső érték (anyagpéldával)
sűrűség	[kg/m <sup>3</sup> ]	9...12 (melamin hab)	3,4	22450...22600 (ozmium > 99 %)
szakító-szilárdság	[MPa]	0,05...0,10 (Al – SiC hab: 10SiC+10Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,4	853,9...11170 (Ti-βötvözet, duplex öregítés)
szakadási nyúlás	%	0,0036...0,0297 (gyorsacél: 12,4W+5V+5Co+1Mo)	5,6	1210...1400 (kis molekulatömegű PE)
keménység	HV	0,00012...0,00025 (PUR hab: rugalmas, nyitott cellás)	7,9	8000...10000 (gyémánt)
rugalmassági modulus	[GPa]	0,00001...0,00002 (PUR hab: rugalmas, nyitott cellás)	8	900...1000 (gyémánt)
olvadáspont	[°C]	25...30 (gallium > 99,99 %)	2,2	3720...3910 (gyémánt)
hőtágulási együttható	[10 <sup>-6</sup> /°C]	0,04...0,05 (titan-szilikát: 93SiO <sub>2</sub> +7TiO <sub>2</sub> )	4,4	600...1000 (epiklorohidrin-etilénoxid)
hővezetési tényező	[W/mK]	0,019...0,020 (zárt cellás fenol hab)	4,9	1366...1480 (öntészeti Be-Al-Si-ötvözet)
fajlagos elektromos ellenállás	[μΩcm]	1,58...1,62 (ezüst > 99,9 %)	26,8	10 <sup>25</sup> ...10 <sup>27</sup> (hőálló polisztirol)
átütési szilárdság	[MV/m]	0,2...0,3 (zártcellás polisztirol hab))	2,6	39,5...79,1 (kálium-aluminoszilikát)

Tehát, ha valamely mennyiség nagyságrendbeli különbségeit szeretnénk helyesen látni, akkor értékeket ábrázoljuk 10-es alapú (Briggs-féle) logaritmikus koordinátatengely mentén, ill. logaritmizált értékeket vonjuk ki egymásból.

A **táblázat** a szerkezeti és szerszámanyagok néhány tulajdonságának nagyságrendkülönbségeit szemlélteti.



Az anyagok fizikai jellemzőin belül azokkal a tulajdonságokkal és a hozzájuk kapcsolódó fontosabb vizsgálati módszerekkel foglalkozunk, melyek a tervezési (anyag kiválasztási) követelményeket elégítik ki, továbbá lehetőséget adnak összehasonlításra, ill. a szabványosítást is szolgálják.

Ez utóbbi azt jelenti, hogy a szabványosított anyagok esetében leggyakrabban a vegyi összetételre és a mechanikai tulajdonságokra, esetenként egyéb fizikai tulajdonságokra találunk előírásokat, számszerű adatokat a vonatkozó hazai, ill. nemzetközi szabványokban.

## Szerkezeti anyagok megmunkálhatósági jellemzői

MEGMUNKÁLHATÓSÁG ALAKADÓ TECHNOLOGIÁKKAL				
öníthetőség	szinterethetőség	alakíthatóság	forgácsolhatóság	vághatóság
<p>érvésző (keramikus keverékből készített) öntőformába</p> 	<p>porkohászítással (lémes és keramikus komponensekből) előállítás céljából</p> 	<p>törőgatalakítással („hosszú” félkész gyártmányból indulva) hidegen (<math>T_{\text{sz}} = T = T_{\text{sz}}</math>) vagy melegén (<math>T_{\text{sz}} &lt; T &lt; T_{\text{sz}}</math>)</p> 	<p>szabályos szerszámokkal ill. élelenczével egyelő vagy többelő (egy vagy több ponton ható) szerszámmal</p> 	<p>szilárd, élesélű vágóélelkekkel alakító vagy forgácsoló vágással</p> 
<p>tartós (lémes ötvözetből készített) öntőformába</p> 	<p>porkeramizálással (csak keramikus komponensekből) szinterkerámia előállítás céljából</p> 	<p>lemezalakítással („széles” félkész gyártmányból indulva) hidegen (<math>T_{\text{sz}} = T = T_{\text{sz}}</math>) vagy melegén (<math>T_{\text{sz}} &lt; T &lt; T_{\text{sz}}</math>)</p> 	<p>szabálytalan szerszámokkal ill. élelenczével egyelő vagy többelő (egy vagy több ponton ható) szerszámmal</p> 	<p>nem szilárd, átáramló vágókészülékkel erősítés vagy kemikus vágással</p> 
<p>gravitációs, nyomásos vagy centrifugálás kiküszöbölésével</p> 	<p>szinterkerámia előállítás céljából</p> 	<p>hidegen (<math>T_{\text{sz}} = T = T_{\text{sz}}</math>) vagy melegén (<math>T_{\text{sz}} &lt; T &lt; T_{\text{sz}}</math>)</p> 	<p>szabálytalan szerszámokkal ill. élelenczével egyelő vagy többelő (egy vagy több ponton ható) szerszámmal</p> 	<p>nem szilárd, átáramló vágókészülékkel erősítés vagy kemikus vágással</p> 

MEGMUNKÁLHATÓSÁG KÖTŐ- ÉS RÖGZÍTŐTECHNOLOGIÁKKAL			MEGMUNKÁLHATÓSÁG ANYAGSZERKEZET-VÁLTOZTATÓ TECHNOLOGIÁKKAL	
hegeszthetőség	forraszthatóság	ragaszthatóság	hőkezelhetőség	felületkezelhetőség
kiseb T hőmérsékleten				
<p><math>T \approx T_{\text{sz}}</math> hőmérsékletű sajtoló hegesztéssel</p> 	<p><math>T \approx 450\text{ }^\circ\text{C}</math> hőmérsékletű légforrasztással</p> 	<p><math>T \approx 100\text{ }^\circ\text{C}</math> hőmérsékletű hidegragasztással</p> 	<p>anyag szerkezeti egységnyi irányuló hatással</p> 	<p>anyagfelületi nélküli felületkezeléssel</p> 
nagyobb T hőmérsékleten				
<p><math>T_{\text{sz}} &lt; T &lt; T_{\text{sz}}</math> hőmérsékletű ömlesztő hegesztéssel</p> 	<p><math>450\text{ }^\circ\text{C} &lt; T &lt; T_{\text{sz}}</math> hőmérsékletű keményforrasztással</p> 	<p><math>100\text{ }^\circ\text{C} &lt; T &lt; 200\text{ }^\circ\text{C}</math> hőmérsékletű melegragasztással</p> 	<p>anyag szerkezeti egységnyi irányuló hatással</p> 	<p>anyagfelületi felületkezeléssel</p> 

**As előállított szerkezeti anyagokat technológiai műveleteknek vetjük alá, ezért az anyagok kiválasztásánál azok szükséges ill. lehetséges technológiákkal való megmunkálhatóságára - technológiai tulajdonságaira - is tekintettel kell lenni. Az anyagok technológiai jellemzői sokszor nem adhatók meg számszerűen, képletek segítségével, sőt a technológiákra való alkalmazás megítélése általában sokváltozós probléma, így a technológiai vizsgálatok elsősorban adott feltételek mellett érvényes rangsor megállapítására - anyagok összehasonlítására - adnak módot.**

**Az anyagok megmunkálhatóságát minősítő technológiai vizsgálatok jó része a technológia egyfajta - bizonyos szempontokat kiemelő - modellje, ill. bonyolult folyamatok helyettesítése egyszerűbben kivitelezhetővel.**

**Anyagtechnológiai felosztása:**

- az alakadó technológiák alkatrészek alapanyagokból vagy félkész termékekből kiinduló előállítására ill. megmunkálására,
- a kötő technológiák alkatrészek egyesítésére ill. szerelésére,
- a anyagszerkezet-változtató technológiák - az előző technológiák valamely szakaszán - az alkatrész anyaga szerkezetének és ezáltal tulajdonságainak módosítására irányulnak.

Az előállított és kiválasztott szerkezeti anyagokat rendszerint további technológiai műveleteknek vetik alá, ezért az anyagok adott célú felhasználásánál azok szükséges, ill. lehetséges technológiákkal való megmunkálhatóságára (technológiai tulajdonságaira) is tekintettel kell lenni (ábra).

Az előállított alapanyagokból, ill. félkész gyártmányokból (előgyártmányokból, pl. rúd, lemez, cső, tömb, por) további megmunkálásokkal gyárthatók a különféle rendeltetésű késztermékek. Az alkalmazható anyagtechnológiák három nagy csoportja az alakadó, a kötő és a szerkezet-változtató technológiák:

az alakadó technológiák alkatrészek alapanyagokból vagy félkész termékekből kiinduló előállítására, ill. megmunkálására,

a kötő technológiák alkatrészek egyesítésére, ill. szerelésére,

a szerkezetváltoztató technológiák – az előző technológiák valamely szakaszán – az alkatrész anyaga szerkezetének és ezáltal tulajdonságainak módosítására irányulnak.

Az egyes anyagtechnológiai folyamat szakaszainak során különböző segédanyagok alkalmazására is szükség van, melyek elsősorban hűtő-kenő vagy védő feladatot ellátó, az egyes megmunkálások végtermékébe nem beépülő anyagok.

Az anyagok technológiai, megmunkálhatósági jellemzői sokszor nem adhatók meg számszerűen, képletek segítségével, mint a fizikai tulajdonságok nagy része. A technológiákra való alkalmazás megítélése általában sokváltozós probléma, a minősítési célú technológiai vizsgálatok elsősorban adott körülményekre érvényes rangsor megállapítására (anyagok összehasonlítására), ill. relatív értékek képzésére adnak módot.

Az anyagok megmunkálhatóságát minősítő technológiai vizsgálatok jó része a technológia egyfajta – bizonyos szempontokat kiemelő – modellje, ill. bonyolult folyamatok helyettesítése egyszerűbben kivitelezhetővel.

rövidebb üzemelés során fellépő, makroszkópusan lokalizált károsodási folyamatok				hosszabb üzemelés során fellépő, makroszkópusan nem lokalizált károsodás-felhalmozódási folyamatok	
tervezési, kivitelezési hibák és/vagy nem rendeltetésszerű használattal összefüggő folyamatok				fizikai elváltozásokkal és/vagy kémiai átalakulásokkal összefüggő folyamatok	
rugalmas		képlékeny			
nagy deformáció	instabilitás	nagy deformáció	instabilitás	anyagfolytonosság megszakadása	
beszonulás	kihajlás	megfolyás	kontrakció	törés	
				<b>reológiai károsodás:</b> - kúszás (alakváltozás) - relaxáció (feszültségváltozás)	<b>fáradás:</b> - kisciklusú ( $N_f \leq 10^4$ ) fáradás - nagyciklusú ( $N_f > 10^4$ ) fáradás
				<b>melegsülárdság-csökkenés:</b> - kilágyulás (terhelhetőség csökken.) - megeresztődés (kopásállós. csökk.)	<b>törés:</b> - képlékeny (stabil) törés - rideg (instabil) törés
				<b>öregedés:</b> - sugárzásos ridegedés - klimatikus ridegedés	<b>hidegszívósság-csökkenés:</b> - ütmunka-csökkenés - átmeneti hőmérséklet növekedése
				<b>kopás</b> - adhéziós kopás: - hidegheggedéses kopás - melegheggedéses kopás - tribokémiai kopás: - kenéstechikai kopás - illesztéstechnikai kopás	<b>abrazív kopás:</b> - forgácsoló kopás - erodáló kopás - fáradásos kopás: - pittingképződéses kopás - rétegfelbomlásos kopás
				<b>korrozio</b> - felületi korrozio: - passzíváló korrozio - egyenletes korrozio - anyagon belül korrozio: - szelektív korrozio - általános korrozio	<b>behatoló korrozio:</b> - lyukkorrózio - feszültségkorrozio - anyagok közötti korrozio: - réskorrózio - kontaktkorrozio
				<b>hőkárosodás</b> - oxidáció - gyulladás	- termikus fáradás - hősokk
				<b>biokárosodás</b> - lebomlás (vegyhatásos károsodás)	- elfogyás - rágásos károsodás

## Anyagok károsodási formái

Üzemeltetés során elhasználódási, károsodási folyamatok indulnak meg, melyek a gyártmány, termék **élettartamát** befolyásoló **alak-, méret-, ill. szerkezet- és tulajdonságváltozásokat** okoznak.

Az üzemeltetés **tárgyi és személyi feltételeitől** egyaránt függ, hogy ezek a változások mikor (a tervezett élettartamon belül vagy kívül) érik-e el a kritikus (használhatóságot megkérdőjelező) értéket.

A termék anyagát érő **mechanikai, termikus, vegyi, biológiai, elektromos, mágneses, sugár- és hanghatások, igénybevételek** által kiváltott elhasználódási formák közül:

- a rövid üzemelés során fellépő **károsodási folyamatok** nem lehetnek meghatározók egyetlen termék esetében sem, ezek megelőzése alapvető tervezési, gyártási, üzemeltetési és ellenőrzési (állapotfelügyeleti) feladat.
- a hosszabb üzemelés során fellép(het)ő **károsodás-felhalmozódási folyamatok** érint(het)ik a termék anyagának egészét (nem lokalizáltak), vagy egy résztartományát (lokalizáltak), miközben a biztonságos üzemeltetés szempontjából eredetileg helyesen megválasztott anyagtulajdonságok megváltoz(hat)nak.

A technológiaként alkalmazott megmunkálási, gyártási folyamatokkal a megtervezett konstrukció alakját és méreteit alakítjuk ki, ill. a kiválasztott anyagok szerkezetét és tulajdonságait átalakítjuk a követelményeknek, igényeknek megfelelően. Az üzemeltetés során azonban olyan elhasználódási, károsodási folyamatok indulnak meg, amelyek a gyártmány, termék élettartamát befolyásoló alak-, méret-, ill. szerkezet- és tulajdonságváltozásokat eredményeznek.

Az üzemeltetés tárgyi és személyi feltételeitől egyaránt függ, hogy ezek a változások mikor (a tervezett élettartamon belül vagy kívül) érik-e el a kritikus (használhatóságot megkérdőjelező) értéket.

Például a repülőgép szárnyának fáradásállóságát – a változatos időjárás, légköri viszonyok miatt – a repülőgép útvonalai is befolyásolják. Egy tengerjáró hajó testének töréssel szembeni biztonságát – pl. a jéghegyek mechanikai és hőmérsékleti hatásai miatt – szintén befolyásolják az üzemeltetési útvonalak.

Az üzemelés során a terméket, ill. annak anyagát érő mechanikai, termikus, vegyi, biológiai, elektromos, mágneses, sugár- és hanghatások, igénybevételek által kiváltott elhasználódási, károsodási formák sokfélék (**táblázat**).

A rövid üzemelés során fellépő károsodási folyamatok nem lehetnek meghatározók egyetlen termék esetében sem, ezek megelőzése alapvető tervezési, gyártási, üzemeltetési és ellenőrzési (állapotfelügyeleti) feladat.

A hosszabb üzemelés (tartós használat) során fellép(het)ő károsodás-felhalmozódási folyamatok érint(het)ik a termék anyagának egészét (nem lokalizáltak) vagy egy résztartományát (lokalizáltak), miközben a biztonságos üzemeltetés szempontjából eredetileg helyesen megválasztott anyagtulajdonságok megváltoz(hat)nak.

Ezen károsodás-felhalmozódási folyamatok vizsgálatával lehet az anyagok károsodásállóságát (károsodással szembeni ellenállását) megítélni, rangsorolni, ill. az ún. maradék-élettartamot (hátralévő üzemidőt) beszélni, ami – az anyagok megmunkálhatóságához hasonlóan – sok esetben nem jelle-

mezzhető konkrét mérőszámokkal, hanem a (rendszerint nagyszámú) befolyásoló tényezők segítségével határértékeket, kritériumokat lehet felállítani, tervezési, gyártási és üzemeltetési szempontokat lehet megadni. Az igazán korrekt károsodásállósági jellemzőket nem modell- (próbatest-) kísérletekből, hanem üzemszerű- (gyártmány-) vizsgálatokból lehet nyerni, egy-egy konkrét esetben.



TERVEZÉSI SZEMPONTOK:	BIZTONSÁGI SZEMPONTOK:	<h2 style="color: blue;">Anyagválasztási szempontok</h2> <p>Az anyagválasztási szempontok <b>egyrészt mérnöki (műszaki), másrészt menedzseri (gazdasági) oldalról</b> közelíthetők meg.</p> <p>Ha egy termék <b>funkció</b>ját nem vagy nem a megkövetelt <b>biztonság</b>gal, vagy nem az elvárható <b>élettartam</b>ig képes ellátni, akkor a gazdaság(osság) megfelelőse ellenére a piac elutasítására talál.</p> <p>Egy műszakilag tökéletes termék gyártásának is akkor van értelme, ha annak előállítási <b>költségét</b> vagy a vele elérhető <b>költségmegtakarítást</b> a piac az <b>árban</b> elismeri, azaz a termék vevőre talál.</p> <p>A <b>szerkezeti anyagok választéka</b> igen nagyszámú és <b>folyton bővülő</b> anyagféleséget jelent, amit hagyományos módszerekkel <b>áttekinteni, elemezni</b> gyakorlatilag lehetetlen. Az <b>informatika</b> fizikai és szellemi vívmányainak <b>alkalmazása</b> kínálja a megoldás kedvező lehetőségét. Ehhez számítógépes - tervezőrendszerekbe „lehívható” – <b>anyagadatbázisok</b> szükségesek, összekapcsolva a <b>piaci ármozgások naprakész követését</b> biztosító hálózati információforrásokkal. Önmagában azonban még ez is kevés, hiszen az adatokat fel kell dolgozni, meg kell határozni a köztük való <b>szelektálás kritériumait</b>, az <b>optimális</b> (vagy kvázioptimális) <b>megoldáshoz való eljutás lépcsőit</b>, szempontjait.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konceptcionális tervezéshez:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- komplex anyagjellemzők</li> <li>- anyagszelektációs kártyák</li> <li>- optimalizálási kritériumok</li> </ul> </li> <li>- Közelítő tervezéshez:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- halásmátrix módszer</li> <li>- nyomtatott információforrások</li> <li>- on-line és off-line adatbázisok</li> </ul> </li> <li>- Konkrét tervezéshez:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- végeselemes analízis</li> <li>- anyagvizsgálatok</li> <li>- formatervezés (design)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biztonsági tényező:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- anyagtulajdonosság várható értéke</li> <li>- igénybevétel várható értéke</li> <li>- várható értékek hányadosa</li> </ul> </li> <li>- Meghibásodási valószínűség:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- anyagtulajdonosság szórása</li> <li>- igénybevétel szórása</li> <li>- eloszlásfüggvény értéke</li> </ul> </li> <li>- Megbízhatóság:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- teherbírás variancia egyúthatója</li> <li>- terhelés variancia egyúthatója</li> <li>- variancia egyúthatók különbsége</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Szabványügyi szempontok:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- mechanikai tulajdonságok szerint</li> <li>- kémiai összetétel szerint</li> <li>- fegyártmány alak és méret szerint</li> </ul> </li> <li>- Szabványos konstrukciók:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- alkatrészek</li> <li>- részegységek</li> <li>- szerkezetek</li> </ul> </li> <li>- Szabványos jelölérendszerek:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- MSZ (Magyar Szabvány)</li> <li>- (MSZ) EN (Euronorm)</li> <li>- (MSZ) ISO (International Standard)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Szervezeti feltételek:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- működőképesség minőségügyi rendszer</li> <li>- akkreditált beszállítók</li> <li>- üzemaikalmasság, referenciák</li> </ul> </li> <li>- Személyi feltételek:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- vezetőség egyértelmű hatáskörrel</li> <li>- megfelelő (szak)személyzet</li> <li>- minőségügyi megbízottak</li> </ul> </li> <li>- Tárgyi feltételek:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- beszállítói jegyzék</li> <li>- műbizonylat</li> <li>- jelölés, raktározás, kezelés</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökológiai szempontok:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiatartalom:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- tömegegységre vonatkoztatva</li> <li>- térfogategységre vonatkoztatva</li> <li>- termékegységre vonatkoztatva</li> </ul> </li> <li>- Reciklálási hányad:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- mért újrahasznosítási mérték</li> <li>- becsült újrahasznosítási mérték</li> <li>- számított újrahasznosítási mérték</li> </ul> </li> <li>- Környezetkonformitás:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- biomimetikai kialakítás</li> <li>- biokompatibilitás</li> <li>- környezetszennyezés</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökonómiai szempontok:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anyagköltség:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- nyersanyag</li> <li>- alapanyag</li> <li>- segédanyag</li> </ul> </li> <li>- Feldolgozási költség:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- amortizáció (gép, eszköz, épület)</li> <li>- munkabér és járulékai</li> <li>- energia (elektromos, kémiai, hő)</li> </ul> </li> <li>- Geológiai, politikai helyzet:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- szállítási távolság és lehetőség</li> <li>- hozzáférés, rendelkezésre állás</li> <li>- importkorlátozások</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	

## Anyagválasztási szempontok

Az anyagválasztás szempontjai (**táblázat**) egyrészt mérnöki (műszaki), másrészt menedzseri (gazdasági) oldalról közelíthetők meg. Ha egy termék funkcióját nem vagy nem a megkövetelt biztonsággal, vagy nem az elvárható élettartamig képes ellátni, akkor a gazdaság(osság) megfelelőse ellenére a piac elutasítására talál.

Természetesen a műszakilag tökéletes termék gyártásának is akkor van értelme, ha annak előállítási költségét vagy a vele elérhető költség-megtakarítást a piac az árban elismeri, azaz a termék vevőre talál. Például növelt szilárdságú könnyűfém ötvözetekből készült járművekben az elért súlycsökkenés jelentős üzemanyag-megtakarítást, s ezáltal kisebb üzemeltetési költségeket, sőt károsanyag-kibocsátás csökkentést tesz lehetővé, mindemellett az ilyen ötvözetek újrahasznosítása is nagyobb arányú.

A szerkezeti anyagok úgymond piaci választéka igen nagyszámú és folyton bővülő anyagféleséget jelent, amit hagyományos módszerekkel áttekinteni, elemezni gyakorlatilag lehetetlen. A problémát tovább bonyolítja az anyagok piaci árának naponkénti változása, azaz aktuális (naprakész) gazdasági helyzetkép gyakori hiánya. Természetesen az ma már nem lehet korrekt megoldás anyagválasztáskor, hogy mindig csak az anyagok egy szűk körében (pl. csak acélok) gondolkodunk.

Akár csak az élet számos más területén, úgy itt is az informatika fizikai és szellemi vívmányainak alkalmazása kínálja a megoldás kedvező lehetőségét. Ehhez számítógépes – tervezőrendszerekbe „lehívható” – anyagadatbázisok szükségesek, összekapcsolva a piaci ármozgások naprakész követését biztosító hálózati információforrásokkal. Önmagában azonban még ez is kevés, hiszen az adatokat fel kell dolgozni, meg kell határozni a köztük való szelektálás kritériumait, az optimális (vagy kvázioptimális) megoldáshoz való eljutás lépcsőit, szempontjait.

A felsorolt szempontok köre korántsem teljes, egy-egy konkrét esetben más fejlemények is felmerül(het)nek, vagy nem kell minden szempontot figyelembe venni a végső döntés mérlegelésekor, meghozatalakor.

## Tervezési szempontok

A **konstrukciós tervezés két fő feladata** a fizikai törvényszerűségeken, összefüggéseken alapuló **méretezés (alak, méretek, mérettűrések, felületminőségi követelmények meghatározása)**, ill. azzal összefüggésben a megfelelő szerkezeti **anyag(ok) kiválasztása**.

Ezen a területen az angol M. F. Ashby irányításával kidolgozott, ill. fejlesztett koncepció tekinthető meghatározó és korszerű eredménynek. Lényege, hogy a tényleges igényekből kiindulva, **valamennyi anyag figyelembevételével**, minél teljesebb szempontrendszer alapján, **több lépcsőben** valósuljon meg az **anyagkiválasztás**, de nem a tervezéstől elválasztva, hanem azzal szoros összhangban.

Az első lépcső a **konceptcionális tervezés**, az összes lehetséges anyag figyelembevételével. Lényegében e szakaszhoz kapcsolódik Ashby ajánlása, mely szerint a tervezés alatt álló termék funkciójából (várható igénybevételéből), ill. geometriai adataiból levezethetők olyan két vagy több anyagjellemzőt tartalmazó kifejezések – **komplex anyagjellemzők** –, amelyekkel **optimalizálási kritériumok** adhatók meg az anyagválasztáshoz. Pl.: minimális tömegű gyártmányra törekedve az elérhető maximális  $E^p/\rho$ , vagy  $\sigma_y^p/\rho$ , vagy  $K_{Ic}^p/\rho$  stb. komplex jellemzővel bíró anyagcsoportot kell kiválasztani, az aktuális feltételek függvényében.

### Tervezési szempontok

A konstrukciós tervezés két fő feladata a fizikai törvényszerűségeken, összefüggéseken alapuló méretezés (alak, méretek, mérettűrések, felületminőségi követelmények meghatározása), ill. azzal összefüggésben a megfelelő szerkezeti anyag(ok) kiválasztása.

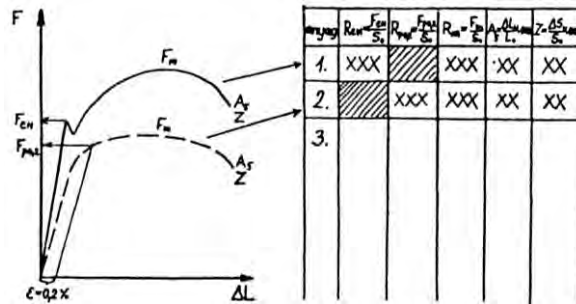
Ezen a területen az angol M. F. Ashby irányításával kidolgozott, ill. fejlesztett koncepció tekinthető meghatározó és korszerű eredménynek. Lényege, hogy a tényleges igényekből kiindulva, valamennyi anyag figyelembe vételével, minél teljesebb szempontrendszer alapján, több lépcsőben valósuljon meg az anyagkiválasztás, de nem a tervezéstől elválasztva, hanem azzal szoros összhangban.

Az első lépcső a konceptcionális tervezés, az összes lehetséges anyag figyelembevételével. Lényegében e szakaszhoz kapcsolódik Ashby ajánlása, mely szerint a tervezés alatt álló termék funkciójából (várható igénybevételéből), ill. geometriai adataiból levezethetők olyan két vagy több anyagjellemzőt tartalmazó kifejezések – komplex anyagjellemzők –, amelyekkel optimalizálási kritériumok adhatók meg az anyagválasztáshoz.

## Tervezés információi

Tervezéskor – különösen számítógépes tervezőrendszerek alkalmazásakor – valamilyen **adatbázisból** nyerhetők a szükséges adatok. Ezek az információk lehetnek a megmunkálandó anyagok tulajdonságai, a beépítendő szabványos alkatrészek paraméterei, a rendelkezésre álló megmunkáló gépek jellemzői vagy más egyéb adatok. Az adatbázisokban **tárolandó** és a technológiai számítások során **felhasználható információk** (anyagjellemzők) **megadásának célszerű formái** különbözőek lehetnek.

A szakítóvizsgálat szabványosított anyagjellemzőinek ( $R_{eH}$  vagy  $R_{p0,2}$ ,  $R_m$ ,  $A_5$  vagy  $A_{10}$ ,  $Z$ ) bevitele, tárolása rendszerint nem okoz gondot, de pl. az alakítási keményedési folyamat jellemzése már problematikus lehet. Ugyanis maga a vizsgálati eredmény, az anyag folyásgörbéje nagyon sok összetartozó mérési ponttal adható meg, ami egy adatbázisban jelentős helyet foglalna el. A megoldást az **adatok tömörítése** jelentheti, melynek során a görbe jellemzése néhány paraméterrel valósul meg. Az anyagviselkedés és a technológiai folyamatok lényegét megragadva, azt valamilyen numerikusan kezelhető formában megfogalmazva kell a számítógépi tervezőprogramokba beépíteni. Ehhez nagy segítséget jelent a **modellalkotás**, az anyagviselkedés és technológiai folyamat **matematikai leírása**, valamint azok felhasználásával a várható események előrejelzése, a **folyamat szimulációja**.



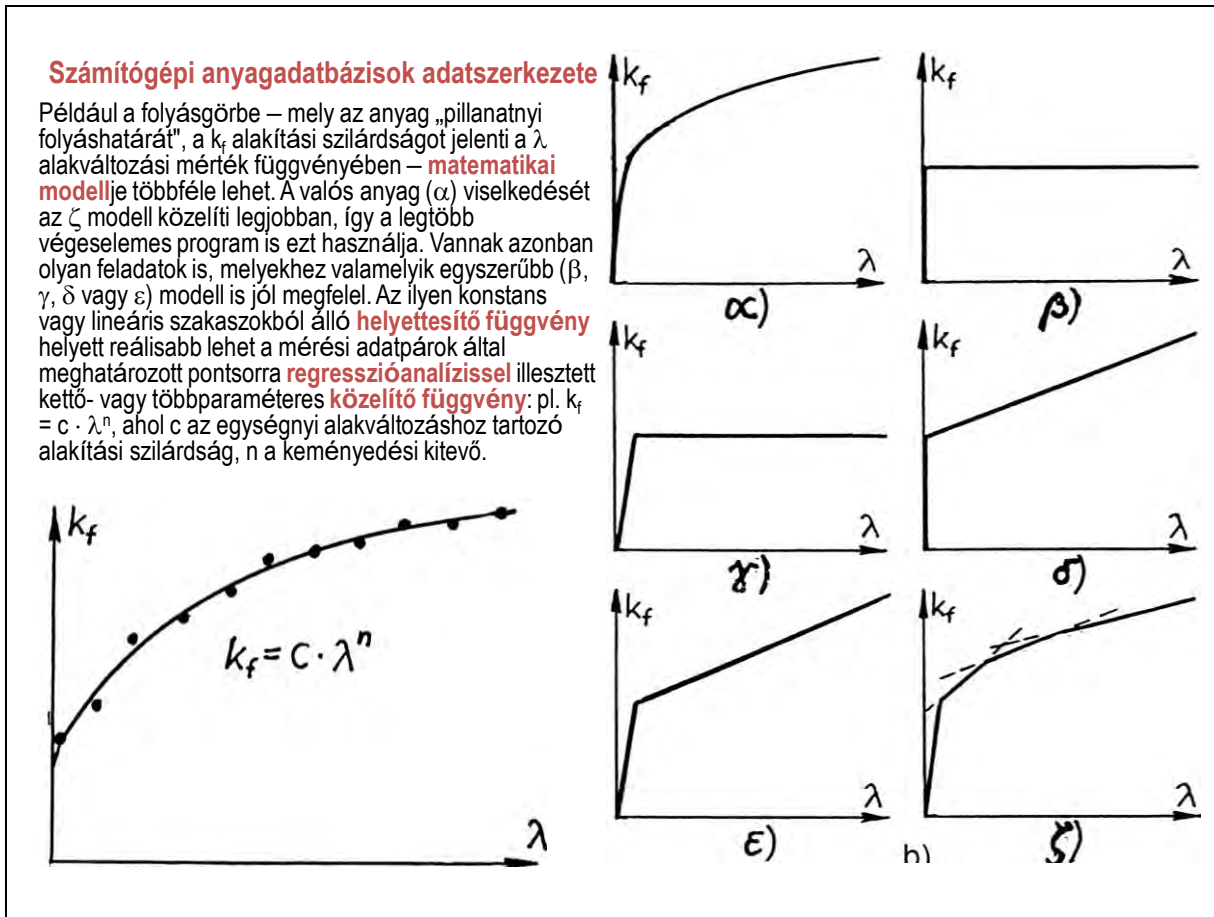
Tervezéskor – különösen számítógépes tervező rendszerek alkalmazásakor – valamilyen adatbázisból nyerhetők a szükséges adatok. Ezek az információk lehetnek a megmunkálandó anyagok tulajdonságai, a beépítendő szabványos alkatrészek paraméterei, a rendelkezésre álló megmunkáló gépek jellemzői vagy más egyéb adatok. Az adatbázisokban tárolandó és a technológiai számítások során felhasználható információk (anyagjellemzők) megadásának célszerű formái különbözőek lehetnek.

A szakítóvizsgálat szabványosított anyagjellemzőinek ( $R_{eH}$  vagy  $R_{p0,2}$ ,  $R_m$ ,  $A_5$  vagy  $A_{10}$ ,  $Z$ ) bevitele, tárolása (**ábra**) rendszerint nem okoz gondot, de pl. az alakítási keményedési folyamat jellemzése már problematikus lehet. Ugyanis maga a vizsgálati eredmény, az anyag folyásgörbéje nagyon sok összetartozó mérési ponttal adható meg, ami egy adatbázisban jelentős helyet foglalna el.

A megoldást az adatok tömörítése jelentheti, melynek során a görbe jellemzése néhány paraméterrel valósul meg. Az anyagviselkedés és a technológiai folyamatok lényegét megragadva, azt valamilyen numerikusan kezelhető formában megfogalmazva kell a számítógépi tervezőprogramokba beépíteni. Ehhez nagy segítséget jelent a modellalkotás, az anyagviselkedés és technológiai folyamat matematikai leírása, valamint azok felhasználásával a várható események előrejelzése, a folyamat szimulációja.

**Számítógépi anyagadatbázisok adatszerkezete**

Például a folyásgörbe – mely az anyag „pillanatnyi folyáshatárát”, a  $k_f$  alakítási szilárdságot jelenti a  $\lambda$  alakváltozási mérték függvényében – **matematikai modellje** többféle lehet. A valós anyag ( $\alpha$ ) viselkedését az  $\zeta$  modell közelíti legjobban, így a legtöbb végeselemes program is ezt használja. Vannak azonban olyan feladatok is, melyekhez valamelyik egyszerűbb ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  vagy  $\varepsilon$ ) modell is jól megfelel. Az ilyen konstans vagy lineáris szakaszokból álló **helyettesítő függvény** helyett realisabb lehet a mérési adatpárok által meghatározott pontsorra **regresszióanalízissel** illesztett kettő- vagy többparaméteres **közelítő függvény**: pl.  $k_f = c \cdot \lambda^n$ , ahol  $c$  az egységnyi alakváltozáshoz tartozó alakítási szilárdság,  $n$  a keményedési kitevő.



Például a folyásgörbe – mely az anyag „pillanatnyi folyáshatárát”, a  $k_f$  alakítási szilárdságot jelenti a  $\lambda$  alakváltozási mérték függvényében – matematikai modellje többféle lehet, amelyek közül néhányat a jobboldali **ábra** mutat be.

A valós anyag ( $\alpha$ ) viselkedését az  $\zeta$  modell közelíti legjobban, így a legtöbb végeselemes program is ezt használja. Vannak azonban olyan feladatok is, melyekhez valamelyik egyszerűbb ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  vagy  $\varepsilon$ ) modell is jól megfelel.

Az ilyen konstans vagy lineáris szakaszokból álló helyettesítő függvény helyett realisabb lehet a mérési adatpárok által meghatározott pontsorra regresszióanalízissel illesztett kettő- vagy többparaméteres közelítő függvény (baloldali **ábra**): pl.  $k_f = c \cdot \lambda^n$ , ahol  $c$  az egységnyi alakváltozáshoz tartozó alakítási szilárdság,  $n$  a keményedési kitevő.

## Anyagadatbázisok

Szinte valamennyi számítógépes **technológia tervező rendszer szükségképpen tartalmaz anyagadatbázis(oka)t** (pl. alakítható ill. forgácsolható anyagokra, alakító ill. forgácsoló szerszámok anyagaira; hegeszthető ill. hegesztőanyagokra; hőkezelhető, bevonatképző, ... anyagokra vonatkozóan), továbbá a megmunkáló gépekre, a dolgozók szakképzettségére, a minőségi és vizsgálati követelményekre, stb. kiterjedően is tárol(hat)nak információkat.

Az **önálló** számítógépes **adatbázisok** az anyagok összetételéről, fizikai, mechanikai, termikus és technológiai tulajdonságairól, ekvivalens (helyettesítő) minőségeiről, javasolt felhasználási területeiről tartalmaznak számszerű és szöveges információkat.

Az **on-line** (hálózaton elérhető) vagy **off-line** (pl. CD-ROM-on, DVD-n hozzáférhető) **számítógépes adatbázisok** mellett nem szabad megfeledkezni az ezek alapját képező **hagyományos** – egyedi vagy egyszerűbb tervezési feladatokhoz még mindig jól alkalmazható – **információforrások**ról sem. Ezek közé tartoznak a kézikönyvek, a szabványok, a műszaki irányelvek, a katalógusok, a táblázatok, a diagramok, a nomogramok stb. Ezen **szöveges-grafikus dokumentumok**on kívül szükségessé válhat **technológiai próbák, eljárásvizsgálatok**, gyártási **felülvizsgálatok elvégzése** is a tervezési adatok ill. eredmények megbízhatóságának fokozása végett.

### Anyagadatbázisok

Szinte valamennyi számítógépes technológia tervező rendszer szükségképpen tartalmaz anyagadatbázis(oka)t (pl. alakítható ill. forgácsolható anyagokra, alakító ill. forgácsoló szerszámok anyagaira; hegeszthető ill. hegesztőanyagokra; hőkezelhető, bevonatképző, ... anyagokra vonatkozóan), továbbá a megmunkáló gépekre, a dolgozók szakképzettségére, a minőségi és vizsgálati követelményekre, stb. kiterjedően is tárol(hat)nak információkat.

Az önálló számítógépes adatbázisok az anyagok összetételéről, fizikai, mechanikai, termikus és technológiai tulajdonságairól, ekvivalens (helyettesítő) minőségeiről, javasolt felhasználási területeiről tartalmaznak számszerű és szöveges információkat.

Az on-line (hálózaton elérhető) vagy off-line (pl. CD-ROM-on, DVD-n hozzáférhető) számítógépes adatbázisok mellett nem szabad megfeledkezni az ezek alapját képező hagyományos – egyedi vagy egyszerűbb tervezési feladatokhoz még mindig jól alkalmazható – információforrásokról sem. Ezek közé tartoznak a kézikönyvek, a szabványok, a műszaki irányelvek, a katalógusok, a táblázatok, a diagramok, a nomogramok stb. Ezen szöveges-grafikus dokumentumokon kívül szükségessé válhat technológiai próbák, eljárásvizsgálatok, gyártási felülvizsgálatok elvégzése is a tervezési adatok ill. eredmények megbízhatóságának fokozása végett.

## Anyagadatbázisok felosztása

### *információk jellege szerint:*

- **szövegorientált adatbázisok** (folyóirat-közlemények, szabadalmi leírások, műszaki-gazdasági hírek, könyvek, katalógusok, szabványok, műszaki irányelvek, ..... teljes terjedelemben vagy kivonatosan)
  - bibliográfiai adatbázisok (folyóiratcikkek adatai, könyvek adatai, .....)
- **numerikus adatbázisok** (szám adatok, rövid értelmező szövegek, ..... együttesen)
  - faktografikus adatbázisok (mérési ill. megfigyelési adatok, statisztikai adatok, ..... azaz tény adatok)

### *információk eredete szerint:*

- **forrás adatbázisok** (primer, elsődleges, „elsőkézből származó”, azaz teljes terjedelmű információk)
- **hivatkozó adatbázisok** (szekunder, másodlagos, „másodkézből” származó, azaz kivonatos ill. „sűrített” információk)

Az anyagadatbázisok felosztása lehetséges még:

- az információk jellege szerint:
  - szövegorientált adatbázisok (folyóirat-közlemények, szabadalmi leírások, műszaki-gazdasági hírek, könyvek, katalógusok, szabványok, műszaki irányelvek, ..... teljes terjedelemben vagy kivonatosan)
  - bibliográfiai adatbázisok (folyóiratcikkek adatai, könyvek adatai, .....)
  - numerikus adatbázisok (szám adatok, rövid értelmező szövegek, ..... együttesen)
  - faktografikus adatbázisok (mérési ill. megfigyelési adatok, statisztikai adatok, ..... azaz tény adatok)
- az információk eredete szerint:
  - forrás adatbázisok (primer, elsődleges, „elsőkézből származó”, azaz teljes terjedelmű információk)
  - hivatkozó adatbázisok (szekunder, másodlagos, „másodkézből” származó, azaz kivonatos ill. „sűrített” információk)

## Közelítő tervezés

A koncepcionális tervezést követő második lépcső a közelítő tervezés, melynek során – a kiválasztott anyagcsoporto(ka)t a **fizikai (konstrukciós) tulajdonságaik, megmunkálhatóságuk (technológiai tulajdonságaik), károsodásállóságuk (üzemeltetési tulajdonságaik) alapján** értékelve – a szóba jöhető **anyagok szűkebb köre jelölhető ki** alaposabb elemzésre. Itt **alkalmazhatók a nyomtatott szakirodalom** (szabványok, műszaki irányelvek, kézikönyvek, szakfolyóiratok, anyagprospektusok, mérési jegyzőkönyvek), vagy az ezeket feldolgozó, tároló **szoftverek** és **adatbázisok**, valamint a mesterséges intelligenciát megtestesítő **szakértői rendszerek** (komplex szakértői tudásbázisból és azt intelligensen kezelő rendszervázból /shellből/ álló szoftverek).

A koncepcionális tervezést követő második lépcső a közelítő tervezés, melynek során – a kiválasztott anyagcsoporto(ka)t fizikai, megmunkálhatósági és károsodásállósági jellemzők alapján értékelve – a szóba jöhető anyagok szűkebb köre jelölhető ki alaposabb elemzésre.

Itt alkalmazhatók a nyomtatott szakirodalom (szabványok, műszaki irányelvek, kézikönyvek, szakfolyóiratok, anyagprospektusok, mérési jegyzőkönyvek), vagy az ezeket feldolgozó, tároló szoftverek és adatbázisok, valamint a mesterséges intelligenciát megtestesítő szakértői rendszerek (komplex szakértői tudásbázisból és azt intelligensen kezelő rendszervázból /shell-ből/ álló szoftverek).



## Hatásmátrix-módszer

Egy mátrixszerű táblázatban az **egyes oszlopokhoz egy-egy szóba jöhető anyagot** (alternatívát) hozzárendelünk. A táblázat soraihoz pedig egy-egy **tervezési-kiválasztási követelményt** (szempontot) **kapcsolunk**, beleértve a gazdasági (költség-) tényezőket is. Ezután soronként (szempontonként), egy **alkalmasan megválasztott skála fokozatai szerint** (pl. iskolai osztályzatoknak megfelelő 1-től 5-ig terjedő számskálán) **minősítjük** (értékeljük) az **egyes anyagok** (alternatívák) adott **követelménynek való megfelelését** és a minősítő adatot az illető anyag oszlopában rögzítjük. Valamennyi szempont alapján elvégezve az értékelést és az egyes oszlopok számadatait összeadva, az összegek alapján kiválasztható(k) a legjobb (legnagyobb pontszámú) anyag(ok). Lehetőség nyílik arra is, hogy a **kiválasztási szempontokat súlyozzuk**, azaz egy jelentőséget (fontosságot) kifejező szorzótényezőt rendelünk hozzájuk, mellyel a minősítő számadatot megszorozzuk. Ilyen módon jobban érvényesül a nagyon és a kevésbé lényeges jellemzők közötti megkülönböztetés. Mind a minősítő szempontrendszer felállítása, mind a minősítés, ill. súlyozás kellő szakértelmet, „környezetismeretet” és elfogulatlanságot feltételez. Egy közismert használati tárgyunk, a pohár egyszerűsített példáján keresztül látható a hatásmátrix összeállítása és kiértékelése.

Alternativa										
Szempont	papír	polietilén	ezüst	rozsdamentes acél	üveg					
mechanikai tulajdonságok (szilárdság, merevség)	1	2	3	4	5					
megmunkálhatóság (jellemző technológiákkal)	3	5	2	1	4					
károsodásállóság (rendeltetésszerű használattal)	1	2	3	4	5					
megbízhatóság (stabilitás, tartósság)	1	3	4	5	2					
újrahasznosíthatóság (környezetterhelés)	3	1	5	4	2					
anyagköltség	4	5	1	2	3					
kis sorozatú gyártás költsége	3	1	2	2	3					
nagy sorozatú gyártás költsége	5	5	3	2	4					
összpontszám	16	18	19	23	20	21	22	22	24	25
rangsorbeli szám	5.	V.	4.	II.	3.	IV.	2.	III.	1.	I.

Segítséget nyújthat a közelítő tervezésben az ún. hatásmátrix-módszer is, melynek lényege röviden a következő. Egy mátrixszerű táblázatban az egyes oszlopokhoz egy-egy szóba jöhető anyagot (alternatívát) hozzárendelünk. A táblázat soraihoz pedig egy-egy tervezési-kiválasztási követelményt (szempontot) kapcsolunk, beleértve a gazdasági (költség-) tényezőket is.

Ezután soronként (szempontonként), egy alkalmasan megválasztott skála fokozatai szerint (pl. iskolai osztályzatoknak megfelelő 1-től 5-ig terjedő számskálán) minősítjük (értékeljük) az egyes anyagok (alternatívák) adott követelménynek való megfelelését és a minősítő adatot az illető anyag oszlopában rögzítjük. Valamennyi szempont alapján elvégezve az értékelést és az egyes oszlopok számadatait összeadva, az összegek alapján kiválasztható(k) a legjobb (legnagyobb pontszámú) anyag(ok). A **táblázat** egy közismert használati tárgyunk, a pohár egyszerűsített példáján keresztül mutatja be a hatásmátrix összeállítását és kiértékelését.

Lehetőség nyílik arra is, hogy a kiválasztási szempontokat súlyozzuk, azaz egy jelentőséget (fontosságot) kifejező szorzótényezőt rendelünk hozzájuk, mellyel a minősítő számadatot megszorozzuk. Ilyen módon jobban érvényesül a nagyon és a kevésbé lényeges jellemzők közötti megkülönböztetés.

Mind a minősítő szempontrendszer felállítása, mind a minősítés, ill. súlyozás kellő szakértelmet, „környezetismeretet” és elfogulatlanságot feltételez.

## Konkrét tervezés

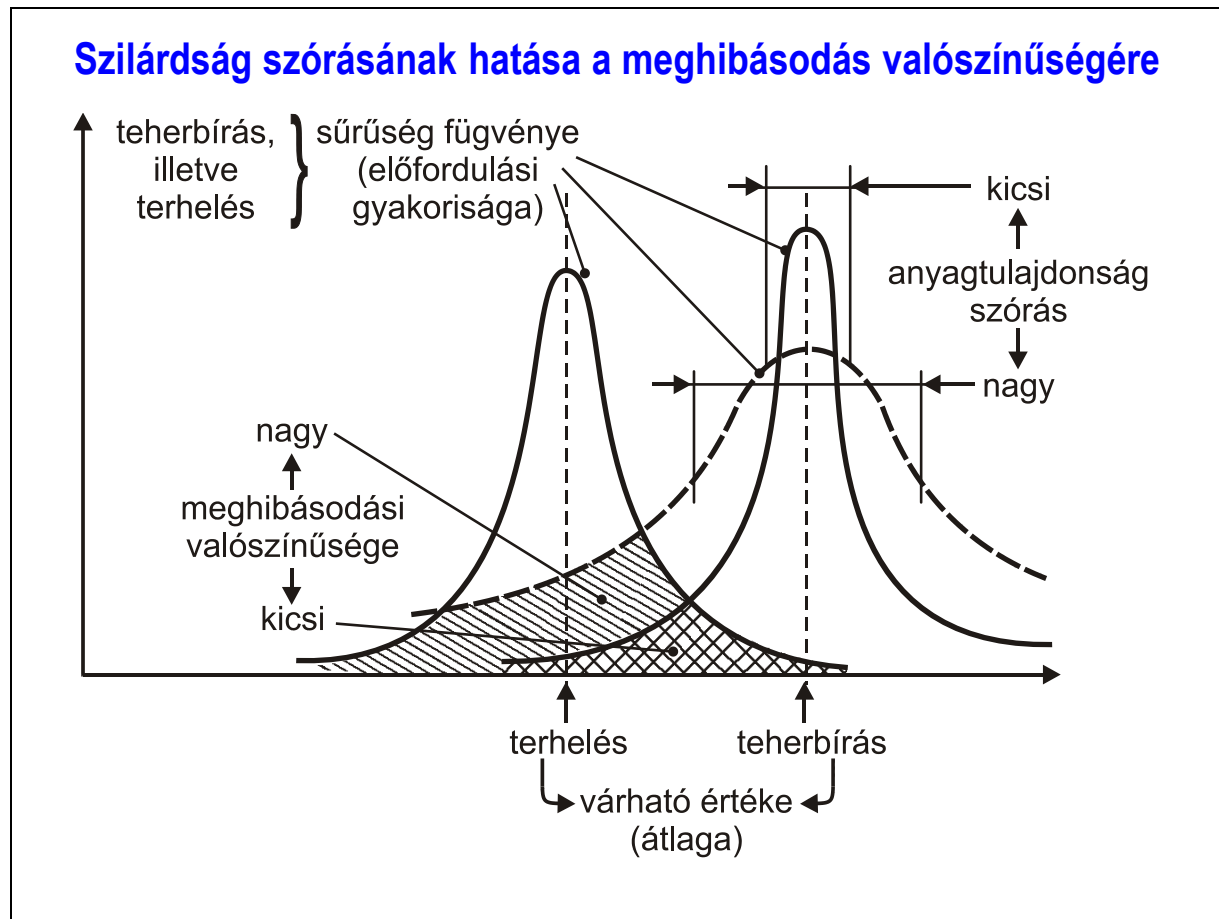
A tervezés harmadik lépcsőjével az előzőekben kijelölt anyagcsoport vagy annak néhány anyaga közül választjuk ki azt az **egy anyagot**, ami optimálisnak tekinthető, hozzárendelve a **végző alakot, méreteket és gyártástechnológiát**. Ez már az anyagjellemzők precíz ismeretét feltételezi, ezért az alapanyaggyártók által **szavatolt és bizonylatolt anyagjellemzőket** szabad figyelembe venni. Ezek hiányában, ill. kontrolljaként **saját vizsgálati adatokra** kell támaszkodni. A végző alak és méretek meghatározásában – a termékminta- vagy prototípus-gyártást megelőzően – igen hasznos és költségkímélő lehet ún. **végelelemes analízist**, ill. **szimulációt** végezni. Ez elősegítheti a termék biztonságosságának növelését – a lokális feszültséggyűjtő (repedésveszélyt jelentő) helyek kiszűrése révén – valamint a technológiai kivitelezhetőség ellenőrzését is lehetővé teszi. Az ipari **formatervezés** (design) is hozzátartozik a **terméktervezés**hez, vagy az építészeti kreativitás az **épített környezet megvalósításához**. Ez igen komoly kihívások elé állíthatja a konstruktőröket, anyagmérnököket. Egy-egy iparművészi vagy építészeti elképzelés gyakran a „járatos” anyagok teherviselő képességének vagy stabilitásának a határát súrolja, ilyenkor a **legjobb tulajdonságú** és/vagy a **legkisebb tulajdonság-szórású** anyagok körében kell válogatni, ami ugyan megnöveli a költségeket, de kellő biztonságot ad. Bizonyos esetekben esztétikai igényként a **különleges, dekoratív felület** merül fel. Ez a műszakilag és gazdaságilag is optimális **alapanyag–felülettechnológia** (bevonatanyag) **kombináció** kiválasztásánál jelent irányadó szempontot.

A tervezés harmadik lépcsőjével az előzőekben kijelölt anyagcsoport vagy annak néhány anyaga közül választjuk ki azt az egy anyagot, ami optimálisnak tekinthető, hozzárendelve a végző alakot, méreteket és gyártástechnológiát. Ez már az anyagjellemzők precíz ismeretét feltételezi, ezért az alapanyaggyártók által szavatolt és bizonylatolt anyagjellemzőket szabad figyelembe venni. Ezek hiányában, ill. kontrolljaként saját vizsgálati adatokra kell támaszkodni.

A végző alak és méretek meghatározásában – a termékminta- vagy prototípus-gyártást megelőzően – igen hasznos és költségkímélő lehet ún. végelelemes analízist, ill. szimulációt végezni, ez elősegítheti a termék biztonságosságának növelését – a lokális feszültséggyűjtő helyek kiszűrése révén – valamint a technológiai kivitelezhetőség ellenőrzését is lehetővé teszi.

Manapság az ipari formatervezés (design) is hozzátartozik a terméktervezéshez, vagy az építészeti kreativitás az épített környezet megvalósításához. Ez igen komoly kihívások elé állíthatja a konstruktőröket, anyagmérnököket. Egy-egy iparművészi vagy építészeti elképzelés gyakran a „járatos” anyagok teherviselő-képességének vagy stabilitásának a határát súrolja, ilyenkor a legjobb tulajdonságú és/vagy a legkisebb tulajdonságszórású anyagok körében kell válogatni, ami ugyan megnöveli a költségeket, de kellő biztonságot ad.

Bizonyos esetekben esztétikai igényként a különleges, dekoratív felület merül fel. Ez a műszakilag és gazdaságilag is optimális alapanyag – felülettechnológia (bevonatanyag) kombináció kiválasztásánál jelent irányadó szempontot.



Az anyagminősítő, anyagtulajdonságokat meghatározó vizsgálatok, mérések során szisztematikus (mérőeszköz vagy mérőszemélyzet miatti) és véletlen (vizsgált anyagmintákból eredő) hibák adódhatnak. Ezért a mérési adatok megbízhatósága érdekében több mérés és azok statisztikai kiértékelése célszerű, sőt sok esetben szükséges. Azonban a statisztikai várható érték (átlag) akkor tekinthető megbízható adatnak, ha az viszonylag kis szórást (különbségeket) mutató eredménygyakoriságból, ill. -eloszlásból származik.

Az **ábra** mechanikai terhelési esetre mutatja a teherbírás (szilárdság) szórásának hatását a meghibásodás valószínűségére. Látható, hogy két azonos szilárdságátlagot szavatoló anyagbeszállító közül azt célszerű választani, amelyik kisebb tulajdonságszórású anyagot képes folyamatosan rendelkezésre bocsátani, mert ezzel kisebb biztonsági tényező (ezzel együtt kisebb önsúly, ill. anyagfelhasználás) esetén is kicsi marad egy esetleges meghibásodás valószínűsége.

## Biztonsági szempontok

A tervezésnél, ill. az anyagválasztásnál sok ellentétes követelményt kell figyelembe venni (pl. gépkocsi tömegének csökkentése ↔ utasok biztonságának növelése; szerkezeti elem nagy szilárdsága ↔ kis ridegtörési hajlama stb.). Ezért a **tervezés** általában **nem abszolút biztonságra, hanem** – a tönkremenetel veszélyességének mértékétől függően – **előírt biztonsági tényezőre** ill. **meghibásodási valószínűsége**re történik. A méretezés statisztikus szemléletű, hiszen mind a **várható igénybevétel** (pl. terhelés), mind a **mért anyagjellemző** (pl. szilárdság, azaz teherbírás), az esetek többségében **valószínűségi változónak** tekintendő.

**Biztonsági  
tényezők  
jellemző  
értékei**

károsodás, tönkremenetel:	statikus igénybevétel hatására szakadás	dinamikus igénybevétel hatására kifáradás	rugalmas deformáció: alakváltozás, méretváltozás	rugalmas instabilitás: kihajlás, horpadás
méretezés anyagjellemzőre:	folyáshatár, (szakítószilárdságra)	kifáradási határ	kritikus méretváltozásra	kritikus erőre
általános gépszerkezetekre	2,0...4,0	2,0...3,5	1,3...2,0	-
teherviselő acélszerkezetekre	2,2...2,6	-	1,5...1,7	3,0...4,0
nyomástartó acélszerkezetekre	2,0...3,0	-	1,4...1,8	3,5...5,0
fogaskerekekre	-	2,2...3,0	-	-
drótkötelekre	8,0...20,0	-	-	-

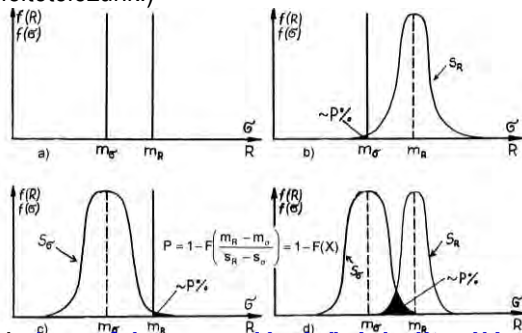
A tervezésnél, ill. az anyagválasztásnál sok ellentétes követelményt kell figyelembe venni (pl. gépkocsi tömegének csökkentése ↔ utasok biztonságának növelése; szerkezeti elem nagy szilárdsága ↔ kis ridegtörési hajlama stb.).

Ezért a tervezéskor általában nem abszolút biztonságra, hanem – a tönkremenetel veszélyességének mértékétől függően – előírt (1-nél mindenképpen nagyobb) biztonsági tényezőre (**táblázat**), ill. minél kisebb meghibásodási valószínűsége törekednek.

A méretezés statisztikus szemléletű, hiszen mind a várható igénybevétel (pl. terhelés), mind a mért anyagjellemző (pl. szilárdság, azaz teherbírás), az esetek többségében valószínűségi változónak tekintendő.

## Terhelési-teherbírási esetek meghibásodási valószínűsége

Az ábrán szereplő négy eset mindegyikénél az anyagtulajdonság ( $R$ ) és a terhelés ( $\sigma$ ) várható értékeinek ( $m$ ) hányadosából képezhető **biztonsági tényező** ( $b=m_R/m_\sigma$ ) **azonos**, a példa szerint  $450 \text{ MPa} / 300 \text{ MPa} = 1,5$ . Azonban a **meghibásodási** (törési) **valószínűség**, ill. az ebből eredő kockázat már **különbözik**. (A példában a folytonos valószínűségi változóknál Gauss-féle normális eloszlást feltételezünk.)



A **c) eset folytonos valószínűségi változójú** ( $s_\sigma = 40 \text{ MPa}$ ) **terhelést** állít szembe **konstans** ( $s_R = 0 \text{ MPa}$ ) **anyagtulajdonsággal** (teherbírással). A meghibásodás (törés) valószínűsége az előzőek szerint meghatározva:  $0,00009$ , azaz  $0,009\%$ .

A **d) esetben mindkét mennyiség folytonos sűrűség- ill. eloszlásfüggvénnyel jellemezhető** ( $s_R = 20 \text{ MPa}$  és  $s_\sigma = 40 \text{ MPa}$ ), így  $P=0,0062$ , azaz  $0,62\%$ .

Az **a) jelű esetben** mind a **terhelés**, mind a **teherbírás diszkrét állandó érték**, így mivel az  $m_R/m_\sigma > 1$ , a meghibásodás kizárható, azaz a törési valószínűség nulla.

A **b) eset konstans terhelésével szemben folytonos valószínűségi változójú anyagtulajdonság** áll. Az anyagtulajdonság-eloszlás sűrűségfüggvényének (gyakorisági harang-görbéjének) értelmezési tartománya a terhelés értéke alá is kerülhet. Ezért annak valószínűsége, hogy a terhelés valós esetben meghaladja az anyag teherbírását, az ábrán látható képlettel adható meg, ahol  $F(X)$  az eloszlásfüggvény numerikusan számítható, vagy függvénytáblázatból kereshető értéke. Az  $s_R$  és  $s_\sigma$  az anyagtulajdonság, ill. a terhelés előfordulási gyakoriságát jellemző szórás. A példában  $s_R = 20 \text{ MPa}$  és  $s_\sigma = 0 \text{ MPa}$ , melyekkel számított törési valószínűség olyan kicsi számérték, hogy gyakorlatilag nullának tekinthető.

Az **ábrán** szereplő négy eset mindegyikénél az anyagtulajdonság ( $R$  szilárdsági jellemző, pl. folyáshatár) és a terhelés ( $\sigma$  mechanikai feszültség) várható értékeinek ( $m$ ) hányadosából képezhető biztonsági tényező ( $b=m_R/m_\sigma$ ) **azonos**, a példa szerint  $450 \text{ MPa} / 300 \text{ MPa} = 1,5$ . Azonban a meghibásodási (törési) valószínűség, ill. az ebből eredő kockázat már **különbözik**. (A példában a folytonos valószínűségi változóknál Gauss-féle normális eloszlást feltételezünk, egyszerűsített ábrázolásban.)

Az **a) jelű esetben** mind a terhelés, mind a teherbírás diszkrét állandó érték, így mivel az  $m_R/m_\sigma > 1$ , a meghibásodás kizárható, azaz a törési valószínűség nulla.

A **b) eset** konstans terhelésével szemben folytonos valószínűségi változójú anyagtulajdonság áll. Az anyagtulajdonság-eloszlás sűrűségfüggvényének (gyakorisági haranggörbéjének) értelmezési tartománya a terhelés értéke alá is kerülhet. Ezért annak valószínűsége, hogy a terhelés valós esetben meghaladja az anyag teherbírását, az ábrán látható képlettel adható meg, ahol  $F(X)$  az eloszlásfüggvény numerikusan számítható, vagy függvénytáblázatból kereshető értéke. Az  $s_R$  és  $s_\sigma$  az anyagtulajdonság, ill. a terhelés előfordulási gyakoriságát jellemző szórás. A példában  $s_R = 20 \text{ MPa}$  és  $s_\sigma = 0 \text{ MPa}$ , melyekkel számított törési valószínűség olyan kicsi számérték, hogy gyakorlatilag nullának tekinthető.

A **c) eset** folytonos valószínűségi változójú ( $s_\sigma = 40 \text{ MPa}$ ) terhelést állít szembe konstans ( $s_R = 0 \text{ MPa}$ ) anyagtulajdonsággal (teherbírással). A meghibásodás (törés) valószínűsége az előzőek szerint meghatározva:  $0,00009$ , azaz  $0,009\%$ .

A **d) esetben** mindkét mennyiség folytonos sűrűség- ill. eloszlásfüggvénnyel jellemezhető ( $s_R = 20 \text{ MPa}$  és  $s_\sigma = 40 \text{ MPa}$ ), így  $P=0,0062$ , azaz  $0,62\%$ .

## Biztonsági tényező és törési valószínűség

A terhelés- és az anyagtulajdonság-eloszlás más jellemzői mellett a törési valószínűség is módosul. A **törési valószínűség becslése** lényegesen többet mond a **várható kockázatról**, mint a biztonsági tényező. Ugyanis a gyakorlatban az 1,5-es biztonsági tényező viszonylag kicsinek számít, viszont a törési valószínűség igen kis értéke ( $P < 1\%$ ) miatt a váratlan tönkremenetel gyakorlatilag kizárható.

A várható érték mellett nagyon fontos paraméter a  $s_\sigma$  ill. az  $s_R$  szórás is, hiszen ha ezek értéke túl nagy lenne, akkor a törési valószínűség a sokszorosára növekedne. Ezért nagyon **lényeges a gondos alapanyaggyártás** (kicsi anyagtulajdonság-szórás biztosítása) és a **várható igénybevétel pontosabb ismerete**.

Az a) és a c) eset fordul elő legritkábban, azaz az anyagtulajdonságok szórása nem csökkenthető nullára, csak ésszerű határok közé szorítható be, aminek viszont többletköltségvonzata van. De az **alapanyag-gyártás szórás csökkentése** kevesebbe kerül(het), mint a nagy szórásból adódó veszély elkerülése miatt túlzottan megnövelt biztonsági tényező, anyagszükséglet, ill. **gyártmányönsúly!**

A terhelés- és az anyagtulajdonság-eloszlás más jellemzői mellett a törési valószínűség is módosul. A törési valószínűség becslése lényegesen többet mond a várható kockázatról, mint a biztonsági tényező. Ugyanis a gyakorlatban az 1,5-es biztonsági tényező viszonylag kicsinek számít, viszont a törési valószínűség igen kis értéke ( $P < 1\%$ ) miatt a váratlan tönkremenetel gyakorlatilag kizárható.

A várható érték mellett tehát nagyon fontos paraméter a  $s_\sigma$  ill. az  $s_R$  szórás is, hiszen ha ezek értéke túl nagy lenne, akkor a törési valószínűség a sokszorosára növekedne. Ezért nagyon lényeges a gondos alapanyaggyártás (kismértékű anyagtulajdonság-szórás elérése) és a várható igénybevétel pontosabb ismerete.

Az a) és a c) eset fordul elő legritkábban, azaz az anyagtulajdonságok szórása nem csökkenthető nullára, csak ésszerű határok közé szorítható be, aminek viszont többletköltségvonzata van. De az alapanyag-gyártás szórás csökkentése kevesebbe kerül(het), mint a nagy szórásból adódó veszély elkerülése miatt túlzottan megnövelt biztonsági tényező, anyagszükséglet, ill. **gyártmányönsúly!**

## Szabványügyi szempontok

Tervezéskor leggyakrabban **szabványok vagy katalógusok** nyomtatott ill. elektronikus adathordozón tárolt **információinak alapulvételével** történik az anyag kiválasztás. De nem csak **alapanyagok**, hanem **alkatrészek** (pl. csavar, alátét, rugó), sőt **részegységek** (pl. hajtómű, villanymotor, tengelykapcsoló) közül is lehet ilyen módon szelektálni. Ezen szabványos elemek (ún. normáliák) és katalógus alapján rendelt részegységek felhasználása esetén **közvetett anyag kiválasztásról** van szó, ugyanis az ilyen termékek konstrukciójával, funkciójával együtt a tervezőjük szerint megfelelő, ill. a gyártójuk által garantált minőségű anyagukat is választjuk.

Maradva a **közvetlen kiválasztásánál**, az **anyagszabványok kémiai összetételre** és/vagy **fizikai** (elsősorban mechanikai) **tulajdonságokra** vonatkozóan tartalmaznak előírásokat, határértékeket, ill. ezek alapján **technológiai** (pl. hőkezelési) és **alkalmazási irányelveket**. A szabványok másik csoportja a **külső makroszerkezetre** vonatkozóan ad információkat, azaz a rúdanyagok, idományagok, szélesanyagok, szalaganyagok ún. **méret- ill. alaksorát** tartalmazzák. A szabványokban rendszerint fontos szempont, hogy az **anyag jelölésének** legyen valamilyen **információértéke** is.

### Szabványügyi szempontok

Tervezéskor leggyakrabban szabványok vagy katalógusok nyomtatott ill. elektronikus adathordozón tárolt információinak alapulvételével valósul meg az anyag kiválasztás.

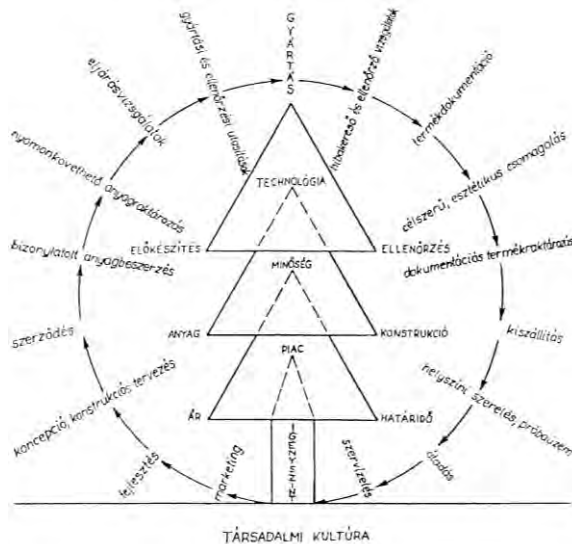
De nem csak alapanyagok, hanem alkatrészek (pl. csavar, alátét, rugó), sőt részegységek (pl. hajtómű, villanymotor, tengelykapcsoló) közül is lehet ilyen módon szelektálni. Ezen szabványos elemek (ún. normáliák) és katalógus alapján rendelt részegységek felhasználása esetén közvetett anyag kiválasztásról van szó, ugyanis az ilyen termékek konstrukciójával, funkciójával együtt a tervezőjük szerint megfelelő, ill. a gyártójuk által garantált minőségű anyagukat is választjuk.

Maradva a közvetlen kiválasztásánál, az anyagszabványok kémiai összetételre és/vagy fizikai (elsősorban mechanikai) tulajdonságokra vonatkozóan tartalmaznak előírásokat, határértékeket, ill. ezek alapján technológiai (pl. hőkezelési) és alkalmazási irányelveket. A szabványok másik csoportja a külső makroszerkezetre vonatkozóan ad információkat, azaz a rúdanyagok, idományagok, szélesanyagok, szalaganyagok ún. méret- ill. alaksorát tartalmazzák. A szabványokban rendszerint fontos szempont, hogy az anyag jelölésének legyen valamilyen információértéke is.

Az anyagszabványokat általában a nagy alapanyaggyártókhoz igazítják (gyakran azok diktálják), ezért sok esetben előnyösebb a nagy tömegben gyártott szabványos anyagokat választani, mint egyedi igényeknek megfelelő anyagot előállítani (előállíttatni).

## Minőségügyi szempontok

A **minőség** a termék vagy a szolgáltatás (eladói kínálat) jellemzőinek összessége, **adott követelmények** (vevői igény) **kielégítésének alkalmasságára** vonatkoztatva. Egyszerűbben: minőség az, ami kívánt **határidőre** rendelkezésre áll, és az **árát** a vevő önszántából hajlandó megfizetni. A **minőségirányítás** (minőségszabályozás) pedig azon **műszaki és gazdasági** (menedzsment) **tevékenységek együttese**, melyek a **tervezés, kivitelezés és szervizelés lehető legjobb** (a vevő bizalmát megtartó) **eredményességét szolgálják**.



Egy termék minőségét három tényező határozza meg: a tervezés során kiválasztott **anyag**(ok) ill. megszerkesztett **konstrukció**, valamint a kivitelezés során alkalmazott **technológiá**(k). A tervezési előírásokhoz igazodva kell az **anyagok beszerzéséről** gondoskodni. Minőségügyi rendszerben ez azt is jelentheti, hogy csak **akkreditált** (minősített) **alapanyag-gyártóktól** történhet a beszerzés, akik bizonylatokban **garanciát** vállalnak az általuk közölt **anyagjellemzőkért**. Ilyen esetekben az anyagválasztáshoz a minőségirányítási rendszerrel rendelkező alapanyag-gyártók/forgalmazók közül választás is köztudott. A technológiák előkészítésekor – igazodva a tervezési előírásokhoz és a szerződési feltételekhez – gondoskodni kell a beszerzett anyagok, termékek megfelelő kezeléséről és a gyártási **nyomon követhetőségéről**.

### Minőségügyi szempontok

A minőség a termék vagy a szolgáltatás (eladói kínálat) jellemzőinek összessége, adott követelmények (vevői igény) kielégítésének alkalmasságára vonatkoztatva. Egyszerűbben: minőség az, ami kívánt határidőre rendelkezésre áll, és az árát a vevő önszántából hajlandó megfizetni. A minőségirányítás (minőségszabályozás) pedig azon műszaki és gazdasági (menedzsment) tevékenységek együttese, melyek a tervezés, gyártás, vevőhöz juttatás (kereskedelem) és szervizelés lehető legjobb (a vevő bizalmát megtartó) eredményességét szolgálják.

Egy termék minőségét alapvetően három tényező határozza meg (**ábra**): a tervezés során kiválasztott anyag(ok), ill. megszerkesztett konstrukció, valamint a kivitelezés során alkalmazott technológiá(k). A tervezésnél (az írásztalnál, a rajzasztalnál, a számítógépnél) lehet legtöbbet spórolni, hiszen itt a legkisebb a szükségesnek vagy indokoltan ítélt változtatások költségvonzata. A kivitelezés, gyártás során felmerülő változtatás már aránytalanul sokba kerül.

A tervezési előírásokhoz igazodva kell az anyagok beszerzéséről gondoskodni. Minőségügyi rendszerben ez azt is jelentheti, hogy csak akkreditált (minősített) alapanyaggyártóktól történhet a beszerzés, akik bizonylatokban garanciát vállalnak az általuk produkált, ill. közölt anyagjellemzőkért. Tehát ilyen esetekben az anyagválasztáshoz a minőségirányítási rendszerrel rendelkező alapanyaggyártók/forgalmazók közül választás is kapcsolódik.

Mind az anyaggyártók, mind az anyagfeldolgozók esetében érvényes az a megállapítás, hogy a minőséget nem lehet belevizsgálni az anyagba, ill. a termékbe, hanem azt bele kell tervezni és gyártani. Ekkor az ellenőrzés feladata csupán annyi, hogy megállapítsa és dokumentálja a jó minőséget és ne kozmetikázott adatokat szolgáltatson a bizonylatokban, ill. a prospektusokban.



A technológiák előkészítésekor – igazodva a tervezési előírásokhoz és a szerződési feltételekhez – gondoskodni kell a beszerzett anyagok, termékek megfelelő kezeléséről és a gyártási nyomon követhetőségéről. A gyártás megkezdése előtt felül kell vizsgálni az alkalmazandó anyagokat, eljárásokat és részletes, egyértelmű, a gyártásban közreműködők szakképzettségéhez mérten megfogalmazott, több szakember által ellenőrzött, ill. jóváhagyott műveleti utasításokat kell kidolgozni.

## Ökológiai szempontok

A **geo- és humánökológia** fontosságára is már a tervezésnél tekintettel kell(ene) lenni, hiszen nem minden anyag, ill. termék tekinthető természet- vagy emberbarátnak.

Ahol mód és lehetőség kínálkozik, keresni kell az **öko-design** megoldásokat, melyek anyagukban, gyártástechnológiájukban és alkalmazásukban is illeszkednek az ökológiai rendszerbe, azaz nem okoznak környezeti, természeti károkat.

Érdeemes, sőt fontos szem előtt tartani az ún. **természeti alapelveket**:

- A természetben minden mindennel összefügg.
  - A természetben harmonikus körforgalom uralkodik.
  - A természetben nincs „szeretetvendégség”, vagyis a „fogyasztásért fizetni” is kell.
  - A természet mindent jobban tud, tehát érdemes tanulni tőle.
- „Egy vállalat van, amely 4 milliárd éve működik, melynek neve természet ...” (Frederic Verter)

### Ökológiai szempontok

A geo- és humánökológia fontosságára is már a tervezésnél tekintettel kellene lenni, hiszen nem minden anyag, ill. termék tekinthető természet- vagy emberbarátnak. Ahol mód és lehetőség kínálkozik, keresni kell az öko-design megoldásokat, melyek anyagukban, gyártástechnológiájukban és alkalmazásukban is illeszkednek az ökológiai rendszerbe, azaz nem okoznak környezeti, természeti károkat.

Érdeemes, sőt fontos szem előtt tartani az ún. természeti alapelveket:

- A természetben minden mindennel összefügg.
- A természetben harmonikus körforgalom uralkodik.
- A természetben nincs „szeretetvendégség” (azaz nem csak fogyasztani, hanem fizetni is kell).
- A természet mindent jobban tud (érdemes tanulni tőle).

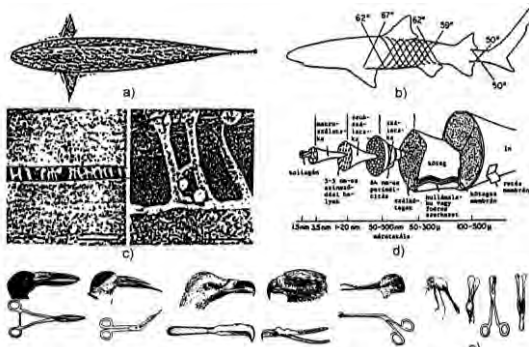
Környezetkonform irányába kell fejleszteni az anyagokat, a termékeket, a szolgáltatásokat és az alkalmazott technológiákat. Különösen fontos lenne a károsanyag-kibocsátás csökkentése, az energiafelhasználás mérséklése és/vagy újrahasznosítható (recikálható), ill. biológiailag lebomló anyagok alkalmazása.

A szerkezeti anyagok szoros kapcsolatban vannak az energiával, amely előállításukhoz, termékké való feldolgozásukhoz, majd hulladékká válásuk utáni kezelésükhöz szükséges. Ökológiai szempontból nem mindegy, hogy mennyi egy anyag fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) energiatartalma, ami kitermelése, előállítása, feldolgozása energiaigényét jelenti. Ugyanis a hagyományos energiahordozókból (szén, kőolaj, földgáz) történő energiakinyerés jelentős környezetszennyezéssel jár. Így a még tisztának nyilvánított elektromos energia alkalmazásakor is tekintettel kell lenni arra, hogy az azt előállító szén-, kőolaj- (pakura-) vagy földgáztüzelésű erőmű tetemes levegő- és vízszennyezést okoz.

Tehát ez esetben nem a gyárban, hanem az erőműnél lép fel környezetszennyezés, azaz közvetetten jelentkezik.

A reciklási hányad egy olyan – elsősorban becsléssel meghatározott – 0 és 100% közötti arányszám, mely az adott anyagból készült tipikus termékek használat (üzemeltetés) utáni újrahasznosításának szokásos ill. ésszerű (elfogadható) mértékét fejezi ki az összmennyiséghez képest. Pl. a fémhulladékok (ócskafémek) szervezett felvásárlása, az üvegek szelektív gyűjtése kedvező reciklási hányadot eredményez.

# Öko-design megoldások



A biológiai struktúrák hosszú fejlődési folyamatok eredményei, többségük kipróbált konstrukció. A **biomimetika** megkísérli a természetes rendszereket olyan szemszögből vizsgálni, hogy azokból mi alkalmazható a műszaki tervezésben.

Néhány ötletes biológiai szerkezet:

- Aramvonalas, aerodinamikailag célszerű profilt mutat a halak teste;
- A cápa bőre sajátos szerkezetű kompozit, amelyben a kollagénszálak spirálisan helyezkednek el a cápa teste körül. A váltakozó rétegekben a szálak tekerése jobb- és balspirálos, ami kiküszöböli a ráncosodást a konkáv oldalon, lehetővé téve a sima és örvénymentes vízáramlást. Az 50–65°-os száltekeresési szögnél a legkedvezőbbek azok a testdeformációk, amelyek a mozgást segítik;
- A kagyló jól példázza, hogy viszonylag gyenge ill. rideg alkotókból kiindulva, erős és szívós kompozit képződhet, mely protein-mátrixba ágyazott egy vagy több keramikus fázisból áll. Ráadásul a kagylóhéj réteges, melyben a réteghatárok megállíthatják a repedéseket, ugyanis eltérő orientációjú, könnyű és nehéz törési irányokat integrál a szerkezetébe, terheléskor az energia szétszóródik benne.
- Az izmokat és a csontokat összekötő inak felépítését utánzó kötélszerű szerkezeteink kiállták az idő próbáját többek között a bányászatban, a tengerészetben és az emelőgépekben.
- A madarak változatos csőralkakításai különféle célú csipeszek, fogók és ollók konstrukciós példái lehetnek.

A biológiai struktúrák hosszú fejlődési folyamatok eredményei, többségük kipróbált konstrukció. A biomimetika megkísérli a természetes rendszereket olyan szemszögből vizsgálni, hogy azokból mi alkalmazható a műszaki tervezésben. (Persze nem minden nagy ötlet található meg a biológiai rendszerekben, gondoljunk csak a keréktengely megoldásra.)

Néhány ötletes biológiai szerkezet:

Áramvonalas, aerodinamikailag célszerű profilt mutat a halak teste (**a. ábra**);

A cápa bőre sajátos szerkezetű kompozit, amelyben a kollagénszálak spirálisan helyezkednek el a cápa teste körül (**b. ábra**). A váltakozó rétegekben a szálak tekerése jobb- és balspirálos, ami kiküszöböli a ráncosodást a konkáv oldalon, lehetővé téve a sima és örvénymentes vízáramlást. Az 50–65°-os száltekeresési szögnél a legkedvezőbbek azok a testdeformációk, amelyek a mozgást segítik;

A kagyló jól példázza, hogy viszonylag gyenge ill. rideg alkotókból kiindulva, erős és szívós kompozit képződhet, mely protein-mátrixba ágyazott egy vagy több keramikus fázisból áll (**c. ábra**). Ráadásul a kagylóhéj réteges, melyben a réteghatárok megállíthatják a repedéseket, ugyanis eltérő orientációjú, könnyű és nehéz törési irányokat integrál a szerkezetébe, terheléskor az energia szétszóródik benne.

Az izmokat és a csontokat összekötő inak felépítését (**d. ábra**) utánzó kötélszerű szerkezeteink kiállták az idő próbáját többek között a bányászatban, a tengerészetben és az emelőgépekben.

A madarak változatos csőralkakításai (**e. ábra**) különféle célú csipeszek, fogók és ollók konstrukciós példái lehetnek.

## Ökonómiai szempontok

A termék-előállítási költség két legfontosabb összetevője az **anyag** (nyersanyag, kitermelés, szállítás, ...) és a **gyártási technológia költsége**.

Nem célravezető mindig az anyagköltség minimalizálása, mert sok esetben az **olcsóbb alapanyag csekély élettartamot, kis használati biztonságot, sőt nagy ráfordításigényű gyártástechnológiát** von(hat) maga után.

Ugyancsak figyelembe kell venni az anyagok **külső makroszerkezetének beszerezhető formáit**.

Az anyagkiválasztás optimum kritériuma a műszaki és a gazdasági paraméterek legkedvezőbb összhangja kell legyen. Mivel a feladat meglehetősen komplex, ezért erre az **optimumra** legtöbb esetben csak törekszünk, mert gyakran **kompromisszumokra** kényszerülünk.

A termék-előállítási költség két legfontosabb összetevője az anyag (nyersanyag, kitermelés, szállítás stb.) és a gyártási technológia költsége. Nem célravezető mindig az anyagköltség minimalizálása, mert sok esetben az olcsóbb alapanyag csekély élettartamot, kis használati biztonságot, sőt nagy ráfordítás-igényű gyártástechnológiát von(hat) maga után. Ugyancsak figyelembe kell venni az anyagok külső makroszerkezetének beszerezhető formáit.

Az anyagkiválasztás optimum kritériuma a műszaki és a gazdasági paraméterek legkedvezőbb összhangja kell legyen. Mivel a feladat meglehetősen komplex, ezért erre az optimumra legtöbb esetben csak törekszünk, mert gyakran kompromisszumokra kényszerülünk.

Korszerű minőségmenedzsment bevezetésekor nem elég egyszer „kiszervedni” a jó minőséget, hanem folyamatosan kell tudni produkálni, sőt javítani. A minőségjavítás gazdaságélénkítő hatású is lehet. Ugyanis ha javul a minőség, csökkenthetők az előállítási költségek és ezáltal – pl. a piaci részesedés növelése érdekében – az eladási ár is. Ez megerősítheti a gyártó (forgalmazó) pozícióját, további befektetésekre (pl. munkahelyek teremtésére is) ösztönözheti.

A minőség javítása, a szubjektív hibalehetőségek szűkítése, a termelékeny sorozatgyártás ésszerű, de nem mindenáron erőltetett és gazdaságilag megalapozott gépesítéssel, robotosítással vagy automatizálással (gyártócellák, rugalmas gyártórendszer kialakításával) és a számítástechnika lehetőségeinek széleskörű kihasználásával elősegíthető. De az ilyen beruházások gyors megtérülését – a versenyben maradás érdekében – nem ajánlatos teljes egészében áremelésektől remélni, sokkal inkább a még meglévő veszteségforrások, hibák kiiktatásától.

Tapasztaljuk, hogy a hadi- ill. védelmi ipar fejlesztései, beruházásai során a pénzügyi korlátok tágabbak, ami lehetővé teszi a legjobb anyagok és technológiák (know-how-k) alkalmazását, vagy akár egészen új anyagok kifejlesztését. Sok korszerű, különleges tulajdonságú anyag megjelenését és kis késéssel a civil életben történő alkalmazhatóságát éppen a hadiipari kutatásoknak köszönhetjük.

Geológiai (földrajzi) helyzet is befolyásol(hat)ja a nagy arányban felhasználható és egyszerűen szállítható anyagok körét. Ugyanis, ha a természet olcsón hozzáférhető anyagokat kínál, akkor ezek alkalmazása ésszerűbb, mint drágán gyártani, szállítani vagy importálni. Ezért – különösen az épített környezet esetében – bizonyos országokban, ill. országrészekben pl. fa (bioanyag), másutt a pl. a kő (természetes kerámia) dominál.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi  
Egyetem



Szent István Egyetem Óbudai Egyetem



Typotex  
Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 2. A szerkezeti és szerszámanyagok rendszerezése

Szerző: Dr. Bagyinszki Gyula  
([bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu](mailto:bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu))

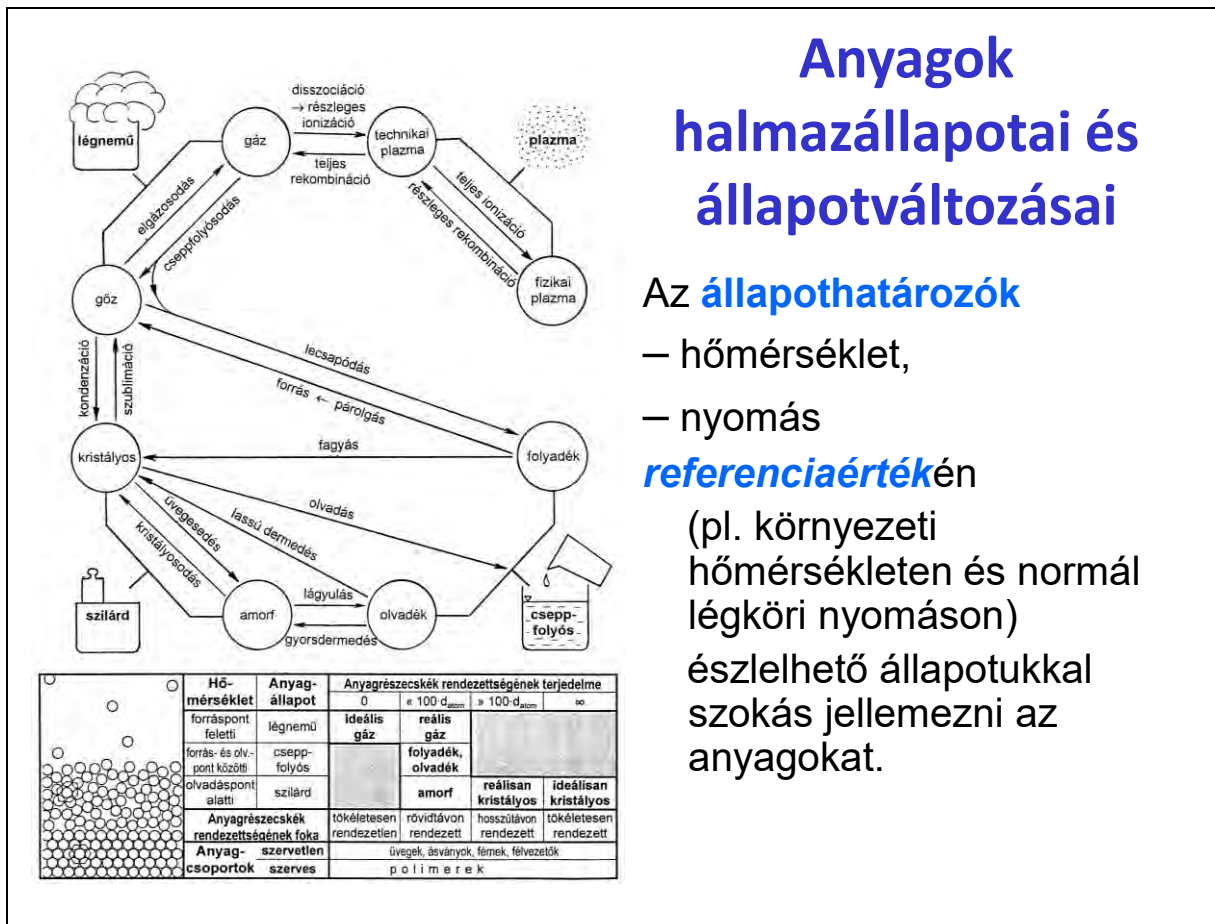
Évezredek választják el a természet adta kőszerszámot pattintó, állati bőrrrel ruházódó egyszerű emberelődöt a mai kor magasan kvalifikált kutatójától, aki tervezett tulajdonságokkal bíró fémötvözet, műanyag vagy kompozit kifejlesztésén fáradozik.

Van egy dolog, ami összeköti őket: az anyag feletti uralom vágya, az anyag hasznossá tétele. Azonban őkünk csak fel akarta használni, mi viszont szeretnénk meg is ismerni az anyagokat.

**Tartalom**

Anyagok halmazállapotai és állapotváltozásai .....	57
Kristályos szilárd anyagok módosulatai.....	59
Anyagok keverékállapotai .....	61
Szerkezeti anyagok csoportosítása.....	62
Szerkezeti anyagok választéka .....	66





## Anyagok halmazállapotai és állapotváltozásai

A környezetünkben az anyagokat szilárd, cseppfolyós és légnemű halmazállapotúnak észleljük. Az állapothatározók (hőmérséklet, nyomás) változásának hatására (energiaközléssel vagy -elvonással) ugyanazon anyag különböző halmazállapotokba kerülhet. Ezért az anyagokat általában szobahőmérsékleten és normál légköri nyomáson észlelhető állapotukkal szokás jellemezni. Az **ábra** bemutatja a különböző halmazállapotok fő jellemzőit és a közöttük való átmenetek (változások) lehetőségeit, melyek különféle anyagtechnológiák alapjául is szolgálnak.

A meghatározott térfogattal és alakkal rendelkező szilárd anyagok olvastással adott térfogatú, de változó (a tartóedény alakjához igazodó) alakú, cseppfolyós állapotba vihetők. A szilárd anyagok (megfelelő nyomáson és hőmérsékleten) szublimáció révén – a cseppfolyós állapot kimaradásával – közvetlenül légnemű állapotba kerülhetnek, ill. onnan kondenzációval vissza is alakulhatnak. A folyadékok forrás révén gőzzé vál(hat)nak, majd további hőközléssel – egy jellemző kritikus hőmérséklet felett – gázzá alakul(hat)nak.

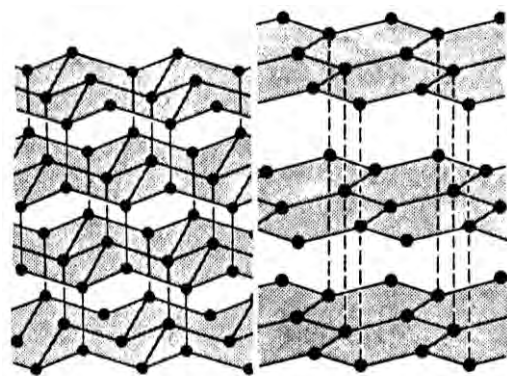
A légnemű anyagok (gőzök és gázok) határozatlan térfogatuk és alakjuk révén kitöltik a rendelkezésre álló teret. A gázok további termikus aktiválás hatására disszociálnak (a molekuláris gázok atomjaira bomlanak), ill. ionizálódnak (az atomok pozitív ionokra, ill. negatív töltésű elektronokra bomlanak). Az ionizáció mértékétől függően különböző hőmérsékletű, ill. energiatartalmú plazma keletkezik, amit az anyag negyedik halmazállapotának tekintenek. A plazma több szempontból is a gázokhoz hasonlít, de lényeges különbség az, hogy jól vezeti az elektromos áramot, míg a semleges, aktiválatlan gázok nem. A plazmának két tartományát célszerű megkülönböztetni: a technikai (technológiai) és a fizikai plazmát. A technikai plazma kisebb mértékben ionizált, hőmérséklete  $10^3 \dots 10^4$  °C nagyságrendű, tulajdonképpen a gáz és a plazma közötti átmeneti állapot, azaz molekulák, atomok, ionok, valamint

elektronok keveréke. Ezt alkalmazzák többek között anyagmegmunkálásra is, pl. hegesztés, vágás, termikus szórás stb. esetében.

A fizikai plazma (szinte) teljesen ionizált, hőmérséklete  $10^7 \dots 10^8$  °C nagyságrendű, és valójában ez az anyag negyedik halmazállapota. Ez utóbbi az egyik feltétele a magfúziós reakciónak, illetve a jelenleg használatos maghasadásos (dúsított urán fűtőanyagú) atomreaktort várhatóan a jövőben felváltó magfúziós (deutériummal és tríciummal üzemelő) reaktor működésének.

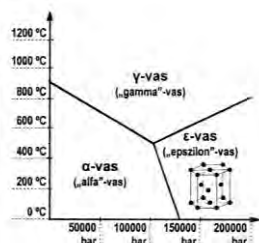
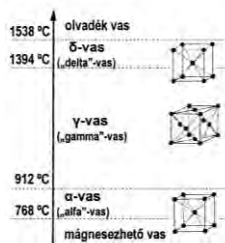
Ionizált állapotból rekombinációval a gázállapot áll vissza. Kritikus hőmérséklete alá hűtött gáz növelt nyomáson cseppfolyósodik, ami lehetővé teszi kis térfogatú tárolóeszközben nagy mennyiségű gáz tárolását, ill. szállítását. A gőz állapotú anyag hőelvonás hatására lecsapódik, cseppfolyóssá válik. A szobahőmérsékleten cseppfolyós anyag – a folyadék – fagyasztással, a nagy hőmérsékleten cseppfolyós anyag – az olvadék – dermedéssel vihető szilárd állapotba.

## Kristályos szilárd anyagok módosulatai



gyémánt  
kristályszerkezete

grafit  
kristályszerkezete



A szilárd anyagok

- **kristályosak,**
- **amorfak (üvegek).**

Az üvegek **izotróp** anyagok,  
a kristályos anyagok **anizotrópok**.

**Polimorfia** (többalakúság):

- azonos kémiai összetétel,
- **különböző kristályszerkezet.**

**Átalakulások:**

- **monotrópia** (egy irányban),
- **enantiotrópia** (két irányban),
- **allotróp módosulatok.**

**Izomorfia** (azonosalakúság).

## Kristályos szilárd anyagok módosulatai

A szilárd anyagok döntő többsége kristályos, azaz alkotó atomjaik, ionjaik, molekuláik hosszú távú rendezettséget (kiterjedt térbeli elhelyezkedésükben bizonyos periodikus szabályosságot) mutatnak. E rendeződés feltétele – olvadékalapotból kiindulva – olyan dermedési sebesség, mely elősegíti kristálycsírák képződését.

Ha a túlhűtés sebessége túlságosan nagy, akkor a kristályosodás elmarad, viszont a hőmérséklet csökkenésével a viszkozitás (olvadékrezecskék közötti belső súrlódás) rohamosan és folyamatosan növekszik. A kristályosodás nélkül erősen lehűlt olvadékok viszkozitása olyan nagy, hogy az anyag mechanikai szempontból már szilárdnak tekinthető. Az így megdermedt anyagok az amorf szerkezetű (cseppfolyós anyagokhoz hasonlóan szerkezetükben rövid távú rendezettségű) üvegek.

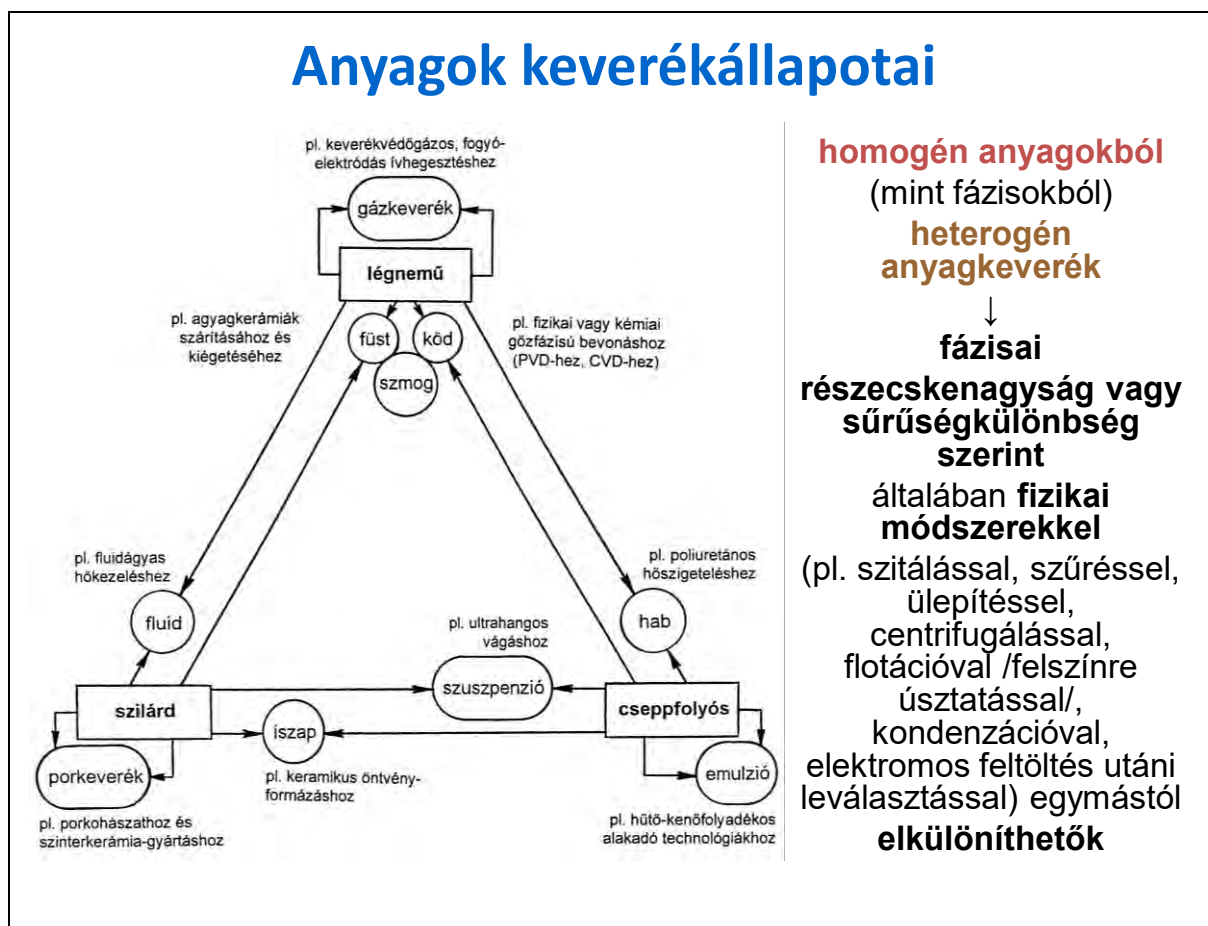
Elvileg minden anyag olvadékából keletkezhet üveg, az adott anyagra jellemző nagy hűtési sebesség mellett. Egyes kerámiák és műanyagok könnyen, a fémek nehezebben ( $10^5 \dots 10^6$  °C/s hűtési sebességgel) dermedezhetők üveggé. Az üvegek izotróp anyagok, azaz fizikai tulajdonságaik nem függenek iránytól, míg a kristályos anyagok anizotrópok, vagyis fizikai jellemzőik irányfüggő mennyiségek.

A kristályos anyagok között található olyanok, amelyek azonos kémiai összetételűek, de különböző szerkezetű kristálmódosulatokban fordulhatnak elő. Ezt a jelenséget polimorfianak (többalakúságnak) nevezik. Jellemző példái a polimorfianak a szén lényegesen eltérő fizikai tulajdonságokat mutató módosulatai (felső **ábra**): az átlátszó, rendkívül kemény, elektromosan szigetelő gyémánt és az átlátszatlanul szürke, viszonylag puha, elektromosan vezető grafit.

Ha a polimorf módosulatok közül csak az egyik stabil, a többi pedig nem, és bármely hőmérsékleten lehetséges – de csak egy irányban – átalakulás stabil módosulattá, akkor monotrópiáról beszélhetünk, amihez nem rendelhető jellemző átalakulási hőmérséklet.

Az enantiotrópia a polimorfiónak azon esete, amikor két egymásba átalakítható stabil módosulat van: az egyik az átalakulási hőmérséklet felett, a másik pedig alatta stabil. E különböző szerkezeti formák az allotróp módosulatok. Például a szénvas 912 °C-on és 1394 °C-on is allotróp módosulatot vált (alsó **ábra**), de a hőmérséklet mellett a nyomás nagymértékű változása is kiválthatja a vas kristályszerkezetének átalakulását.

Az izomorfia (azonosalakúság) pedig az a jelenség, amikor két vagy több különböző anyagnak azonos kristályformája van.



### Anyagok keverékállapotai

A halmazállapotok mellett megkülönböztethetünk keverékállapotokat is, amelyeknek néhány jellegzetes típusát az **ábra** mutatja.

Az önmagukban homogén (azonos részekből összeálló, egynemű) anyagokból (mint fázisokból) álló heterogén (különböző részekből összeálló, többnemű) anyagkeverékekben az egyik anyagminőség (ill. halmazállapot) nagyobb arányban, a másik – finom és egyenletes eloszlásban – kisebb hányadban van jelen. Az **ábrán** a keverékállapotok ahhoz a halmazállapothoz állnak közelebb, amelyik nagyobb (domináns) részarányt képvisel.

Egyes keverékállapotok – azaz a kisebb részarányú anyagfázis finom és egyenletes (diszperz) eloszlása – csak úgy tarthatók fenn, ha bizonyos beavatkozások történnek. Pl. a fluid állapothoz a légnemű anyag megfelelő áramoltatásával kell a szilárd fázist lebegtetni (mint a homokot a sivatagi vihar).

Az anyagkeverékek fázisai – részecskénagyság vagy sűrűségkülönbség szerint – általában fizikai módszerekkel (pl. szitálással, szűréssel, ülepitéssel, centrifugálással) egymástól elkülöníthetők.

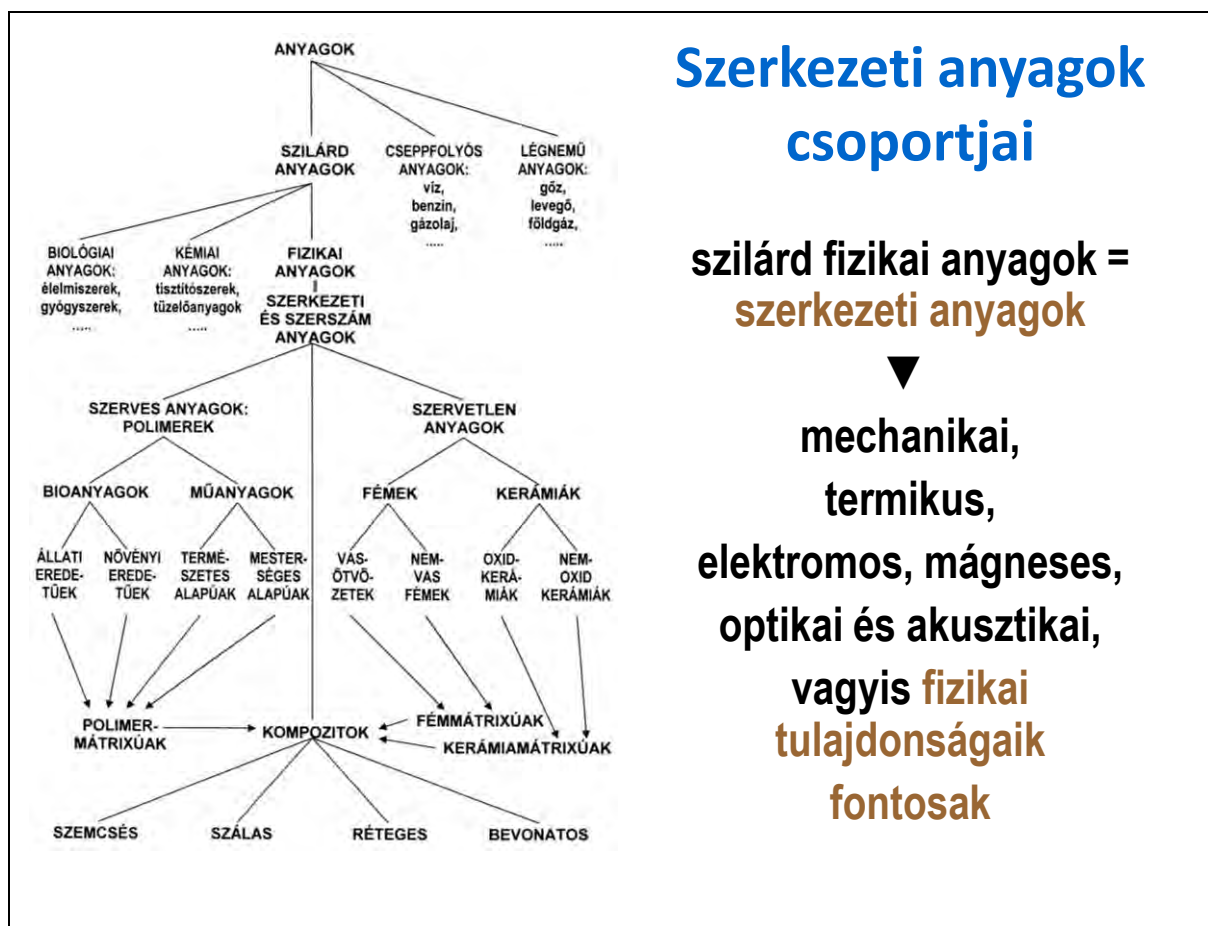


### Szerkezeti anyagok csoportosítása

A szerkezeti és szerszámanyagok köre szerves és szervetlen anyagokat egyaránt tartalmaz (ábra).

A szerves anyagok bioanyagok és műanyagok – közös elnevezéssel polimerek – lehetnek. A biopolimerek (szerves természeti anyagok) az állat- és növényvilág közvetlenül nyerhető származékai. A szintetikus polimerek vagy műanyagok (szerves mesterséges anyagok) előállíthatók bioanyagokból (természetes alapú műanyagok), ill. leggyakrabban kőolaj-feldolgozási termékekből (mesterséges alapú műanyagok).

A szervetlen szilárd anyagok két nagy csoportja a többnyire jól alakítható (képlékeny, szívós), elektromosan vezető (kis fajlagos elektromos ellenállású) fémek és az alakíthatatlan (rideg), többnyire elektromosan szigetelő (nagy fajlagos elektromos ellenállású) kerámiák. Ezek részben a természetben is megtalálhatók felhasználható állapotban, részben különböző technológiák segítségével, bányászott földkéregbeli anyagokból (ásványokból) állíthatók elő.

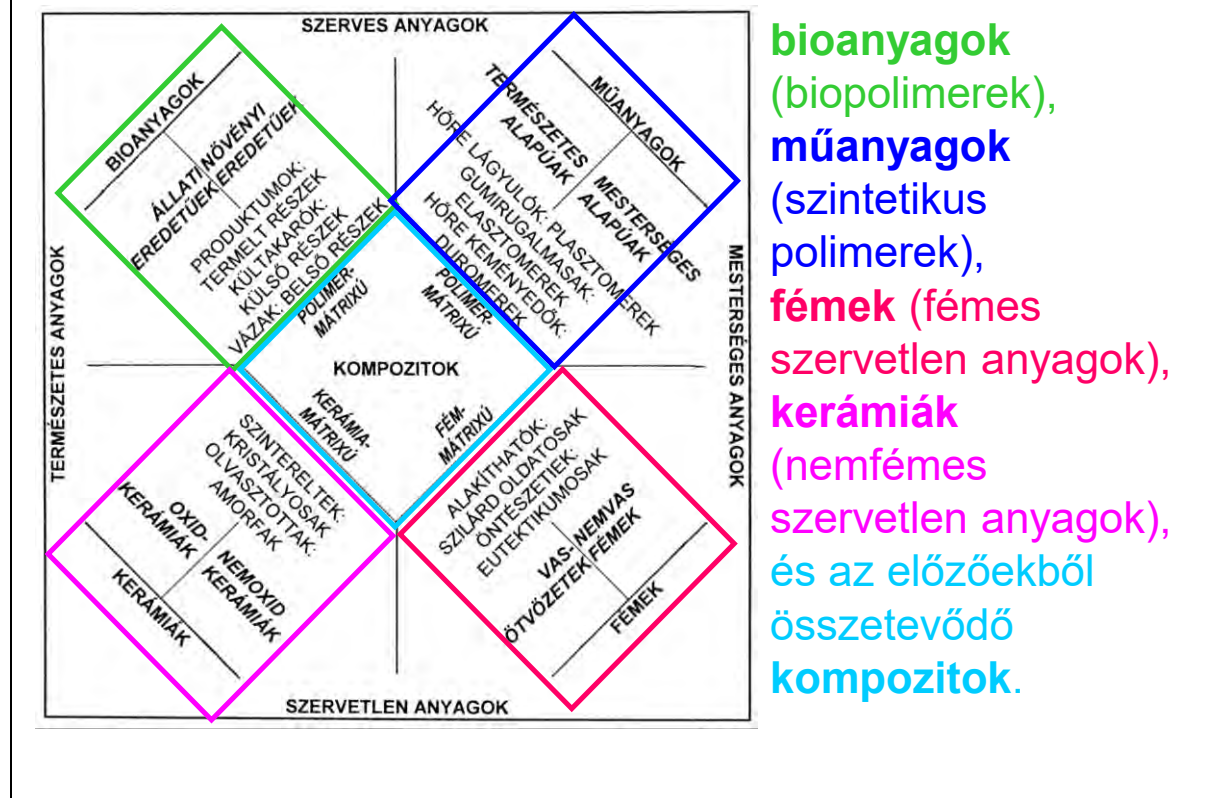


Az anyagtudomány keretében tehát azokkal a szilárd anyagokkal foglalkozunk, amelyek használati tárgyaink, eszközeink, szerszámaink, háztartási, ill. ipari szintű berendezéseink, járműveink, építményeink készítésére alkalmasak lehetnek.

Ezen ún. szerkezeti anyagok (**ábra**) mechanikai, termikus, elektromos, mágneses, optikai és akusztikai, egyszóval fizikai tulajdonságai fontosak, ezek révén válnak célszerű felhasználásra alkalmassá. Így a többi halmozállapot annyiban fontos, amennyiben hozzájárulnak a szilárd anyagok, ill. a belőlük létrehozandó félgyártmányok (félkész vagy részben megmunkált termékek) és késztermékek előállításához (pl. olvadáklapotot kell elérni az öntéstechnológiához vagy gőzállapotból végezhető egyes felületbevonó eljárások).

A kompozitok összetett anyagok, melyeket legalább két különböző, önmagában monolitnak (egyenműnek) tekinthető anyag társításával, előnyös tulajdonságaik kombinálása céljából hoznak létre. A komponenseik közül az egyik (a nagyobb részarányú vagy a kisebb szilárdságú, ill. a kevésbé ellenálló, esetleg kötő szerepű) a mátrixanyag, a másik (a kisebb részarányú vagy a nagyobb szilárdságú, ill. a jobban ellenálló) az adalék- vagy erősítő anyag. Mátrixanyag lehet polimer, fém és kerámia is, amelyhez az adalék- vagy erősítőanyag-szemcsék, szálak, réteg(ek) vagy bevonat formájában társítható.

## Szerkezeti anyagok felosztása 1.



bioanyagok (biopolimerek),  
 műanyagok (szintetikus polimerek),  
 fémek (fémes szerves anyagok),  
 kerámiák (nemfémes szerves anyagok),  
 és az előzőekből összetevődő kompozitok.

A szerkezeti (fizikai) anyagok sokféleképpen csoportosíthatók, de maradván az **ábra** szerinti felosztásnál, öt csoportban tekintjük át a technikailag hasznos anyagokat. Ezen anyagcsoportok a következők:

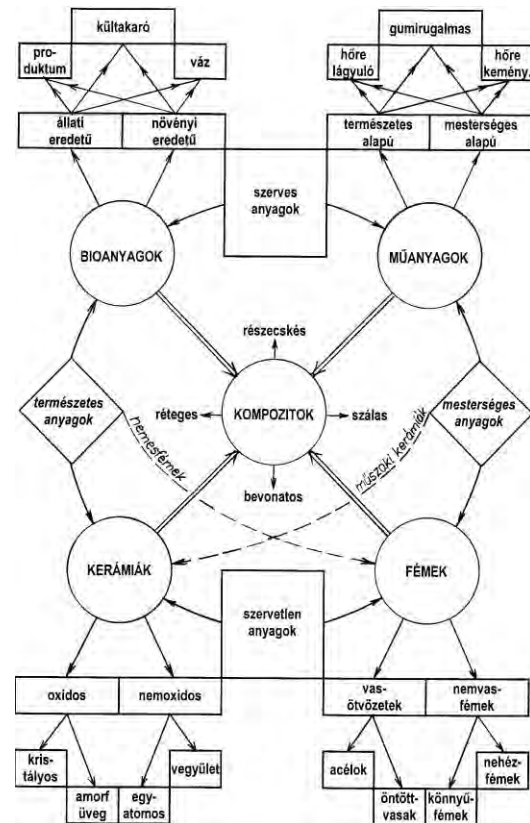
- bioanyagok (biopolimerek),
- műanyagok (szintetikus polimerek),
- fémek (fémes szerves anyagok),
- kerámiák (nemfémes szerves anyagok),
- és az előzőekből összetevődő kompozitok.

A szerkezeti anyagokat az alkotó atomcsoportjaikban lévő atomok száma szerint is megkülönböztethetjük. Nagyszámú atomot tartalmazó vegyületek alkotják a szerves természetes és mesterséges polimereket. Néhány atomot tartalmazó szerves vegyületek képezik a kerámiák csoportjának tagjait, míg a fémek jellemzően elemeket (esetleg nagyon egyszerű szerves vegyületeket) tartalmaznak.



## Szerkezeti anyagok felosztása 2.

- bioanyagok (biopolimerek),
- műanyagok (szintetikus polimerek),
- fémek (fémes szervesetlen anyagok),
- kerámiák (nemfémes szervesetlen anyagok),
- és az előzőekből összetevődő kompozitok



A szerkezeti anyagok felosztása (ábra):

- bioanyagok (biopolimerek),
- műanyagok (szintetikus polimerek),
- fémek (fémes szervesetlen anyagok),
- kerámiák (nemfémes szervesetlen anyagok),
- Kompozitok (társított, összetett anyagok).

## Szerkezeti anyagok választéka



bioanyag



műanyag



fém



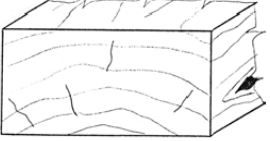
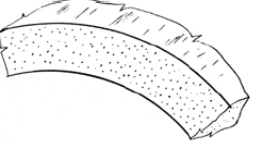
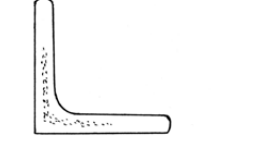

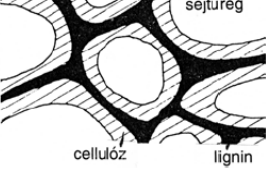
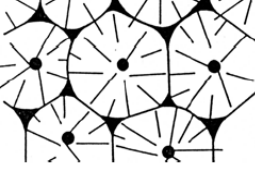


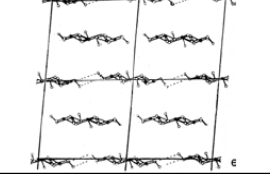
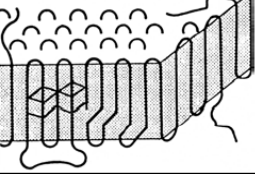
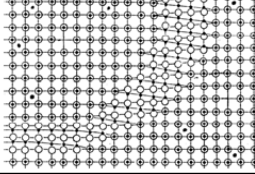
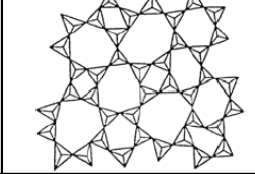
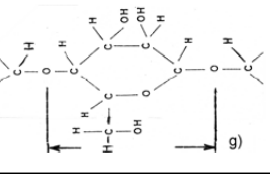
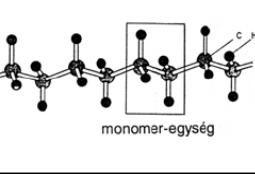
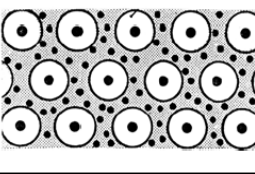
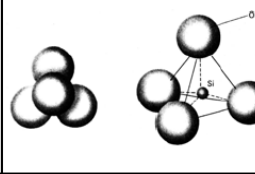
kerámia



kompozit

### Szerkezeti anyagok választéka

Az emberi élethez szükséges anyagok – amelyeket az ember nyer ki a természetből és alakít át igényeinek leginkább megfelelően – napjainkban már rendkívüli formai, fajtabeli gazdagságban állnak rendelkezésre. Ezen anyagok – tömegüket tekintve – legnagyobb arányban ipari célokat szolgálnak, ezek közé tartoznak a szerkezeti és szerszámanyagok.

	BIOANYAG	MŰANYAG	FÉM	KERÁMIA
MAKRO-SZERKEZET	Pl.: fagerenda 	Pl.: polietilén cső 	Pl.: acél L-szelvény 	Pl.: szilikát síkúveg 
MIKRO-SZERKEZET				
KRISTÁLY-SZERKEZET				
ATOMI-SZERKEZET		 <p>monomer-egység</p>		

Az anyagszerkezet szintjeit a négy fő anyagcsoport egy-egy jellegzetes anyagpélda kapcsán az **ábra** mutatja be, ill. hasonlítja össze.

# Szerkezeti és szerszámanyagok



A gépiparban használatos anyagok választékában még mindig domináns szerep jut az acéloknak, amelyeket a többi anyagcsoporthoz képest jobban kirészletez az **ábra**.

### AZ ELEMEK PERIÓDUSOS RENDSZERE

3 rövid és 4 hosszú periódus (7 vízszintes sor)  
8 fő- és 8 mellékcsoport (32 függőleges oszlop)

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">1. főcsoport alkálifémek</td> <td style="text-align: center;">2. főcsoport alkáliföldfémek</td> </tr> <tr> <td>1 H 0,09 Hydrogén -252,9 °C -269,1 °C</td> <td>2 He 0,18 Hélium -268,9 °C -272,2 °C</td> </tr> </table>		1. főcsoport alkálifémek	2. főcsoport alkáliföldfémek	1 H 0,09 Hydrogén -252,9 °C -269,1 °C	2 He 0,18 Hélium -268,9 °C -272,2 °C	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="vertical-align: top;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">3. főcsoport bör-csoport földfémek</td> <td style="text-align: center;">4. főcsoport szén-csoport</td> <td style="text-align: center;">5. főcsoport nitrogén-csoport</td> <td style="text-align: center;">6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek</td> <td style="text-align: center;">7. főcsoport halogének (sóképzők)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">8. főcsoport nemesgáz</td> </tr> <tr> <td>5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C</td> <td>6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C</td> <td>7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C</td> <td>8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C</td> <td>9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C</td> <td>10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C</td> <td>11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="18" style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="18" style="text-align: center;">átmeneti fémek</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">7 mellékcsoport mangán-csoport</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1. mellékcsoport réz-csoport</td> <td colspan="2">2. mellékcsoport cink-csoport</td> <td colspan="2">3. mellékcsoport szilícium-csoport</td> <td colspan="2">4. mellékcsoport alumínium-csoport</td> <td colspan="2">5. mellékcsoport gallium-csoport</td> <td colspan="2">6. mellékcsoport germánium-csoport</td> <td colspan="2">7. mellékcsoport szén-csoport</td> <td colspan="2">8. mellékcsoport nitrogén-csoport</td> <td colspan="2">9. mellékcsoport oxigén-csoport</td> </tr> </table> </td> </tr> </table> <p><b>JELÖLÉSMAGYARÁZAT:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A: relatív atomtömeg (stabil) / instabil</li> <li>S: sűrűség [10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>]</li> <li>K: kristályrendszer</li> <li>R: A periódus</li> <li>V: A főcsoport</li> <li>M: mellékcsoport</li> <li>N: nemfémek</li> <li>F: fémek</li> <li>aktí: aktív fémek</li> <li>forr.pont: olv.pont</li> <li>olv.pont: olv.pont</li> <li>Gáz: Foly.</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="18" style="text-align: center;">transzaktinoidák</th> </tr> <tr> <th colspan="9" style="text-align: center;">centiföldek (rikaföldfémek)</th> <th colspan="9" style="text-align: center;">ítterföldek (rikaföldfémek)</th> </tr> <tr> <th>104 (257)</th> <th>105 (260)</th> <th>106 (263)</th> <th>107 (262)</th> <th>108 (265)</th> <th>109 (266)</th> <th>110 (271)</th> <th>111 (272)</th> <th>112 (285)</th> <th>113 (284)</th> <th>114 (289)</th> <th>115 (288)</th> <th>116 (292)</th> <th>117 (-)</th> <th>118 (-)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> <td>Rf</td> </tr> </tbody> </table>																<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">3. főcsoport bör-csoport földfémek</td> <td style="text-align: center;">4. főcsoport szén-csoport</td> <td style="text-align: center;">5. főcsoport nitrogén-csoport</td> <td style="text-align: center;">6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek</td> <td style="text-align: center;">7. főcsoport halogének (sóképzők)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">8. főcsoport nemesgáz</td> </tr> <tr> <td>5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C</td> <td>6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C</td> <td>7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C</td> <td>8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C</td> <td>9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C</td> <td>10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C</td> <td>11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C</td> </tr> </table>		3. főcsoport bör-csoport földfémek	4. főcsoport szén-csoport	5. főcsoport nitrogén-csoport	6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek	7. főcsoport halogének (sóképzők)	8. főcsoport nemesgáz		5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C	6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C	7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C	8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C	9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C	10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C	11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="18" style="text-align: center;">átmeneti fémek</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">7 mellékcsoport mangán-csoport</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1. mellékcsoport réz-csoport</td> <td colspan="2">2. mellékcsoport cink-csoport</td> <td colspan="2">3. mellékcsoport szilícium-csoport</td> <td colspan="2">4. mellékcsoport alumínium-csoport</td> <td colspan="2">5. mellékcsoport gallium-csoport</td> <td colspan="2">6. mellékcsoport germánium-csoport</td> <td colspan="2">7. mellékcsoport szén-csoport</td> <td colspan="2">8. mellékcsoport nitrogén-csoport</td> <td colspan="2">9. mellékcsoport oxigén-csoport</td> </tr> </table>																		átmeneti fémek																		7 mellékcsoport mangán-csoport									8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt									1. mellékcsoport réz-csoport		2. mellékcsoport cink-csoport		3. mellékcsoport szilícium-csoport		4. mellékcsoport alumínium-csoport		5. mellékcsoport gallium-csoport		6. mellékcsoport germánium-csoport		7. mellékcsoport szén-csoport		8. mellékcsoport nitrogén-csoport		9. mellékcsoport oxigén-csoport		transzaktinoidák																		centiföldek (rikaföldfémek)									ítterföldek (rikaföldfémek)									104 (257)	105 (260)	106 (263)	107 (262)	108 (265)	109 (266)	110 (271)	111 (272)	112 (285)	113 (284)	114 (289)	115 (288)	116 (292)	117 (-)	118 (-)	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf
1. főcsoport alkálifémek	2. főcsoport alkáliföldfémek																																																																																																																																																																														
1 H 0,09 Hydrogén -252,9 °C -269,1 °C	2 He 0,18 Hélium -268,9 °C -272,2 °C																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">3. főcsoport bör-csoport földfémek</td> <td style="text-align: center;">4. főcsoport szén-csoport</td> <td style="text-align: center;">5. főcsoport nitrogén-csoport</td> <td style="text-align: center;">6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek</td> <td style="text-align: center;">7. főcsoport halogének (sóképzők)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">8. főcsoport nemesgáz</td> </tr> <tr> <td>5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C</td> <td>6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C</td> <td>7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C</td> <td>8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C</td> <td>9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C</td> <td>10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C</td> <td>11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C</td> </tr> </table>		3. főcsoport bör-csoport földfémek	4. főcsoport szén-csoport	5. főcsoport nitrogén-csoport	6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek	7. főcsoport halogének (sóképzők)	8. főcsoport nemesgáz		5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C	6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C	7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C	8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C	9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C	10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C	11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C																																																																																																																																																																
3. főcsoport bör-csoport földfémek	4. főcsoport szén-csoport	5. főcsoport nitrogén-csoport	6. főcsoport kalkogén (érképző) elemek	7. főcsoport halogének (sóképzők)	8. főcsoport nemesgáz																																																																																																																																																																										
5 B 2,34 Bór +3927 °C +2076 °C	6 C 2,27 Szén (grafit) +4827 °C +3560 °C	7 N 1,25 Nitrogén -195,8 °C -210,0 °C	8 O 1,13 Oxigén -183 °C -218,8 °C	9 F 1,70 Fluor -188,1 °C -219,6 °C	10 Ne 0,90 Neon -246,1 °C -248,6 °C	11 Ar 1,78 Argon -185,9 °C -189,4 °C																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="18" style="text-align: center;">átmeneti fémek</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">7 mellékcsoport mangán-csoport</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1. mellékcsoport réz-csoport</td> <td colspan="2">2. mellékcsoport cink-csoport</td> <td colspan="2">3. mellékcsoport szilícium-csoport</td> <td colspan="2">4. mellékcsoport alumínium-csoport</td> <td colspan="2">5. mellékcsoport gallium-csoport</td> <td colspan="2">6. mellékcsoport germánium-csoport</td> <td colspan="2">7. mellékcsoport szén-csoport</td> <td colspan="2">8. mellékcsoport nitrogén-csoport</td> <td colspan="2">9. mellékcsoport oxigén-csoport</td> </tr> </table>																		átmeneti fémek																		7 mellékcsoport mangán-csoport									8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt									1. mellékcsoport réz-csoport		2. mellékcsoport cink-csoport		3. mellékcsoport szilícium-csoport		4. mellékcsoport alumínium-csoport		5. mellékcsoport gallium-csoport		6. mellékcsoport germánium-csoport		7. mellékcsoport szén-csoport		8. mellékcsoport nitrogén-csoport		9. mellékcsoport oxigén-csoport																																																																																																									
átmeneti fémek																																																																																																																																																																															
7 mellékcsoport mangán-csoport									8 mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt																																																																																																																																																																						
1. mellékcsoport réz-csoport		2. mellékcsoport cink-csoport		3. mellékcsoport szilícium-csoport		4. mellékcsoport alumínium-csoport		5. mellékcsoport gallium-csoport		6. mellékcsoport germánium-csoport		7. mellékcsoport szén-csoport		8. mellékcsoport nitrogén-csoport		9. mellékcsoport oxigén-csoport																																																																																																																																																															
transzaktinoidák																																																																																																																																																																															
centiföldek (rikaföldfémek)									ítterföldek (rikaföldfémek)																																																																																																																																																																						
104 (257)	105 (260)	106 (263)	107 (262)	108 (265)	109 (266)	110 (271)	111 (272)	112 (285)	113 (284)	114 (289)	115 (288)	116 (292)	117 (-)	118 (-)																																																																																																																																																																	
Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf	Rf																																																																																																																																																																	

A felhasználandó anyagaink fontos jellemzője, hogy a periódusos rendszer mely elemeit tartalmazák, ill. milyen vegyületekből állnak és ezek az elemek, ill. vegyületek milyen koncentrációban vannak jelen. Az előbbi egy minőségi mutató, ez utóbbi pedig mennyiségi információ.

A periódusos rendszer (**ábra**) a növekvő atomtömegek (rendszámok) szerint szakaszosan ismétlődő (kémiai) tulajdonságok alapján áll össze. Az elemek kémiai tulajdonságait általában az atom legnagyobb főkvantumszámú héjának s- és p-állapotú elektronjai, az ún. vegyértékelektronok szabják meg. Ezek az alhéjak a periódusos rendszer 8 oszlopának megfelelően 8 elektront tartalmazhatnak.

Az elemek egymás alá rendezett hét sorban (7 periódusban a 7 főkvantumszámuk megfelelően) úgy helyezkednek el, hogy az egymás alatti hasonló viselkedésű elemek nyolc oszlopot (főcsoportot) alkotnak:

- Az I.A és II.A oszlop elemei – az alkálifémek és alkáliföldfémek – reakcióképessége nagy, vízzel reagálva lúgos oldatokat (alkáliákat, bázisokat) képeznek.
- A III.A oszlopban a bázis- és savképzésre egyaránt hajlamos földfémek, ún. amfoter elemek találhatók.
- A IV.A, V.A, VI.A oszlopban az elemek fémes tulajdonságai csökkennek, az elemek nemfémes aktivitása, ill. savképző jellege az oszlop tetején a legnagyobb, fentről lefelé haladva csökken.
- A VII.A oszlopban található igen reakcióképes halogének már kifejezetten nemfémes tulajdonságúak.
- A VIII.A oszlopbeli nemesgázok kémiailag nem reakcióképes (inert) elemek, elektronszerkezetük stabil.

Azon elemek, amelyek legkülső héja elektronjainak száma nem változik – ezért kémiai viselkedésükben hasonlítanak egymáshoz – valamennyien fémek. Ezeket mellékcsoportokba (I.B-VIII.B) rendezve adódik a hosszú periódusos rendszer, amelyben a fémek és az átmeneti fémek az elektronállapotok betöltési sorrendjének megfelelően helyezkednek el. A mellékcsoportok egymás alatti elemei hasonlóan egymáshoz, de alapvetően különböznek a főcsoportokat (I.A-VIII.A) alkotó elemektől.

A hatodik, ill. a hetedik periódusban kialakuló újabb csoport elemei, az ún. lantanoidák és aktinoidák (a csoport első elemeiről kapták nevüket) tulajdonságai igen hasonlóak, a periódusos táblázatból kiemelve külön szokás feltüntetni őket.

A mai ismereteink szerinti 118 elem közül 92 stabil elem létezik, a transzurán (92 feletti rendszámú) elemek atomjai gyorsan elbomlanak, tehát nincs igazán gyakorlati jelentőségük.

**A kémiai elemek átlagos előfordulási gyakorisága a környezetünkben eltérő, ami a technológiai műveletek költségigényével együtt meghatározza a belőlük származó anyag árát (értékességét), befolyásolva a felhasználás ill. elterjedés körét**

1 km vastag földkéregben		óceánokban		légtérben	
elem	%	elem	%	elem	%
<b>oxigén (O)</b>	47	<b>oxigén (O)</b>	85	<u>nitrogén (N)</u>	79
<u>szilícium (Si)</u>	27	<b>hidrogén (H)</b>	10	<b>oxigén (O)</b>	20
alumínium (Al)	8	klór (Cl)	2	argon (Ar)	0,94
vas (Fe)	5	<i>nátrium (Na)</i>	1	/szén-dioxid (CO <sub>2</sub> )/	0,04
<i>kalcium (Ca)</i>	4	<i>magnézium (Mg)</i>	0,1	neon (Ne)	0,002
<i>kálium (K)</i>	3	kén (S)	0,1	hélium (He)	0,0005
<i>nátrium (Na)</i>	3	<i>kalcium (Ca)</i>	0,04	/metán (CH <sub>4</sub> )/	0,0002
<i>magnézium (Mg)</i>	2	<i>kálium (K)</i>	0,04	kripton (Kr)	0,0001
titán (Ti)	0,4	bróm (Br)	0,007	<b>hidrogén (H)</b>	0,0001
<b>hidrogén (H)</b>	0,1	szén (C)	0,002	/nitrogén-oxid (NO)/	0,0001
3 · 10 <sup>21</sup> kg szilárd anyagban		10 <sup>20</sup> kg cseppfolyós anyagban		5 · 10 <sup>18</sup> kg légnemű anyagban	

A különböző periódusos rendszerbeli elemek atomjai számtalan kombinációban kapcsolódva alkotják a szerves és szervetlen anyagi világot.

Az egyes elemek gyakorisága a környezetünkben eltérő, amiről az **ábra** ad tájékoztatást.

Az előfordulási gyakoriság az előállításához (felhasználásra alkalmas állapotba hozatalhoz) szükséges egyéb műveletek igényével együtt meghatározza az illető anyag árát (értékességét), ami befolyásolja (szűkíti vagy bővíti) a felhasználás körét, ill. az elterjedés mértékét.





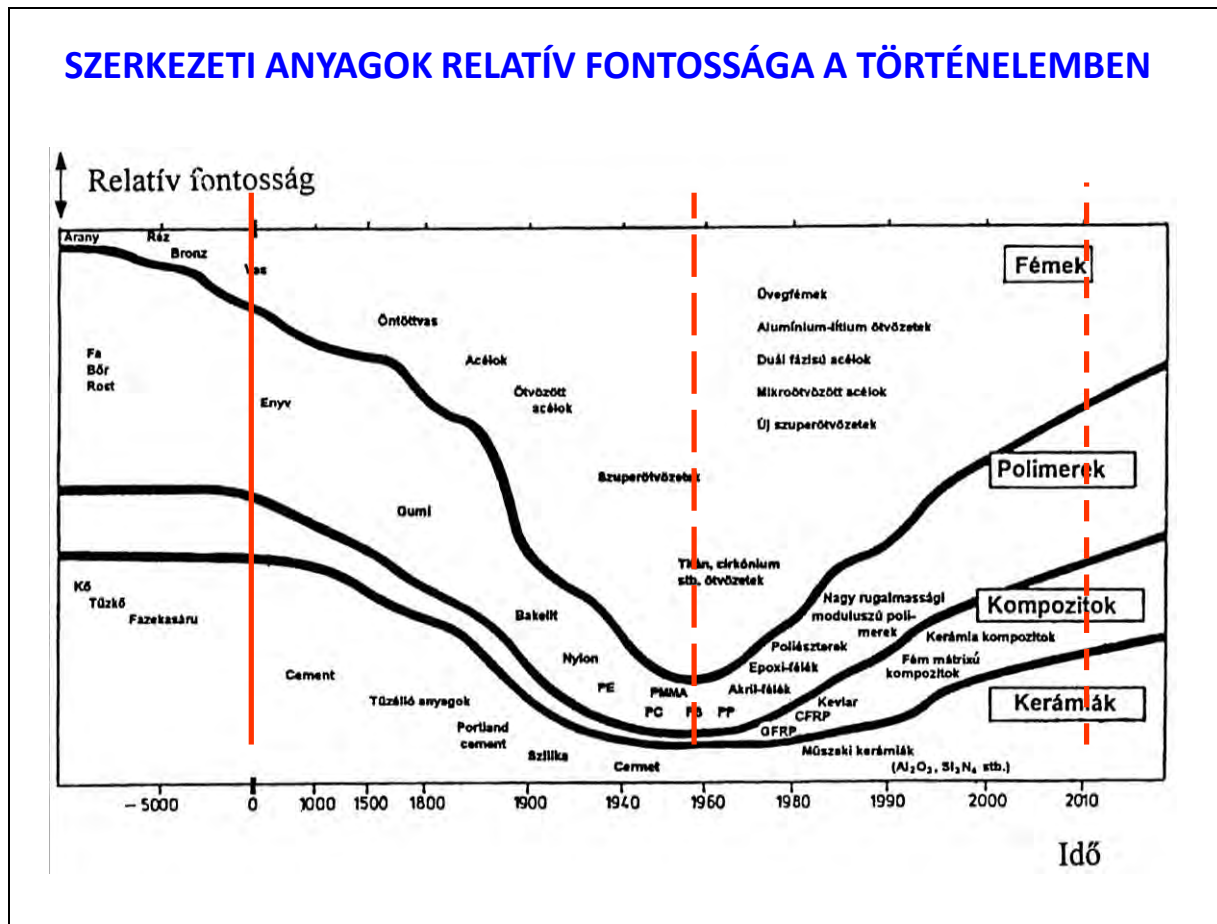


A főbb anyagcsoportok felhasználási arányait tömegszázalékban az **ábra** mutatja be.

A polimerek csoportján belül nagyjából fát, növényi és állati eredetű rostokat, szálakat, azaz biopolimereket dolgoznak fel. A különféle – általános vagy speciális alkalmazásokra kifejlesztett – szintetikus polimerek képezik a felhasznált polimerek mennyiségileg kisebb hányadát.

A keramikus anyagok esetében is hasonlóak az arányok, a természetes kerámiák (kőzetek, homok, ...) mellett a szintetikus úton előállítottak mennyiségi hányada kisebb, de minőségi választéka nagyobb. Míg a természetes kerámiák zömmel oxidosak, addig a mesterséges kerámiák elsősorban nemoxidos vegyületek.

A fémes elemek közül nagyon kevés és igen kis mennyiségben fordul elő tiszta formában a természetben, így ipari méretekben csak emberi beavatkozással előállított fémes anyagokról beszélhetünk. A felhasznált fémek körén belül a vasötvözetek dominálnak, jóval megelőzve az alumínium- és a réz-ötvözeteket. A többi fém együttes részesedése a fémfelhasználásból csak néhány %-ot tesz ki.



Amióta a szilárd szerkezeti anyagokat alkalmazásba vette az ember, azóta beszélhetünk anyagtechnológiákról is. Már az őskori elődeink úgy vélték, hogy a természeti erők által létrehozott anyagok vagy a készen talált tárgyak (kövek, kavicsok, csontok, szilánkok, ...) nem elégítik ki az egyre fokozódó igényeket. Ez a szükséglet eredményezte a különféle technológiák kifejlesztését és a szerves természeti bioanyagok ill. a szerves természetes kerámiák mellé újabb anyagok keresését. Az **ábra** a különféle szerkezeti anyagaink alkalmazásba vételének időszakait ill. ezzel összefüggésben az anyagoknak tulajdonított relatív fontosságot, jelentőséget mutatja.

## **TÖRTÉNELMI KORSZAKOKAT MEGHATÁROZÓ ANYAGOK, illetve TECHNOLÓGIÁK**

**KŐKORSZAK  
BRONZKORSZAK**

**VASKORSZAK**

**OLAJKORSZAK**

**(műanyagok)**

**ŰRKORSZAK**

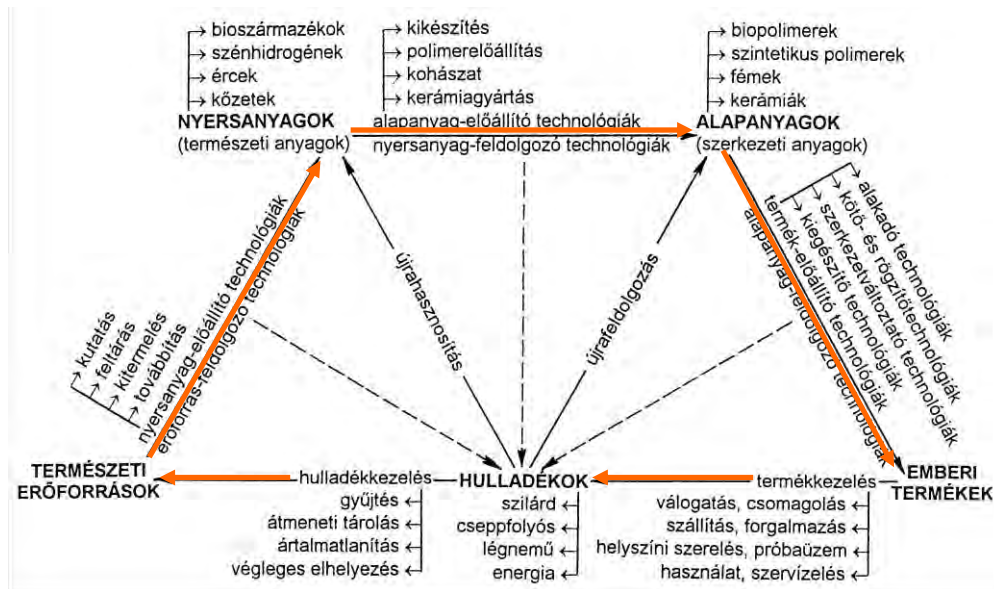
**(különleges kerámiák és fémek)**

Az anyagok és a velük összefüggő technológiák fontos szerepét az is kifejezi, hogy történelmi kor(szak)okat neveztek el róluk:

- kőkorszak kb. i. e. 10000–4000 között,
- bronzkorszak kb. i. e. 4000–1000 között,
- vaskorszak kb. i. e. kb. 1000-tól.

## ANYAGOK TECHNOLÓGIÁINAK RENDSZERE

Minden szerkezeti anyagunk eredete a természeti erőforrásokban rejlik, és a feladatuk ellátása után a természet fogadja vissza azokat. A közbenső állapotokat – jellegzetes technológiákkal – a szerkezeti **anyagok körfolyama**, életciklusa foglalja rendszerbe:



Tulajdonképpen minden szerkezeti anyagunk eredete a természeti erőforrásokban rejlik, és a feladatuk ellátása után a természet fogadja vissza azokat. A közbenső állapotokat – jellegzetes technológiákkal – az **ábra** foglalja rendszerbe, bemutatva a szerkezeti anyagok körfolyamát, életciklusát.

A Föld tehát egyszerre jelent emberi életteret, nyersanyag- és energiaforrást, valamint hulladékbefogadót.

Az anyagtechnológiai folyamatok során keletkező szilárd hulladékok, cseppfolyós és/vagy légnemű melléktermékek jelentős környezetterhelést jelenthetnek. Ezért fontosak az olyan hulladéktechnológiák (újrahasznosítás, újrafeldolgozás), melyek alkalmazásával a környezetszennyezés csökkenthető, sőt a technológiák anyagköltségigénye is kedvezőbbé tehető.

## Anyagok energiaigényessége

A szerkezeti anyagok szoros kapcsolatban vannak az energiával, ami előállításukhoz, terméké való feldolgozásukhoz, majd hulladékká válásuk utáni kezelésükhöz szükséges. Ökológiai szempontból nem mindegy, hogy mennyi egy **anyag** fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) **energiatartalma**, ami kitermelése, előállítása, feldolgozása energiaigényét jelenti.

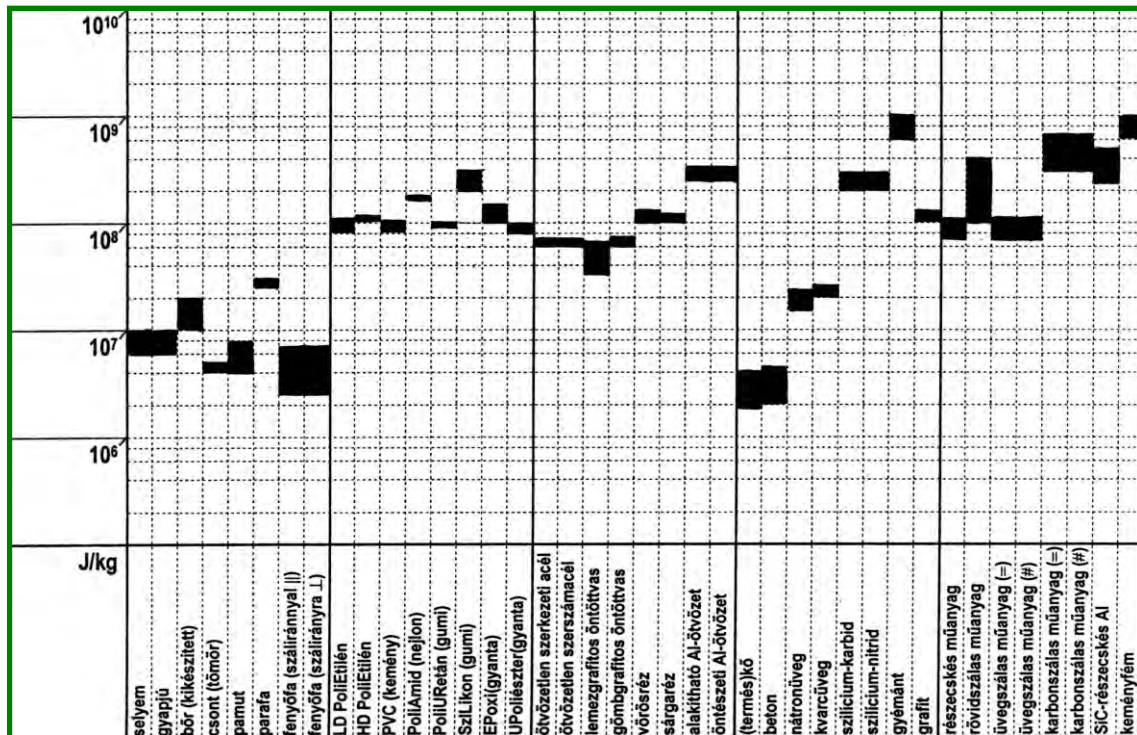
Ugyanis a hagyományos energiahordozókból (szén, kőolaj, földgáz) történő energiakinyerés jelentős környezet-szennyezéssel jár. Így a még tisztának nyilvánított elektromos energia alkalmazásakor is tekintettel kell lenni arra, hogy az azt előállító szén-, kőolaj- (pakura-) vagy földgáztüzelésű erőmű tetemes levegő- és vízszennyezést okoz. Tehát ez esetben nem a gyárban, hanem az erőműnél lép fel **környezetszennyezés**, azaz **közvetetten** jelentkezik.

A szerkezeti anyagok szoros kapcsolatban vannak az energiával, amely előállításukhoz, terméké való feldolgozásukhoz, majd hulladékká válásuk utáni kezelésükhöz szükséges.

Ökológiai szempontból nem mindegy, hogy mennyi egy anyag fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) energiatartalma, ami kitermelése, előállítása, feldolgozása energiaigényét jelenti.

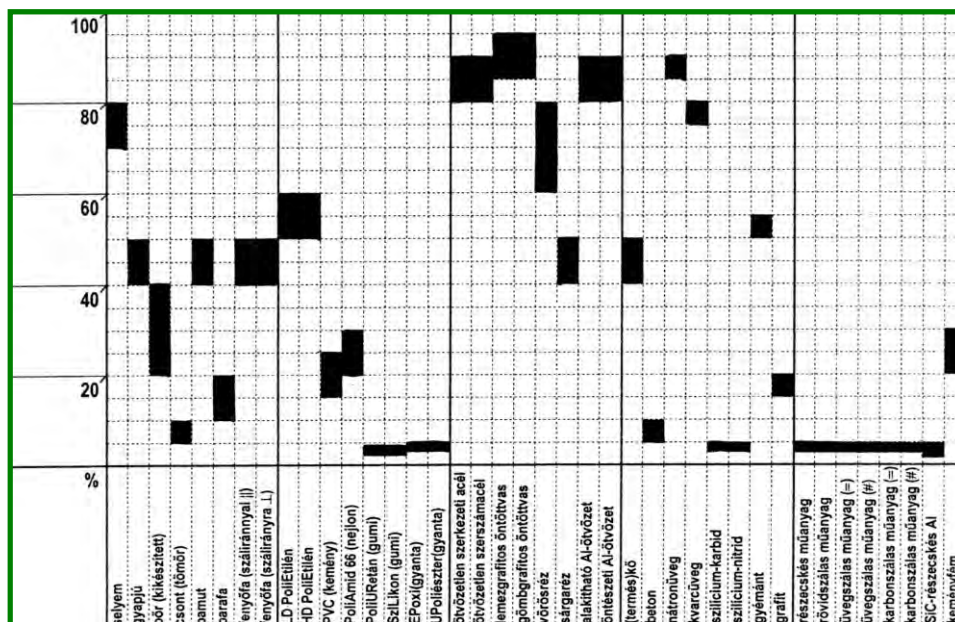
Ugyanis a hagyományos energiahordozókból (szén, kőolaj, földgáz) történő energiakinyerés jelentős környezetszennyezéssel jár. Így a még tisztának nyilvánított elektromos energia alkalmazásakor is tekintettel kell lenni arra, hogy az azt előállító szén-, kőolaj- (pakura-) vagy földgáztüzelésű erőmű tetemes levegő- és vízszennyezést okoz. Tehát ez esetben nem a gyárban, hanem az erőműnél lép fel környezetszennyezés, azaz közvetetten jelentkezik.

## Szerkezeti anyagok energiataralma



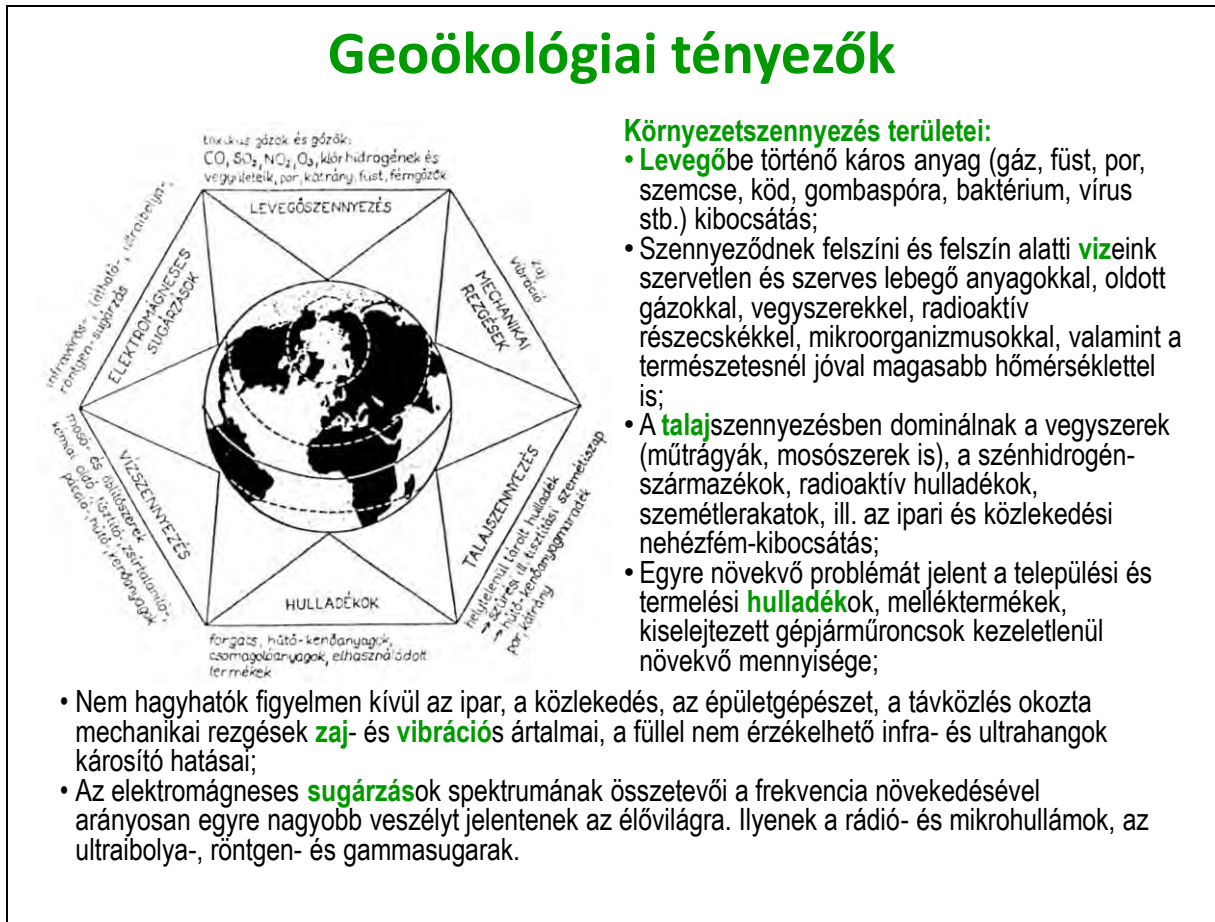
Az **ábrán** néhány szerkezeti anyagunk előállításának ill. feldolgozásának energiaigénye van feltüntetve.

A **reciklálási hányad** egy olyan – elsősorban becsléssel meghatározott – 0 és 100% közötti arányszám, mely az adott anyagból készült tipikus termékek használat (üzemeltetés) utáni újrahasznosításának szokásos ill. ésszerű (elfogadható) mértékét fejezi ki az összmenyiséghez képest.



A reciklálási hányad (**ábra**) egy olyan – elsősorban becsléssel meghatározott – 0 és 100% közötti arányszám, mely az adott anyagból készült tipikus termékek használat (üzemeltetés) utáni újrahasznosításának szokásos ill. ésszerű (elfogadható) mértékét fejezi ki az összmenyiséghez képest.

## Geoökológiai tényezők



### Környezetszennyezés területei:

- **Levegőbe** történő káros anyag (gáz, füst, por, szemcse, köd, gombaspóra, baktérium, vírus stb.) kibocsátás;
  - Szennyeződnek felszíni és felszín alatti **vizeink** szervetlen és szerves lebegő anyagokkal, oldott gázokkal, vegyszerekkel, radioaktív részecskékkel, mikroorganizmusokkal, valamint a természetesnél jóval magasabb hőmérséklettel is;
  - A **talajszennyezésben** dominálnak a vegyszerek (műtrágyák, mosószeres is), a szénhidrogén-származékok, radioaktív hulladékok, szemétkerakatok, ill. az ipari és közlekedési nehézfém-kibocsátás;
  - Egyre növekvő problémát jelent a települési és termelési **hulladékok**, melléktermékek, kiselejtezett gépjárműroncsok kezeletlenül növekvő mennyisége;
- Nem hagyhatók figyelmen kívül az ipar, a közlekedés, az épületgépészet, a távközlés okozta mechanikai rezgések **zaj- és vibrációs** ártalmai, a füllel nem érzékelhető infra- és ultrahangok károsító hatásai;
  - Az elektromágneses **sugárzások** spektrumának összetevői a frekvencia növekedésével arányosan egyre nagyobb veszélyt jelentenek az élővilágra. Ilyenek a rádió- és mikrohullámok, az ultraibolya-, röntgen- és gamma-sugarak.

A környezetszennyezés nem ismer üzem-, település- vagy országhatárokat és nem csak levegőbe történő káros anyag (gáz, füst, por, szemcse, köd, gombaspóra, baktérium, vírus stb.) kibocsátást jelent.

Szennyeződnek felszíni és felszín alatti vizeink szervetlen és szerves lebegő anyagokkal, oldott gázokkal, vegyszerekkel, radioaktív részecskékkel, mikroorganizmusokkal, valamint a természetesnél jóval magasabb hőmérséklettel is.

A talajszennyezésben dominálnak a vegyszerek (műtrágyák, mosószeres is), a szénhidrogén-származékok, radioaktív hulladékok, szemétkerakatok, ill. az ipari és közlekedési nehézfém-kibocsátás.

Egyre növekvő problémát jelent a települési és termelési hulladékok, melléktermékek, kiselejtezett gépjárműroncsok kezeletlenül növekvő mennyisége.

Nem hagyhatók figyelmen kívül az ipar, a közlekedés, az épületgépészet, a távközlés okozta mechanikai rezgések zaj- és vibrációs ártalmai, a füllel nem érzékelhető infra- és ultrahangok károsító hatásai.

A elektromágneses sugárzások spektrumának összetevői a frekvencia növekedésével arányosan egyre nagyobb veszélyt jelentenek az élővilágra. Ilyenek a rádió- és mikrohullámok, az ultraibolya-, röntgen- és gamma-sugarak.





Az **ábra** a műanyagok reciklálását szemlélteti.

## Anyagok gyártási, technológiai állapotai:

- **nyersanyagok:** azok a természetben megtalálható ill. földkéregből bányászható anyagok, amelyekből fizikai és kémiai módszereket alkalmazó ipari technológiákkal gazdaságosan állíthatók elő alapanyagok;
- **alapanyagok:** nyersanyagokból ipari technológiákkal kinyert, jellegzetes összetételű anyagok, melyekből további megmunkálással fél(kész)gyártmányok vagy késztermékek állíthatók elő;
- **fél(kész)gyártmányok:** az alapanyagokból bizonyos mértékű megmunkálással nyert félkész termékek, általában a késztermékgyártás igényeihez igazodó alak- és méretválasztékkal. Gyakran az alapanyagok előállításához térben és időben kötődő gyártóeljárásokkal készülnek (pl. az acélt előállító kohászati üzemek meleg- és hidegalakítással rúd- és lemezszerű fél/kész/gyártmányok széles választékát gyártják).
- **késztermékek:** fél(kész)gyártmányokból, esetenként alapanyagokból előállított, további megmunkálást már nem igénylő, minőségileg megfelelő gyártmányok.
- **hulladékok:** nyersanyagkinyerés, alapanyag-előállítás, félgyártmány- vagy késztermékgyártás során keletkező melléktermékek, továbbá a minőségileg nem megfelelő vagy elhasználódott késztermékek.

Az előző **ábra** kapcsán értelmezhetővé válnak az anyagok különböző gyártási, technológiai állapotai is a következők szerint:

- nyersanyagok: azok a természetben megtalálható ill. földkéregből bányászható anyagok, amelyekből fizikai és kémiai módszereket alkalmazó ipari technológiákkal gazdaságosan állíthatók elő alapanyagok;
- alapanyagok: nyersanyagokból ipari technológiákkal kinyert, jellegzetes összetételű anyagok, melyekből további megmunkálással fél(kész)gyártmányok vagy késztermékek állíthatók elő;
- fél(kész)gyártmányok: az alapanyagokból bizonyos mértékű megmunkálással nyert félkész termékek, általában a késztermékgyártás igényeihez igazodó alak- és méretválasztékkal. Gyakran az alapanyagok előállításához térben és időben kötődő gyártóeljárásokkal készülnek (pl. az acélt előállító kohászati üzemek meleg- és hidegalakítással rúd- és lemezszerű fél/kész/gyártmányok széles választékát gyártják).
- késztermékek: fél(kész)gyártmányokból, esetenként alapanyagokból előállított, további megmunkálást már nem igénylő, minőségileg megfelelő gyártmányok.
- hulladékok: nyersanyagkinyerés, alapanyag-előállítás, félgyártmány- vagy késztermékgyártás során keletkező melléktermékek, továbbá a minőségileg nem megfelelő vagy elhasználódott késztermékek.

Az egyes anyagtechnológiai folyamatszakaszok során különböző **segédanyagok alkalmazására** is szükség van, melyek az egyes megmunkálások végtermékébe nem épülnek be.

- A **kenőanyagok** a gyártóberendezések tervezett karbantartásai közötti időszakokban a **zavartalan üzemeltetést**, a **gyártóeszközök** (szerszámok) **élettartamának növelését** segítik. De nem csak a **súrlódást csökkentik**, hanem alkalmazásuk helyén bizonyos fokú **korrózióvédelmet** és hűtőhatást (súrlódási hő elvezetésével) **is biztosítanak**.
- A technológiai **hűtőközegek** szerepe a **megmunkáló szerszámok védelme** és ezáltal **élettartamuk növelése**, a **megmunkálandó anyagok nemkívánatos szerkezet-változásainak megakadályozása** vagy éppen ellenkezőleg: **anyagszerkezet-módosulásuk elősegítése**.
- Technológiai szempontból **védőközegnek** azt a légnemű, cseppfolyós vagy szilárd anyagot tekinthetjük, amely csak a **megmunkálás során**, a **munkadarab felületvédelme** érdekében fejti ki hatását.

Az egyes anyagtechnológiai folyamatszakaszok során különböző segédanyagok alkalmazására is szükség van, melyek elsősorban hűtő-kenő vagy védő funkciót látnak el, az egyes megmunkálások végtermékébe nem épülnek be:

- A kenőanyagok a gyártóberendezések tervezett karbantartásai közötti időszakokban a zavartalan üzemeltetést, a gyártóeszközök (szerszámok) élettartamának növelését segítik. De nem csak a súrlódást csökkentik, hanem alkalmazásuk helyén bizonyos fokú korrózióvédelmet és hűtőhatást (súrlódási hő elvezetésével) is biztosítanak.
- A technológiai hűtőközegek szerepe a megmunkáló szerszámok védelme és ezáltal élettartamuk növelése, a megmunkálandó anyagok nemkívánatos szerkezetváltozásainak megakadályozása vagy éppen ellenkezőleg: anyagszerkezet-módosulásuk elősegítése.
- A technológiai szempontú védőközeg az a légnemű, cseppfolyós vagy szilárd anyag, amely csak a megmunkálás során, a munkadarab felületvédelme érdekében fejti ki hatását.

## Anyag- és technológiafejlesztési irányzatok, ill. elvek

- „**material tailoring**” ill. „**inclusion tailoring**” (anyag- ill. zárványtervezés), azaz **kihasználni a technológiákban rejlő anyagszerkezet-módosítási lehetőségeket** (mechanikus ötvözés, pórusos szerkezet kialakítása), csökkentve a szükséges műveletek számát is.
- „**near net shape technology**”, azaz olyan technológiát alkalmazni, mely a végső (kész) termékalkot minél **kevesebb időráfordítással**, minél pontosabban megközelítve képes produkálni, csökkentve a forgácsolás mennyiségi igényét;
- „**do it well first step**”, vagyis **elsőre jól produkálni**, megfelelő **minőségirányítási** feltételek biztosításával;
- **maximális teljesítmény – minimális költség**, azaz a lehető **legtöbbet kihozni a termékből** egy meghatározott eladási ár mellett. (Ha sorrendbe rakjuk teljesítmény/ár szerint a termékeket, korlátozó tényezőt jelent(het) a fizetőképesség /fizetőképes kereslet/);

Az anyagkiválasztásban és a kapcsolódó megmunkálások tervezésében is érvényesíthető fejlesztési irányzatok:

- „material tailoring” ill. „inclusion tailoring” (anyag-, ill. zárványtervezés), azaz kihasználni a technológiákban rejlő anyagszerkezet-módosítási lehetőségeket (mechanikus ötvözés, pórusos szerkezet kialakítása), csökkentve a szükséges műveletek számát is;
- gyártás közel a végső alakra, vagyis a kész állapotot lehetőleg egy gyártási eljárással közelítsük meg. Ennek révén az eljárással elérhető pontosság, felületi simaság legyen megfelelő, a további megmunkálás csak a legszükségesebb felületekre terjedjen ki. Ez a „near net shape technology” elv tehát azt fejezi ki, hogy olyan technológiát (pl. süllyesztékes kovácsolás) alkalmazzunk, mely a végső (kész) termékalkot minél kevesebb időráfordítással, minél pontosabban megközelítve képes produkálni, csökkentve a költséges – de a pontos méretbeállítás-hoz és a felületi érdesség biztosításához szükséges – forgácsolás mennyiségi igényét;
- „do it well first step”, vagyis **elsőre jól produkálni**, megfelelő minőségirányítási feltételek biztosításával;
- **maximális teljesítmény – minimális költség**, azaz a lehető legtöbbet hozzuk ki a termékből egy meghatározott eladási ár mellett. Ha sorrendbe rakjuk teljesítmény/ár szerint a termékeket, korlátozó tényezőt jelent(het) a fizetőképesség (fizetőképes kereslet);

## Anyag- és technológiafejlesztési irányzatok, ill. elvek

- „**energy content minimalize**”, azaz minél **kisebb fajlagos** (tömeg- vagy térfogategységre vonatkoztatott) energiafelhasználással – ezáltal **kisebb környezetterheléssel** – gyártani;
- **környezetvédelem, újrafelhasználhatóság** igényli, hogy környezetkonform irányba fejlesszük az anyagokat, a termékeket, a szolgáltatásokat és az alkalmazott technológiákat. Különösen fontos a **károsanyag-kibocsátás csökkentése**, az előzőekben már említett energiafelhasználás mérséklése és/vagy újrahasznosítható (reciklálható), ill. biológiailag lebomló anyagok alkalmazása. (A **reciklási hányad** – mint egy 0 és 100% közötti arányszám – kifejezi, hogy mekkora az adott anyagból készült tipikus termékek használat (üzemeltetés) utáni újrahasznosításának szokásos ill. ésszerű (elfogadható) mértéke az összmennyiséghez képest.)

Az anyagkiválasztásban és a kapcsolódó megmunkálások tervezésében is érvényesíthető fejlesztési irányzatok:

- minimális energiafelhasználás kifejezi, hogy a szerkezeti anyagok szoros kapcsolatban vannak az energiával, amely előállításukhoz, terméké váló feldolgozásukhoz, majd hulladékká válásuk utáni kezelésükhöz szükséges. Ökológiai szempontból nem mindegy, hogy mennyi egy anyag ill. termék fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) energiataralma, ami kitermelése, előállítása, feldolgozása energiaigényét jelenti. Ugyanis a hagyományos energiahordozókból (szén, kőolaj, földgáz) történő energiakinyerés jelentős környezetszennyezéssel jár. Így a még tisztának nyilvánított elektromos energia alkalmazásakor is tekintettel kell lenni arra, hogy az azt előállító szén-, kőolaj- (pakura-) vagy földgáztüzelésű erőmű tetemes levegő- és vízszennyezést okoz. Tehát ez esetben nem közvetlenül a gyárban, hanem az erőműnél lép fel környezetszennyezés, azaz közvetetten jelentkezik.
- környezetvédelem, újrafelhasználhatóság igényli, hogy környezetkonform irányba fejlesszük az anyagokat, a termékeket, a szolgáltatásokat és az alkalmazott technológiákat. Különösen fontos a károsanyag-kibocsátás csökkentése, az előzőekben már említett energiafelhasználás mérséklése és/vagy újrahasznosítható (reciklálható), ill. biológiailag lebomló anyagok alkalmazása. A reciklási hányad – mint egy 0 és 100% közötti arányszám – kifejezi, hogy mekkora az adott anyagból készült tipikus termékek használat (üzemeltetés) utáni újrahasznosításának szokásos ill. ésszerű (elfogadható) mértéke az összmennyiséghez képest.

## Ökonómiai szempontok

A termék-előállítási költség két legfontosabb összetevője az **anyag** (nyersanyag, kitermelés, szállítás, ...) és a **gyártási technológia költsége**.

Nem célravezető mindig az anyagköltség minimalizálása, mert sok esetben az **olcsóbb alapanyag csekély élettartamot**, **kis** használati **biztonságot**, sőt **nagy ráfordításigényű gyártástechnológiát** von(hat) maga után.

Ugyancsak figyelembe kell venni az anyagok **külső makroszerkezetének beszerezhető formáit**.

Az anyagkiválasztás optimum kritériuma a műszaki és a gazdasági paraméterek legkedvezőbb összhangja kell legyen. Mivel a feladat meglehetősen komplex, ezért erre az **optimumra** legtöbb esetben csak törekszünk, mert gyakran **kompromisszumokra** kényszerülünk.

A termék-előállítási költség két legfontosabb összetevője az anyag (nyersanyag, kitermelés, szállítás, ...) és a gyártási technológia költsége.

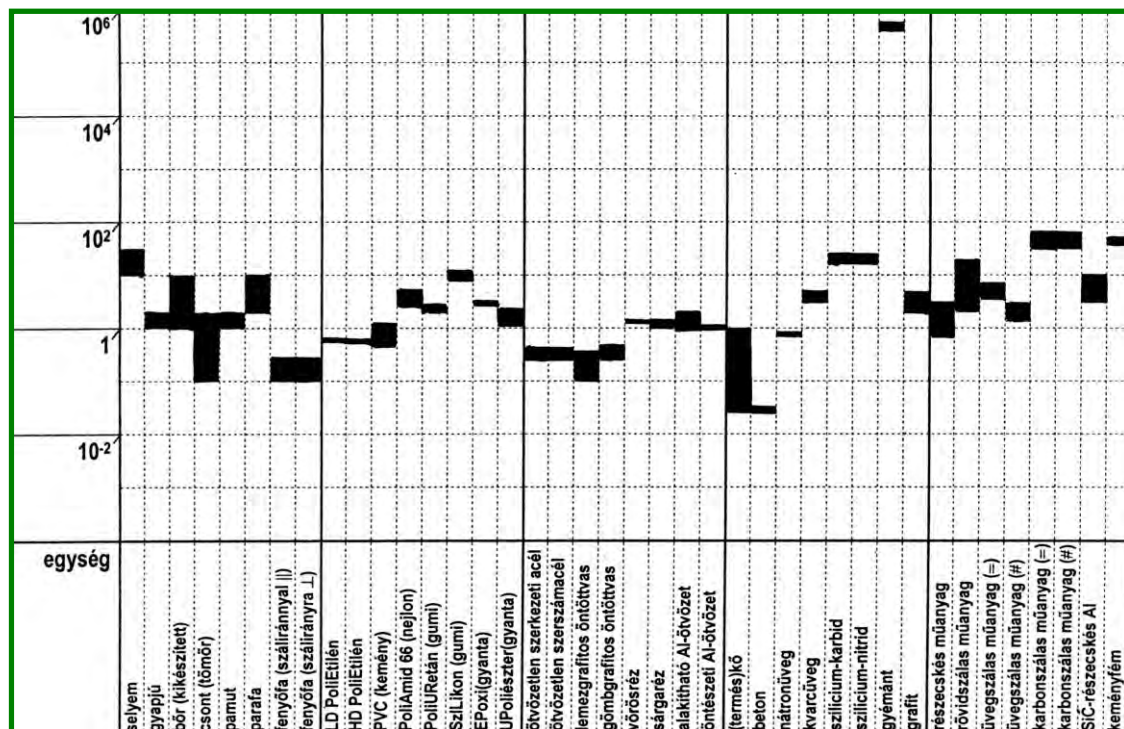
Nem célravezető mindig az anyagköltség minimalizálása, mert sok esetben az olcsóbb alapanyag csekély élettartamot, kis használati biztonságot, sőt nagy ráfordításigényű gyártástechnológiát von(hat) maga után.

Ugyancsak figyelembe kell venni az anyagok külső makroszerkezetének beszerezhető formáit.

Az anyagkiválasztás optimum kritériuma a műszaki és a gazdasági paraméterek legkedvezőbb összhangja kell legyen.

Mivel a feladat meglehetősen komplex, ezért erre az optimumra legtöbb esetben csak törekszünk, mert gyakran kompromisszumokra kényszerülünk.

## Anyagköltség-mutatók



Az anyagköltség relatív összehasonlítását teszi lehetővé az **ábra**.

## Anyagok beszerezhető formái

	„hosszú” (1D-s) felkészítésmódozatok				„széles” (2D-s) felkészítésmódozatok				„magas” (3D-s) felkészítésmódozatok					
	kur. szelvényű tomár nud	nem szelvényű tomár nud	huzal, vékony szál	cső, zárt szelvény	szalag, lapos rud	vastag lemez >6 mm	vékony lemez 0,5-6 mm	folia, fólia	gyártmány	gyártmány	gyártmány	tömb, buga	öntvény	gyártmány
selyem														
gyapjú														
bőr (kikészített)														
csont (tömör)														
pamut														
parafa														
fenyőfa (szaliránnyal   )														
fenyőfa (szalirányra ⊥)														
LD PoliÉtilén														
HD PoliÉtilén														
PVC (kemény)														
PoliAmid 66 (nejlon)														
PoliUretán (gumi)														
Szilikon (gumi)														
EPoxi(gyanta)														
UPoliászter(gyanta)														
öntvényetlen szerkezetű acél														
öntvényetlen szerkezetű alumínium														
lemezgrafitos öntöttvas														
gömbgrafitos öntöttvas														
vörösréz														
sárgaréz														
alakítható Al-öntvény														
öntészeti Al-öntvény														
(természkő)														
beton														
natronüveg														
kvartzüveg														
szilícium-karbid														
szilícium-nitrid														
gyémánt														
grafit														
részecskés műanyag														
rövidszálas műanyag														
üvegszálas műanyag (=)														
üvegszálas műanyag (#)														
üvegszálas műanyag (=)														
karbonszálalás műanyag (#)														
karbonszálalás műanyag (=)														
SiC-részecskés Al														
keményfém														

Az anyagok külső makroszerkezetének beszerezhető formáiról tájékoztat az **ábra**.



## Bioanyagok felosztása

**állati és növényi eredetű bioanyagok: produktumok** az állatok vagy növények által bizonyos rendszerességgel termelt szerves anyagok (pl. hernyóselyem, gyapot), melyeknek szakszerű elválasztása nem jár az élőlény elpusztításával, ezért környezetbarát, pontosabban élőlénybarát szerkezeti anyagoknak tekinthetők.

**kültakarók** az állatok és a növények belső részeit a külvilágtól – a környezet hatásaitól – eltakaró és védő szerves anyagok (pl. toll, parafa), melynek szakszerű elválasztása egyes esetekben az élőlény elpusztításával jár. A kültakarók lehetnek egészében (pl. prém), vagy részeiben (pl. bőr + szőr) is felhasználhatók, ill. bizonyos esetekben újraképződők (pl. gyapjú).

**vázak** az állatok és a növények állékonyságát biztosító szerves anyagok (pl. csont, fatörzs), melynek elválasztása rendszerint az élőlény elpusztításával jár együtt. Ez felveti annak igényét, hogy folyamatosan biztosított legyen az utánpótlás, azaz az utódnevelés ill. az újrateremtés.

BIOANYAGOK (Biopolimerek, szerves természetes anyagok)	
<b>ÁLLATI EREDETŰ BIOANYAGOK (Zoopolimerek, fehérjebázisú anyagok)</b>	
PRODUKTUMOK („termelt” anyagok)	
VALÓDI SELYMEK	
Hernyóselymek: Bombyx éjjeli lepkék hernyóinak miringváladáka	
Pókselymek: selyemtermő pókok miringváladáka	
MESZES KEPZŐDMÉNYEK	
Tojáshéjak: tyúk, kacsa, liba, pulyka, strucc	
Ígázgyöngyök: tengeri gyöngybagoly, folyami gyöngybagoly	
KÜLTAKARÓK	
IRHÁK	
Bőrök: szarvasmarha, sertés, ló, tarandszarvas, hód, oroszlanfóka, dugonca	
Prémek: juh, nyúl, ezüst- kék- fekete- platinaróka, mosomedve, nutna, coboly	
IRHAKÉPZŐDMÉNYEK	
Gyapjak: juh, láma; szőrök: nyúl, angorakecske, teve, jak; tollak: liba, kacsa	
Bőrpáncélok: teknős, krokodil; agancsok: szarvasfélék; szarvak: kecske, kos	
VÁZAK	
KÜLSŐ VÁZAK	
Kagylóteknők (2 darabból állnak, gyöngyházréteggel); folyami, tengeri, tavi	
Csigaházak (1 darabból állnak); tengeri, folyami, szárazföldi	
BELSŐ VÁZAK	
Törzscsontok, agyarak: afrikai elefánt, rozsmár; szilák: cel, bálna	
Pórusos szivacsok: tengeri, édesvízi	
<b>NÖVÉNYI EREDETŰ BIOANYAGOK (Fitopolimerek, cellulóz bázisú anyagok)</b>	
PRODUKTUMOK (természeszek)	
MAGRÉSZEK	
Maghészőrzők: gyapot (pamut, vatta), kapokfa (pamutfa), hernyóselyemfa	
Maghéjak: kókuszpálma, Maldív-dió	
HÉJRÉSZEK	
Terméshéj alatti rostok: kókuszpálma	
Kemény terméshéjak: tókfa	
KÜLTAKARÓK	
SZÁRRÉSZEK	
Háncsok: juta, rami, rostlen, kender, rostmályva (kenaf), kúszpálma (rotang)	
Kéreg: parafa, papíreperta, papírborszián	
LEVELRÉSZEK	
Levéltrostok: szizálaqavé, Maurítius-kender, Új-zélandi kender, ananász	
Levélyéltrostok: manilakender, indiai lótuusz	
VÁZAK	
SZÁRAK	
Csőszerűek: üregesek: gabonafélék szalmái, nádak	
Bélelték, pórusosak: bambusz, papiruszsás, kukorica, gyékény	
FATÖRZSEK	
Lombos fák: akác, tölgy, bükk, dió, fűz, poliszander, ében, mahagóni, cédrus	
Tülevelű fák: erdei-, vörös-, fekete-, luc-, cirbolya-, páfrány-, jejenye fenyő	

A bioanyagok olyan kémiai vegyületekből állnak, amelyeket organizmusok (élő szervezetek) állítanak elő. Alkotóik közül a karbon (szén) a legjelentősebb, láncokat, gyűrűket és azok változatos sorozatát alkotva a hidrogén, az oxigén és a nitrogén (valamint néhány kisrendszámú elem) beépítésével.

A biopolimerek csoportján (ábra) belül keletkezésük alapján megkülönböztetünk állati és növényi eredetű bioanyagokat. Mindkét alcsoporton belül további rendezővel jelent, hogy produktumról, kültakaróról, vagy vázról van-e szó:

- A produktum az állatok vagy növények által bizonyos rendszerességgel termelt szerves anyag (pl. hernyóselyem, gyapot), melynek szakszerű elválasztása nem jár az élőlény elpusztításával, ezért környezetbarát, pontosabban élőlénybarát szerkezeti anyagoknak tekinthető.
- A kültakaró az állatok és a növények belső részeit a külvilágtól – a környezet hatásaitól – eltakaró és védő szerves anyag (pl. toll, parafa), melynek szakszerű elválasztása egyes esetekben az élőlény elpusztításával jár. A kültakaró lehet egészében (pl. prém), vagy részeiben (pl. bőr + szőr) is felhasználható, ill. bizonyos esetekben újraképződő (pl. gyapjú).
- A váz az állatok és a növények állékonyságát biztosító szerves anyag (pl. csont, fatörzs), melynek elválasztása rendszerint az élőlény elpusztításával jár együtt. Ez felveti annak igényét, hogy folyamatosan biztosított legyen az utánpótlás, azaz az utódnevelés ill. az újrateremtés.

## Műanyagok felosztása

A műanyagok csoportosítását **előállításuk bázisanyaga** határozza meg, beszélhetünk **természetes alapú és mesterséges alapú** műanyagokról. A feldolgozhatóságukat is befolyásoló **termoállapotaik** szerint beszélhetünk **hőre lágyuló** műanyagokról (plasztomerekről, termoplasztokról), **gumirugalmas** műanyagokról (elasztomerekről, elasztoplasztokról) és **hőre keményedő**, pontosabban hőre nem lágyuló műanyagokról (duromerekről, duroplasztokról).

MŰANYAGOK (Sztetikus polimerek, szerves mesterséges anyagok)	
<b>TERMÉSZETES ALAPÚ MŰANYAGOK</b>	
FEHÉRJE ALAPÚ, FŐKÉNT HŐRE KEMÉNYEDŐ MŰANYAGOK	
ÁLLATI FEHÉRJEBŐL	
Kazein (tejfehérje) alapú: qalalit (múszaru, műselvem)	
Bőr-, csont-, vérfehérje alapú: mesterséges hártva, film	
NÖVÉNYI FEHÉRJEBŐL	
Zein (szóla-, kukoricafehérje) alapú: múszál, présanyag	
Algin (alga-, moszatfehérje) alapú: film, múszál	
LIPID ALAPÚ, FŐKÉNT GUMIRUGALMAS MŰANYAGOK	
KAUCSUKBŐL	
Lágy- és keménygumik: természetes gumi, ebonit	
Termoprének (termoplasztikus elasztomerek)	
SZÁRADÁSHÁ KEPEK OLAJBŐL	
Állati (cethal- és fókaolaj) eredetű: faktisz → gumi	
Növényi (len- és repceolaj) eredetű: linoxin → linóleum	
CELLULÓZ ALAPÚ, FŐKÉNT HŐRE LÁGYULÓ MŰANYAGOK	
HIDRÁT-CELLULÓZOK	
Múszálak, mesterséges hártvák: viszkóz, műselvem, cellofán	
Papírok, papírszármazékok: papír, karton, lemez, vulkánfibre, pergament	
CELLULÓZ-SZÁRMAZÉKOK	
Cellulóz-éterek: metil-cellulóz, etil-cellulóz, benzil-cellulóz	
Cellulóz-észterek: cellulóz-nitrát, cellulóz-acetát, cellulóz-acetobutirát	
<b>MESTERSÉGES ALAPÚ MŰANYAGOK</b>	
HŐRE LÁGYULÓ MŰANYAGOK: PLASZTOMEREK	
ÁLTALÁNOS RENDELTELTÉSŰEK	
Kisebb terhelhetőségek: PE, PP, PVC, PS, SAN, SB, ABS (tömör vagy hab)	
Nagyobb terhelhetőségek: PA (6, 11, 12, 4,6, 6,6, 6,10 ...), POM, PET, PBT	
KÜLÖNLEGES TULAJDONSÁGÚAK	
Hőállóak: PTFE, PVDF, PVF, PEEK, PAI, PEI, PSU, PESU, PPS	
Optikailag üvegszerűek: PMMA, PC	
GUMIRUGALMAS MŰANYAGOK: ELASZTOMEREK	
KÖZÖNSÉGES MŰGUMIK (mesterséges kaucsukok)	
Polibutadiének, butilgumik: BR, SBR, NBR	
Polikloroprének, neoprének: CR	
KÜLÖNLEGES MŰGUMIK	
Poluretánok és polikarbamidok: lineáris PU, térhálós PU	
Szilikonok és polysziloxánok: SIL	
HŐRE KEMÉNYEDŐ MŰANYAGOK: DUROMEREK	
SAJTOLÓGYANTÁK ÉS KÖTŐANYAGOK	
Fenoplasztok: bakelitok (PF), FF	
Ámionoplasztok: melamin-származékok (MF), karbamid-származékok (UF)	
ÖNTŐGYANTÁK ÉS SZÁLKÉPZŐ ANYAGOK	
Teltetlen polészter (UP): polésztergyanták	
Epoxigyanták (EP): poliepoxyvegyületek	

A műanyagok csoportosítását (**ábra**) előállításuk bázisanyaga határozza meg. Ezek szerint beszélhetünk természetes alapú és mesterséges alapú műanyagokról.

További rendezőelvként megkülönböztetünk hőre lágyuló, gumirugalmas és hőre keményedő (pontosabban hőre nem lágyuló) műanyagokat.

A műanyagok feldolgozási mód szerint is csoportosíthatók, azaz beszélhetünk extruderanyagokról, fröccs(öntő)anyagokról, sajtolóanyagokról, fröccssajtoló anyagokról és öntőgyantákról.

A műanyagok (sztetikus polimerek) nagy része biológiailag nem lebontható, ezért jelentős környezetterhelést, ill. -szennyezést jelentenek használatuk után, tehát szükség van a recikálhatóságuk (újrahasznosításuk) megoldására.

## Fémek felosztása

A vasötvözetek tekinthetők viszonyítási alapnak:

A  $\rho=4500 \text{ kg/m}^3$ -nél nagyobb sűrűségűek a **nehézfémek**, az azoknál könnyebbek a **könnyűfémek**;

Nhézfémeken belül **feketefémnek** tekintjük a vasat és ötvözőit, **színesfémnek** nevezzük pl. a rezet, a cinket, az ólmot, az ónt és a nemesfémeket;

A vashoz ( $T_{olv}=1538 \text{ }^\circ\text{C}$ ) képest **kisebb olvadáspontja** ( $T_{olv}<1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) van pl. a cinknek, az ólomnak, az alumíniumnak, a magnéziumnak, míg **nagyobb olvadáspontú** ( $T_{olv}>2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pl. a molibdén, a volfrám, a nióbium, a tantál;

Értékük (ritkaságuk) és korrózióállóságuk alapján a vashoz képest **nemesfémek** az ezüst, az arany, a platina, a palládium;

Ezek szerint megkülönböztethetünk: **vasalapú fémes anyagokat** azaz vasötvözeteket és **nemvas fémeket**.

FÉMEK		
<b>VASÖTVÖZETEK</b>		
<b>ACÉLOK (ALAKÍTHATÓ VASÖTVÖZETEK)</b>		
<b>SZERKEZETI ACÉLOK (Mégmunkálendő vasötvözetek)</b>		
Általános célra: alakításra, forgácsolásra, hegesztésre, hőkezelésre	C% > 0	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
Speciális célra: hidegszivós, melegszilárd, korrózióálló, hőálló	0,76 > C%	
<b>SZERSZÁMACÉLOK (Mégmunkáló vasötvözetek)</b>		
Alakító szerszámok acéljai: hidegalakításhoz, megalakításhoz	C% ≥ 0,76	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
Forgácsoló szerszámok acéljai: hidegkopásra, melegkopásra	2,14 ≥ C%	
<b>ÖNTÖTTVASAK (ÖNTÉSZETI VASÖTVÖZETEK)</b>		
<b>KARBIDOS ÖNTÖTTVASAK (Fehéröntvények)</b>		
Kopásálló öntvények: nem hőkezelt fehéröntvények	4,3 > C% > 2,14	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
Temperöntvények: hőkezelendő fehéröntvények		
<b>GRAFITOS ÖNTÖTTVASAK (Szürkeöntvények)</b>		
Lemezgrafitos öntöttvasak: közönséges, modifikált	4,3 > C% > 2,14	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
Gömbgrafitos öntöttvasak: globulitos, vermikuláris		
<b>NEMVASFÉMEK</b>		
<b>NEHÉZFÉMEK</b>		
<b>FEKETEFÉMEK ÉS ÖTVÖZETEIK</b>		
2000 °C alatt olvadó fémek (Mn, Cr, Ni, V, Co, Zr) és ötvözeteik	C% = 0	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
2000 °C felett olvadó fémek (Mo, W, Nb, Ta, Hf, Re) és ötvözeteik		
<b>SZÍNESFÉMEK ÉS ÖTVÖZETEIK</b>		
Félnemes fémek (Cu, Zn, Pb, Sn) és ötvözeteik	C% = 0	4500 kg/m <sup>3</sup> < p
Nemes fémek (Ag, Au, Pt, Pd) és ötvözeteik		
<b>KÖNNYŰFÉMEK</b>		
<b>1000 °C ALATT OLVADÓ FÉMEK ÉS ÖTVÖZETEIK</b>		
Alakítható Al- és Mg-ötvözetek	C% = 0	p ≤ 4500 kg/m <sup>3</sup>
Öntészeti Al- és Mg-ötvözetek		
<b>1000 °C FELETT OLVADÓ FÉMEK ÉS ÖTVÖZETEIK</b>		
Alakítható Ti- és Be-ötvözetek	C% = 0	p ≤ 4500 kg/m <sup>3</sup>
Öntészeti Ti- és Be-ötvözetek		

A fémeket sokféle szempont alapján lehet ill. szokás csoportosítani (**ábra**). A legnagyobb mennyiségben gyártott fémes anyagok a vasötvözetek tekinthetők viszonyítási alapnak.

A vashoz ( $T_{olv}=1538 \text{ }^\circ\text{C}$ ) képest kisebb olvadáspontú ( $T_{olv}<1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pl. a cink, az ólom, az alumínium, a magnézium, míg nagyobb olvadáspontú ( $T_{olv}>2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pl. a molibdén, a volfrám, a nióbium, a tantál. Értékük (ritkaságuk) és korrózióállóságuk alapján a vashoz képest nemesfémek az ezüst, az arany, a platina, a palládium.

A  $\rho=4500 \text{ kg/m}^3$ -nél nagyobb sűrűségűek a nehézfémek (pl. a vasra  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ ), az azoknál könnyebbek ( $\rho \leq 4500 \text{ kg/m}^3$ ) a könnyűfémek (pl. Al, Mg, Ti, Be, Li, Ca, Y, Sc).

Nhézfémeken belül feketefémnek tekintjük a vasat és ötvözőit (pl. Mn, Cr, Ni, V, Co, Zr, Mo, W, Nb, Ta, Hf, Re), színesfémnek nevezzük pl. a rezet, a cinket, az ólmot, az ónt és a nemesfémeket.

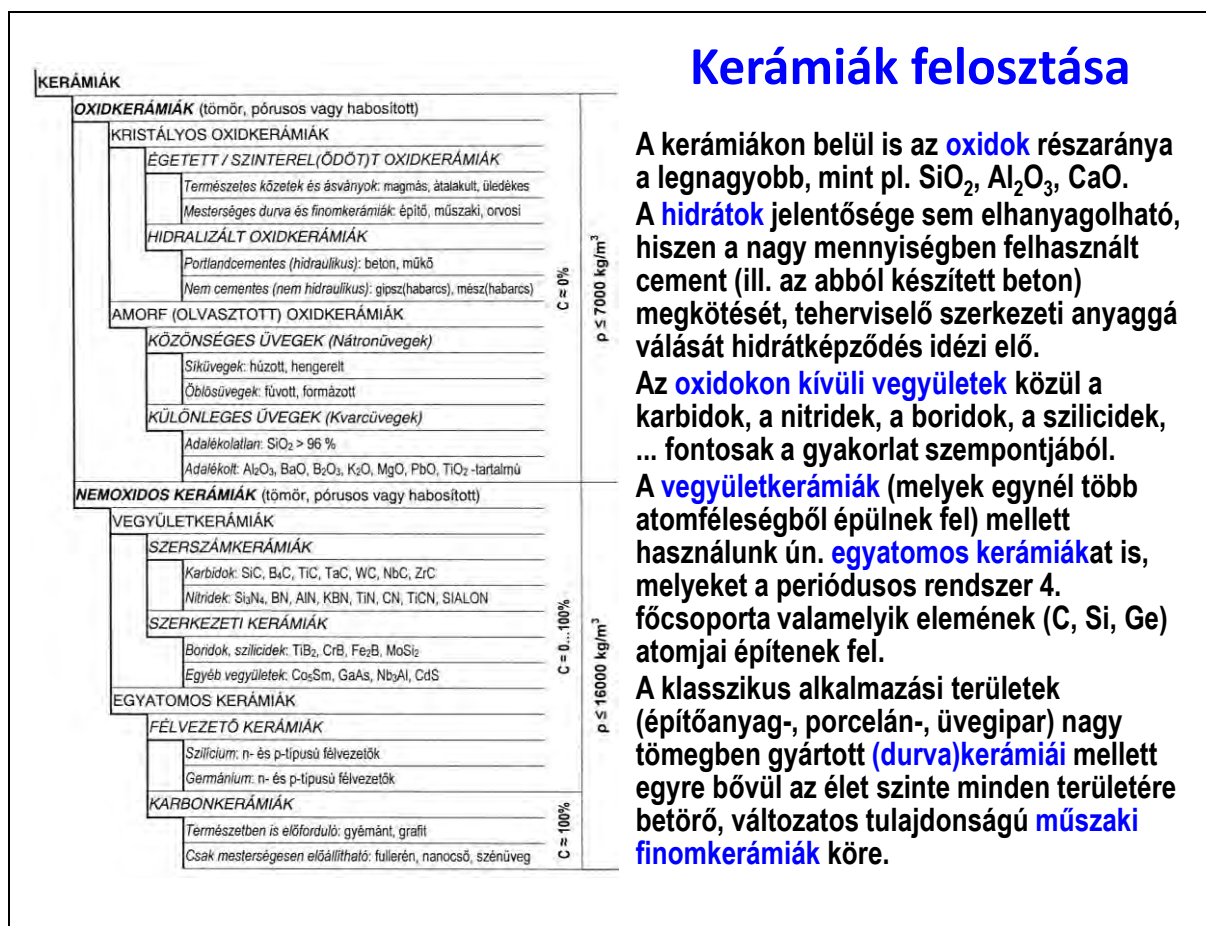
Az előzők alapján tehát megkülönböztethetünk: vasalapú fémes anyagokat azaz vasötvözeteket és nemvas fémeket.

A vasötvözetek a bennük lévő karbon- (vagy szén-)tartalomtól függően öntöttvasak (öntészeti anyagok) és acélok (alakítható anyagok) közé sorolhatók be.

Az öntöttvasak a karbon megjelenési formája (vegyület, elemi szén) szerint karbidosak vagy grafitosak lehetnek. Az öntöttvasaknál kevesebb korbont tartalmazó acélok szintén a korbontartalom – és azzal összefüggésben lévő keménység, ill. kopásállóság – szerint oszthatók fel szerszámacélokra és szerkezeti acélokra.

A szerszámacélok két fő alkalmazási területe: az alakítással és a forgácsolással történő anyagmunkálás szerszámainak gyártása. A szerkezeti acélok egy részét általános felhasználásra (alakítással, forgácsolással, hegesztéssel, hőkezeléssel történő feldolgozásra), másik részét valamilyen speciális rendeltetésre, azaz egy-egy jellegzetes károsodással (kúszás, törés, korrózió, revésedés stb.) szembe-ellenállásra célszerű alkalmazni.

A nemvasfémekre is jellemző, hogy a fő ötvözőik mennyisége szerint alakítható (alakítási célú) és öntészeti ötvözeteiket különböztetik meg, azaz szilárd oldatos (kisebb ötvözőtartalmú) és eutektikus (nagyobb ötvözőtartalmú) változataik fontosak a gyakorlat szempontjából. Mindkét csoportban vannak nemesíthető (hőkezeléssel módosítható tulajdonságú) és nem nemesíthető ötvözetek. Ez utóbbiak viszont rendszerint jól hegeszthetők.



Az **ábra** mutatja a keramikus anyagok egy lehetséges felosztását.

A kerámiák legnagyobb része egyszerűbb vegyület, amelyeket a periódusos rendszer III.A.-VII.A. oszlopainak nemfémes atomjai képeznek. Ezekben belül is az oxidok részaránya a legnagyobb, mint pl. a SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO.

A hidrátok is jelentősek, hiszen a nagy mennyiségben felhasznált cement (ill. az abból készített beton) megkötését, teherviselő szerkezeti anyaggá válását hidrátképződés idézi elő.

Az oxidokon kívüli vegyületek közül a karbidok, a nitrdek, a boridok, a szilicidok stb. fontosak a műszaki gyakorlat szempontjából.

A vegyületkerámiák (melyek egynél több atomféleségből épülnek fel) mellett használunk ún. egyatomos kerámiákat is, melyeket a periódusos rendszer IV. oszlopának valamelyik eleme (C, Si, Ge) atomjai építenek fel.

A klasszikus alkalmazási területek – építőanyag-, porcelán-, üvegipar – nagy tömegben gyártott (durva)kerámiái mellett bővül a változatos tulajdonságú műszaki finomkerámiák köre is.

## KOMPOZITOK

**Összetett szerkezeti anyagok**, amelyeket **legalább két** különböző, önmagában **monolitnak** (egyneműnek) **tekinthető anyag társításával, előnyös tulajdonságaik kombinálása céljából** hoznak létre.

**Bioanyagok – mint mátrixanyagok** – esetén a kompozitgyártás elsődleges célja az **anizotrópia csökkentése**, az **anyagtakarékoság** és a **környezeti hatásokkal szembeni ellenállás fokozása** lehet.

**Műanyag bázisú kompozitok** gyártását főként a **szilárdságnövelés** és a **termikus stabilitás javítása** motiválja.

**Fém mátrixú kompozitoknál** a szilárdságnövelés, a **kémiai ellenállás javítása** és a **hőállóság fokozása** a fontos fejlesztési érv.

**Kerámia alapanyagú összetett anyagok** készítését elsősorban a **szívósságnövelés** (ridegségcsökkentés) és a **megmunkálhatóság javítása** indokolja.

A kompozitok összetett szerkezeti anyagok, amelyeket legalább két különböző, önmagában monolitnak (egyneműnek) tekinthető anyag társításával, előnyös tulajdonságaik kombinálása céljából hoznak létre. Elvileg az anyagcsoportok tagjai számtalan kombinációban társíthatók egymással, de célszerű mérlegelni a létrejövő kompozit gyakorlati hasznosságát, költségeit, tervezni az összetevő anyagok kevert tulajdonságainak előnyeit.

A kompozit (erősített anyag, társított anyag) olyan szilárd anyag, mely legalább két, egymásban nem (vagy csak elhanyagolható mértékben) oldódó komponensből áll. Ezek közül az egyik (a nagyobb részarányú vagy a kisebb szilárdságú) a mátrix- vagy kötőanyag, a másik (a kisebb részarányú vagy a nagyobb rugalmassági modulusú ill. szilárdságú) az adalékanyag. A kompozit terhelés hatására – a rugalmas tartományon belül – mechanikailag, makroszkóposan egységes anyagként viselkedik.

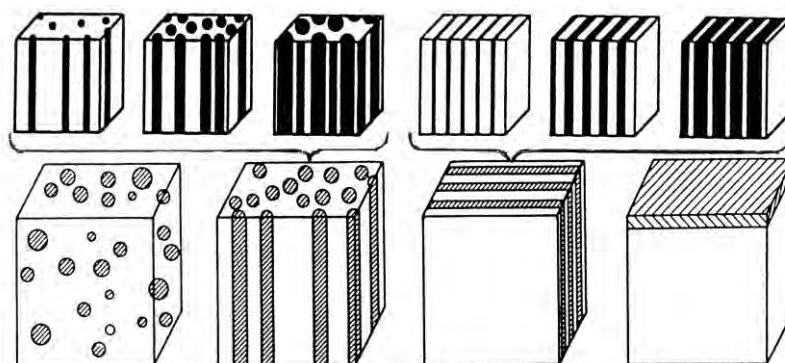
A kompozitok tulajdonságai rendszerint eredő tulajdonságok, melyeket az alkotó két vagy több anyag aránya, egymáshoz képesti elhelyezkedése, eloszlása, a köztük fellépő kötés erőssége és egyenkénti tulajdonságaik határoznak meg.

- Bioanyagok – mint mátrixanyagok – esetén a kompozitgyártás elsődleges célja az anizotrópia csökkentése, az anyagtakarékoság és a környezeti hatásokkal szembeni ellenállás fokozása lehet.
- Műanyag bázisú kompozitok gyártását főként a szilárdságnövelés és a termikus stabilitás javítása motiválja.
- Fém mátrixú kompozitoknál a szilárdságnövelés, a kémiai ellenállás javítása és a hőállóság fokozása a fontos fejlesztési érv. Kerámia alapanyagú összetett anyagok készítését elsősorban a szívósságnövelés (ridegségcsökkentés) és a megmunkálhatóság javítása indokolja.

## Kompozitok morfológiája

A **kompozitok morfológiailag** (az alap- vagy mátrixanyaghoz társított adalékanyag alaki jellemzői szerint) négy fő csoportba sorolhatók be:

- **szemcsés** (diszperziós) kompozitok,
- **szálas** (hosszú vagy rövid szálas) kompozitok,
- **réteges** (laminált) kompozitok,
- **bevonatos** kompozitok.



Ezekon belül a **makrokompozitok** mellett **mikrokompozitok** is léteznek, azaz vannak olyan társított anyagok is, melyeknek egyes monolit összetevői csak mikroszkóppal észlelhetők, szabad szemmel már nem.

A kompozitok mint társított anyagok morfológiailag (az alap- vagy mátrixanyaghoz társított adalékanyag alaki jellemzői szerint) négy fő csoportba sorolhatók (**ábra**):

- szemcsés (diszperziós) kompozitok,
- szálas (hosszú vagy rövid szálas) kompozitok,
- réteges (laminált) kompozitok,
- bevonatos (felületkezelésű) kompozitok.

Ezekon belül a makrokompozitok mellett mikrokompozitok is léteznek, azaz vannak olyan társított anyagok is, melyeknek egyes monolit összetevői csak mikroszkóppal észlelhetők, szabad szemmel már nem.

A kompozitok – mint többalkotós szerkezeti anyagok – létrehozásának leggyakoribb módja, hogy nagy rugalmasságú ill. szilárdságú, gyakran kemény adalék- vagy erősítőanyagot társítsanak szívósabb, lágyabb mátrix- (ágyazó-, kötő-) anyaggal, előnyös tulajdonságaik kombinálása céljából. Például szívós, de mérsékelt szilárdságú műanyag társítható rideg, de nagy szilárdságú üvegszálakkal. Az eredményül adódó üvegszál-erősítésű műanyag egyesíti az üvegszál nagy szilárdságát a műanyag szívósságával, ill. csökkenti az üvegszál ridegségéből és a műanyag csekély szilárdságából következ(het)ő hátrányokat.

Szálirányban elérhető a szerkezeti acélokra jellemző szilárdság, miközben az eredő sűrűség (és az abból származó önsúly) kicsi marad. Ilyen módon a fajlagos szilárdság (szilárdság/sűrűség hányados, mint komplex anyagjellemző) meghaladhatja a fémekét. Alkalmazás szempontjából további előnyt jelent a viszonylag kicsi alakváltozó képesség (szakadási nyúlás), a jobb korrózió- és klímaállóság, ill. az, hogy egyszerű(bb) technológiákkal történhet a megmunkálás. Hátrányként merül fel a fémekénél kisebb rugalmassági modulus és méretezésnél – az anyagtulajdonság nagyobb szórásából szükségszerűen következő – megnövelt biztonsági tényező.

## Szemcsés kompozitok

jelleg \ összetétel	alpmátrix (vagy kötőanyag)	+ szemcseadalék (vagy erősítőanyag)	→ kompozit (összetett anyag vagy termék)
<b>Polimermátrixú kompozitok</b>	formaldehid gyanta	farost	farostlemez
	karbamidgyanta	pozdorja vagy faforgács	pozdorjalap vagy faforgácslap
	hosszú karbon-láncú bitumen	zúzott kő	aszfalt
	vulkanizálható poliizoprén	korom (karbon)	autógumi
<b>Fémhátrixú kompozitok</b>	kobalt (Co)	volfrámkarbid (WC)	keményfém (widia)
	molibdén (Mo) vagy nikkél (Ni)	titánkarbid (TiC) és titánnitrid (TiN)	CERamic METal
	aluminium	aluminiumoxid	hőálló „mechanikusan ötözött” aluminium
	volfrám	tóriumoxid	izzósál, csőkatód, hegesztőelektróda
<b>Kerámiamátrixú kompozitok</b>	agyag, földpát	kőszőrűszemcse	kerámiaakötésű kőszőrűkorong
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	SiC	növelt szívósságú nitridkerámia
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	növelt szívósságú oxidkerámia
	portland- cement	kavics	beton

A szemcsés kompozitok (**táblázat**) előnye – a tulajdonságok javulása mellett – gyakran az előállítás költsége csökkenésében (olcsóbb anyag bevitel) is megnyilvánul.

A szemcsés (diszperziós) kompozitok egy részére jellemző, hogy a terhelést a mátrixanyag viseli, melynek alakváltozását az adalékolt részecskék akadályozzák, azaz diszlokációmozgásokat gátolva szilárdságnövekedés érhető el (diszperziós keményítés).

Más esetben – az adalékanyag nagyobb mennyisége révén – a terhelés megoszlik a mátrix és a szemcsék között.



## Szálás kompozitok

jelleg \ összetétel	alpmátrix (vagy kötőanyag)	+	száladalék (vagy erősítőanyag)	→	kompozit (összetett anyag vagy termék)
Polimermátrixú kompozitok	poliészter		üvegszálak		poliészter hullámtető
	gumi		textil- szálak		heveder
	fenoplaszt (bakelit)		textil- szálak		textilbakelit
	poliészter, epoxigyanta		kevlar-szál, karbonszál		szálerősítéssel polimer (KFRP, CFRP)
Fémhátrixú kompozitok	réz		volfrámszál		szálerősítéssel réz
	alumínium		karbonszál, zafírszál		szálerősítéssel alumínium
	alumíniumötvözet		bórszál, szilíciumkarbid-szál		szálerősítéssel alumíniumötvözet
	magnézium		karbonszál, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -szál		szálerősítéssel magnézium
Kerámiahátrixú kompozitok	agyag		szalma		vályog- tégla
	beton		acél		vasbeton, előfeszített beton
	síkűveg		acél		dróthálós űveg
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>		SiC		növelt szívósságú kerámia

Szálás kompozitok (**táblázat**) kifejlesztésének célja lehet:

- kis szilárdságú és rugalmassági modulusú mátrixanyag mechanikai tulajdonságainak javítása nagy szakítószilárdságú és rugalmasságú szálakkal;
- rideg mátrixanyagban a repedések terjedésének megakadályozása, a ridegség csökkentése szívós(abb) szálakkal.

A szálás kompozitokban az adalékszálak válnak elsődleges teherbíelővé. Rendezetlen rövid szálak esetén a tulajdonságok kevésbé függenek iránytól (kvázi izotrópia), hosszú szálak esetén a szálelrendezés tervezett, a tulajdonságok irányfüggőek (anizotrópia).

Az erősítőszálak túlnyomórészt szerves kerámikus anyagok (pl. űveg-, SIALON-, karbon-, bór-, zafír [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-, SiC-, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-szálak), melyek között előfordulnak whiskerek (tűkristályok) is. A whiskerek monokristályok (egykristályok), így alacsony kristályhiba-koncentrációjuk révén reprezentálják az illető anyag elméletileg elérhető szilárdsági értékeit.

A fémszálak közül az acél, a molibdén, a volfrám és a réz van gyakorlati jelentősége.

A szerves anyagú szálak meghatározó képviselője a kevlar ill. aramid (aromás poliamid) szálak csoportja.

## Réteges kompozitok

összetétel jelleg	alpmátrix (vagy kötőanyag)	+ réteganyag (vagy erősítőanyag)	→ kompozit (összetett anyag vagy termék)
<b>Polimermátrixú kompozitok</b>	egymásra merőleges szálirányú farétegek, vagy irányítottan rendezett faforgácsok		rétegelt lemez, vagy OSB-lap
	habosított műanyag	fémlemezek	szendvicspanel
	poliészter	réz	nyomatott áramköri panel
<b>Fémmátrixú kompozitok</b>	lágycél	keményacél	penge, ekevas, páncél
	ötvöztelen karbonacél	ötvözött korrózióálló acél	plattírozott lemez
	Cr	CrNi-ötvözet	bimetall (pl. termoelem)
<b>Kerámiamátrixú kompozitok</b>	gipsz	stabil kartonlapok	gipszkarton
	üveg	műanyag ragasztóréteg	gépjármű szélvédő
	durvasalak	finomsalak	sportpálya burkolat

A réteges kompozitok nagy felületek mentén kapcsolódó anyagrétegekből állnak (**táblázat**), előállításuk valamilyen együttes alakítási, sajtolási (ragasztási) művelethez kötődik.

Szendvicsszerű felépítéssel – főképp hajlító igénybevételkor – a külső rétegekben ébred a legnagyobb feszültség, a közbülső réteg(ek) szerepe a másodrendű nyomaték növelésére korlátozódik.

## Bevonatos kompozitok

jelleg \ összetétel	alpmátrix	+ bevonatanyag (vagy burkolóanyag) →	kompozit (összetett anyag vagy termék)
<b>Polimermátrixú kompozitok</b>	pozdorjalap	fafurnér lemez	bútorlap
	faforgácslap	műanyag fólia	bútorlap
	textil	PVC	textilalapú műbőr
<b>Fémmátrixú kompozitok</b>	Al, Cu	PVC	elektromos kábel
	acél, öntöttvas	zománc(üveg)	zománcozott edény
	acél	TiO <sub>2</sub> , CaO, ...	bevonatos hegesztőelektróda
<b>Kerámiamátrixú kompozitok</b>	TiO <sub>2</sub> , CaO, ...	acél	porbeles hegesztőelektróda
	kristályos oxidkerámia	üvegkerámia	mázás cserépedény és csempe ill. padlólap
	kerámialapka	gyémánt, TiN (CVD-vel)	forgácsoló-szerszám lapka

A bevonatos kompozitoknál (**táblázat**) az alapanyag a teherhordozó, a bevonat a mátrixanyag károsodással szembeni ellenállását javítja.

A bevonatos kompozitok egy része az ún. gradiens anyagok közé tartozik, vagyis mikroszerkezetük és/vagy összetételük tervezett, minek révén fokozatos változásokat tartalmazó darabok (pl. gázturbinalapátok és azok hőálló többrétegű bevonata) gyártására alkalmasak, a várható üzemelés helyileg változó igénybevételeinek megfelelően.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi  
Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex  
Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 3. Az anyag kiválasztás szempontrendszere, stratégiái

Szerzők: Varga Péter  
Pinke Péter  
Kovács-Coskun Tünde

[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)

## Tartalom

1. Az anyagválasztás szerepe és jelentősége.....	102
2. A műszaki anyagok és az anyagválasztás evolúciója .....	103
3. Az anyagválasztás összefüggésrendszere.....	107
4. A terméktervezés folyamata .....	115
5. Az anyagválasztás folyamata .....	119

## 1. Az anyagválasztás szerepe és jelentősége

Az anyagválasztás az a folyamat, ami egy meghatározott termék anyagának meghatározásakor a leginkább megfelelő megoldást eredményezi.

- Új termékek tervezésének, illetve meglévők fejlesztésének minden lépésében jelen van, döntésekre kényszerítve a tervezőt.
- Az anyagválasztás jelentősége, hogy döntő hatással van a termék
  - funkcionális követelményeknek való megfelelésére;
  - élettartamára;
  - gyárthatóságára;
  - teljes életciklusára vonatkozó költségekre;
  - és teljes életciklusára vonatkozó környezeti hatásaira.
- Az anyagválasztásnak nincs jó megoldása, a lehető legjobb, optimális választást kell megtalálni.

### 1. Az anyagválasztás szerepe és jelentősége

Az anyagválasztás feladata lehet egy új termék megvalósítása, vagy még gyakrabban egy meglévő fejlesztése anyagának megváltoztatásával.

Általában a termék megfelelése diktálja az anyag kiválasztását, ám előfordul, hogy egy új anyagminőség megjelenése, kifejlesztése teszi lehetővé a termék továbbfejlesztését.

A termék megfelelése sokrétű; el kell látnia feladatát, mégpedig adott élettartammal, eladhatónak kell lennie, ugyanakkor kis terhet kell rónia a környezetre.

Ezek a követelmények is sokrétűek:

A funkcionális követelmények közé tartozik a mechanikai, kémiai, fizikai, mágneses, elektromos stb. igényeknek való megfelelés. Például az autó- és repülőgépipar számára nagy jelentőséggel bír a tömeg- és a légellenállás kérdése.

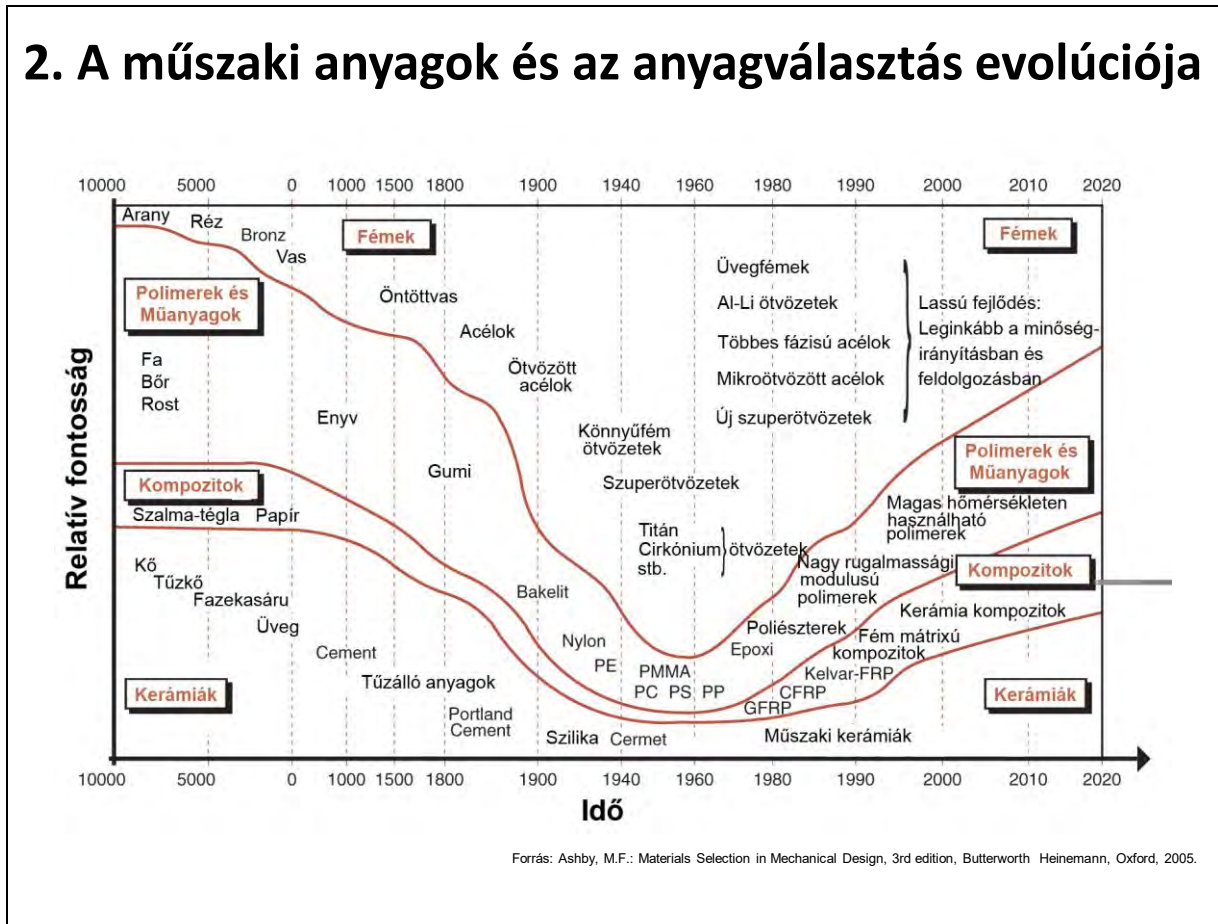
Eladhatóságon nem csak a termék árát értjük; ki kell elégítse a piac igényeit, ami ergonómiai, esztétikai megfontolásokat is igényel.

A környezetre gyakorolt hatások megjelennek az alapanyaggyártásban, a termék előállításán, használatában, és élettartama lejártakor (újrahasznosítás).

Egy mobiltelefon élettartamát annak elavulása szabja meg (erkölcsi élettartam). Így fölösleges túlzottan hosszú élettartamúra tervezni (tokozás, elektronika, akkumulátor élettartama), mivel a költségek csökkentése a cél (anyag- és gyártásköltség). A nagy legyártott mennyiség és hulladék viszont nagy terhet ró a környezetre (anyag- és gyártástechnológia környezetszennyező hatásai).

Látható, hogy az anyagválasztás igen összetett feladat, a felmerülő igények gyakran ellentmondanak egymásnak (tömeg-szilárdság, szilárdság-szívósság). Az igények figyelembevételének rangsorolásával egy optimális döntést lehet hozni, belátható, hogy „tökéletes” megoldás nem létezik.

## 2. A műszaki anyagok és az anyagválasztás evolúciója



## Őskor

### Felhasznált anyagok

Természetben fellelhető anyagok.

Anyagminőségen nem, csak a formán változtattak.

Kő, fa, csont, bőr, arany, „kompozit“ építőanyag (növényi rost, agyag)



### Anyagválasztás

Tapasztalati úton, próbálkozással.



A szerszámok, felszerelési tárgyak, öltözetek (termékek) megfelelőségét a célnak megfelelő alakra hozással biztosították.

A megfelelő anyag kiválasztása tapasztalati úton, próbálkozással történt.

Bár a történelmi korok határai máig vita tárgyát képezik, sőt területenként eltérőek lehetnek, elmondhatjuk, hogy már az őskortól kezdve használtak kompozit építőanyagokat az emberek. Természetesen tudatos tervezésről szó sem volt, csupán a tapasztalat mutatta meg, hogy a szalmával, lószőrrel kevert – erősített – agyagtéglák tartósabbak a monolit anyagúaknál, mivel a szálal erősítőanyag útját állta a mátrixban megjelenő repedéseknek.



## Ókor – középkor

### Felhasznált anyagok

Természettudományok és technológia fejlődése lehetővé tette az anyag minőségének megváltoztatását. Egyre nehezebben előállítható, megmunkálható anyagminőségek megjelenése.

Fémek: bronz, vas, öntöttvas

Polimerek: enyv

Kerámiák: égetett agyagárúk, üveg, cement



### Anyagválasztás

A megfelelőség vizsgálata még mindig tapasztalati úton történik, az anyagvizsgálatot próbálgatások jelentik.



A felhasználásban egyre nagyobb teret hódítanak a természetben nem megtalálható, ún. mesterséges anyagok, ezeken belül is a fémek.

A technológiai fejlődés által elérhetővé vált új anyagok magasabb teljesítőképessége lehetővé tette alkalmazásuk kiszélesedését, emellett új felhasználási lehetőségeket teremtett.

A folytonos háborúskodások miatt a hadiipar (fegyverkovácsok, ágyúöntők stb.) volt a meghatározó felhasználója a megjelenő új vagy fejlesztett anyagminőségeknek. Az ágyúk lőtávolságának, tűzerejének növelése, a kardok élének tartóssága stb. mindvégig kulcskérdés volt. Azonban nem történt céltudatos fejlesztés az adott feladatokra, pusztán a természettudományok és a technológia fejlődése által elérhetővé vált minőségek alkalmazása volt jellemző. Például a magas olvadáspontú vas feldolgozása teremtette meg a lehetőséget a bronzkardnál tartósabb, „magasabb teljesítményű” vaskard elterjedéséhez.

## Újkor – jelenkor

### Felhasznált anyagok

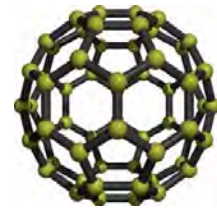
A véletlenszerű felfedezésekkel, kísérletezésekkel szemben egyre inkább átveszi a vezető szerepet az igények szerinti tulajdonságú anyagok fejlesztése.

Fémek: acélok, szuperötvözetek

Polimerek: mesterséges tömeg- és műszaki műanyagok

Kerámiák: műszaki kerámiák

Kompozitok: tervezett tulajdonságú anyagok

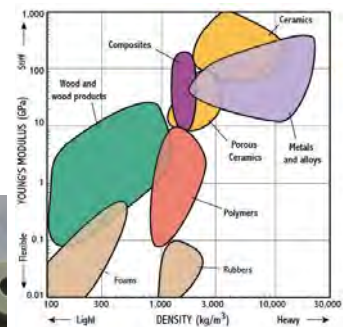


### Anyagválasztás

Felhasználható anyagok körének robbanásszerű növekedése.

Anyagtulajdonságok számszerűsítése.

Összetett, parametrizált anyagválasztási eljárások.



A természettudományok és anyagtechnológiák fejlődése által bekövetkező gyors ipari fellendülés egyre több alkalmazásnak nyitott utat, egyre több új műszaki berendezés jelent meg. Az új eszközök megvalósításához és fejlődéséhez a felhasználható anyagok körének gyorsuló növekedése volt szükséges. A természettudományos alapelvekkel leírható működési elvű, egyre bonyolultabb és nagyobb berendezések létrehozásához, és megfelelő működéséhez szükségessé vált az anyagok tulajdonságainak számszerűsítése. Ez maga után vonta az anyagok vizsgálatának fejlődését, a korszerű anyagvizsgálat megjelenését.

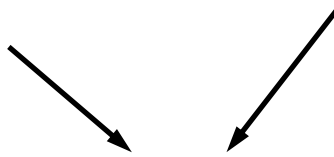
Először fordul elő, hogy az igények jelölik ki az anyagminőségek fejlesztési irányait. Az anyagok és tulajdonságaik tudatos tervezés eredményei.

A feladatok összetettsége és az anyagok egyre bővülő köre szükségessé tette az anyagválasztás új megközelítésének kidolgozását. Egy koncepciózus, a termék megfelelőségének kritériumait paraméterekkel leíró anyagválasztási módszer jött létre.

### 3. Az anyagválasztás összefüggésrendszere

A különféle alkalmazásokhoz megfelelő tulajdonságokkal rendelkező új anyagok folyamatos megjelenésének köszönhetően az anyagok zavarba ejtően széles választéka áll a tervezők rendelkezésére.

Az anyagtulajdonságok széles körének ismerete, és ezen ismeretek felhasználása a terméktervezésben egy összetett követelményrendszer létrejöttét eredményezi.



Szisztematikus, megbízható anyagválasztási rendszerre van szükség, amely lehetővé teszi a számítástechnikai eszközök alkalmazását, és az együttműködést a mérnöki tervezés más eszközeivel.

### 3. Az anyagválasztás összefüggésrendszere

A mérnöki gyakorlatban több, mint 120 000 anyagminőség közül kell kiválasztani azt az egy optimálit, ami a termék sikerét biztosíthatja. A termék megfelelőségét meghatározó kritériumok szintén nagy számban fordulnak elő. Ezekkel az *Anyagtudomány* és az *Anyagtechnológiák* című tananyag egyes fejezetei foglalkoznak bővebben.

Mint azt a későbbiekben látni fogjuk ezek a kritériumok adják az anyagválasztás összefüggéseit. Előfordul, hogy csak igen-nem válaszlehetőségű eldöntendő kérdésekről van szó (pl. feldolgozható-e az adott eljárással), esetleg egy megfelelőségi skálán kell értékelni a tulajdonságot (önthetőség szerinti sorrend felállítása), sok esetben konkrét értékkel jellemezhetőek a követelmények (tömeg, szilárdság, vezetőképeség stb.). Ráadásul a termék funkciójától függően a kritériumok között fontossági sorrendet kell megállapítani, és így rangsorolni a számba vett megvalósítási módokat. A megvalósítás lehetőségei mindig együtt tartalmazzák az anyagot és a technológiát, hiszen ezeket nem jellemezhetjük a másik ismerete nélkül. Nem elég egy anyagot rendelni egy termékhez, azt létre is kell hozni. Az anyag ismerete nélkül pedig nem lehet technológiát tervezni.

Ezek tudatában felmerül a kérdés, milyen módszerrel célszerű a megfelelő anyagot és eljárást kiválasztani. Az információk és kapcsolatok nagy száma miatt a pusztán tapasztalaton nyugvó választás nem működhet. Ezért egy olyan rendszerre van szükség, amely számítástechnikai eszközök segítségével olyan szisztematikus módszert kínál, ahol a kritériumokból megfogalmazható, számszerűsíthető paraméterek alapján elvégezhető az anyagok rangsorba állítása.

## Az anyagválasztás összefüggésrendszere



Az anyagválasztási feladat sarokpontja: összefüggés a funkció, az anyag, az alak, a felület és a technológia között.

A gyártmánytervezés mindegyik összetevőjének fontos része a költségek optimalizálása, és a környezetre gyakorolt hatások figyelembevétele.

Ezek együttesen határozzák meg a termék piaci sikerét.

A funkció, az anyag, az alak, a felület minősége és a gyártástechnológia egymástól el nem választható tényezők, a gyártmánytervezés során csak egymással összefüggésben lehet vizsgálni e kérdésköröket. A funkció határozza meg mind az anyag, az alak és a felület minőségét. Mindezek befolyásolják az előállításnál alkalmazható technológiákat. Természetesen a hatások kétirányúak, a gyárthatóság, megmunkálhatóság és az elérhető anyagtulajdonságok figyelembevételével lehet a követelményeket megfogalmazni.

A termék költsége, környezeti hatásai nem csak az előállítás során jelentkeznek, hanem végigkísérik a teljes életciklusán a tervezéstől az újrahasznosításig. Az alapanyag-előállítás és a gyártás során alkalmazott technológiák költségei és környezetszennyező hatásain kívül nagy jelentősége van a használat, a karbantartások, a tönkremenetel vagy elavulás miatti selejtezés és az újrahasznosítás során felmerülő igényeknek, hatásoknak.

Tévedésekhez vezethet, ha a költségek figyelembevételekor azok minimalizálására törekszünk. Ezzel veszélybe kerülhet a megfelelő minőségű előállítás és anyagminőség, ami a funkcióknak való nem-megfelelőséghez vezet, vagy a követelmények enyhüléséhez, ezzel veszélyeztetve a termék használhatóságát. Például silány minőségű szerszámokkal nem lehet megfelelő munkát végezni. A funkcióknak való megfelelés javítása viszont a költségek növekedéséhez vezet. Mégis mindkét végletnek lehet létjogosultsága, hiszen az igények eltérők lehetnek (csak egy szöveget szeretnék beverni képtartó gyanánt, vagy egy korszerű gyártó vállalat szerszámigényét kell kielégítenem).

Az eladhatóságot befolyásoló tényezők még a termék esztétikai megjelenése, ergonómiája, használhatósága, amik szintén kétirányú kapcsolatban állnak egymással, és az előbb említett tényezőkkel.



Az anyagminőségek osztályozásával, illetve ennek rendszerezésével nagyban elősegíthető a megfelelő anyag kiválasztása adott feladatra.

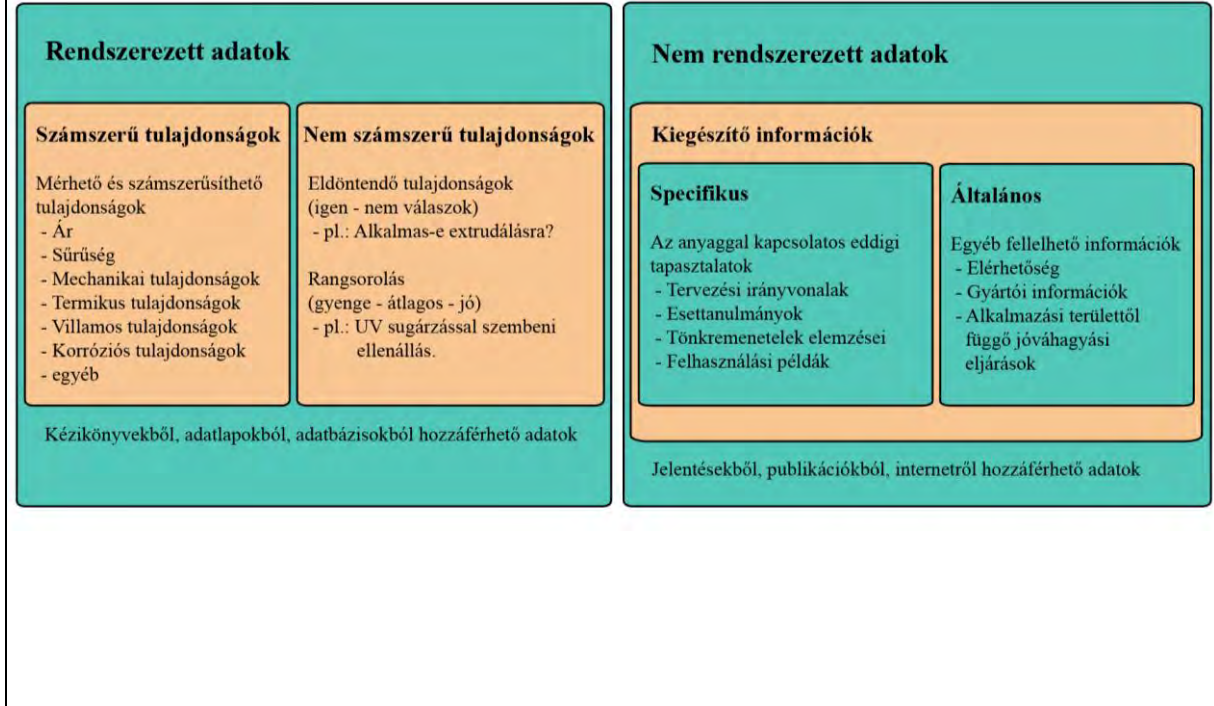
Az ábra az anyagok egy lehetséges felosztását mutatja, az anyagfőcsoportok között alapvető eltérések mutatkoznak kémiai összetételükben, kémiai kötéseikben, mikro- és makroszerkezetükben. Ennek köszönhetően jellemző tulajdonságaik is jelentősen eltérőek (pl. hőállóság, alakváltozó képesség, szilárdság, kémiai ellenálló képesség stb.).

Az egy főcsoporton belüli anyagminőségek tulajdonságai, még mindig mutathatnak jelentős eltéréseket (pl. mágneses tulajdonságok), de jellemző általánosítások tehetők (pl. a fémek jó alakíthatók, közepes szilárdságúak, jó vezetők stb.).

Az egyes osztályokon belüli típusok között már jóval kisebb a tulajdonságok szórása (pl. acélok sűrűsége, rugalmassági modulusa). A típusok anyagminőségeinek tulajdonságai pedig igen közel esnek egymáshoz, közülük a választás már csak a követelmények pontos megfogalmazásával lehetséges.

Ahogy látható, az anyagok tulajdonságairól egyre sajátosabb adatokat kaphatunk, ahogy haladunk a konkrét anyagminőségek felé.

## Anyagok tulajdonságainak rendszerezése



Anyagcsoportonként különböző jellemző tulajdonságok fordulhatnak elő, és ezek eltérő fontossággal bírnak. Egy hatékony anyagválasztási módszer alapvetően igényli a tulajdonságok rendszerezését.

A rendszerezett tulajdonságadatokat mérések, megfigyelések eredményei. Értékük lehet számszerű vagy megfelelést jelölő, minősítő. A napjainkig felhalmozott eredmények és tudás, adatbázisokból (nyomtatott és digitális formában) jól hozzáférhető. Az új anyagokkal való, és az új alkalmazásokból eredő mérések, tapasztalatok pedig folyamatosan bővítik az adatok halmazát.

A nem rendszerezett adatok azok, amelyek pusztán tapasztalatokon nyugszanak, az eddigi felhasználásokról, beszerezhetőségről, az alkalmazások követelményeiről tartalmaznak információkat. Elérhetőségük kevésbé összefogott, nagyobb időráfordítást igényel, ugyanakkor ezek is lényeges elemei lehetnek az anyagminőség megfeleléségi kérdésének.

## 316L jelű korrózióálló acél adatlapja\*

### Wrought austenitic stainless steel, AISI 316L

#### General

#### Designation

S-Steel: AISI 316L, annealed

Density	7870 - 8070	kg/m <sup>3</sup>
Price	4.125 - 6.142	USD/kg
CO2 creation	4.61 - 5.09	kg/kg
Production Energy	7.32e7 - 8.09e7	J/kg
Recycle Fraction	0.65 - 0.75	

#### Mechanical

Bulk Modulus	1.34e11 - 1.52e11	Pa
Compressive Strength	1.7e8 - 3.1e8	Pa
Elongation	30 - 51	%
Elastic Limit	1.7e8 - 3.1e8	Pa
Endurance Limit	2.56e8 - 3.07e8	Pa
Fracture Toughness	1.12e8 - 2.78e8	Pa.m <sup>1/2</sup>
Hardness – Vickers	1.667e9 - 2.157e9	Pa
Loss Coefficient	9.5e-4 - 1.48e-3	
Modulus of Rupture	1.7e8 - 3.1e8	Pa
Poisson's Ratio	0.265 - 0.275	
Shape Factor	63	
Shear Modulus	7.4e10 - 8.2e10	Pa
Tensile Strength	4.8e8 - 6.2e8	Pa
Young's Modulus	1.9e11 - 2.05e11	Pa

### Composition (Summary)

Base	Fe (Iron)	
C	0 - 0.03	%
Cr	16 - 18.5	%
Fe	61.4 - 72	%
Mn	0 - 2	%
Mo	2 - 3	%
Ni	10 - 14	%
P	0 - 0.045	%
S	0 - 0.03	%
Si	0 - 1	%

### Thermal

Maximum Service Temp.	750 - 925	°C
Melting Point	1375 - 1400	°C
Minimum Service Temp.	-273	°C
Specific Heat	490 - 530	J/kg.K
Thermal Conductivity	13 - 17	W/m.K
Thermal Expansion	1.5e-5 - 1.8e-5	strain/°C

### Electrical

Resistivity	6.9e-7 - 8.1e-7	ohm.m
-------------	-----------------	-------

### Optical

Transparency	Opaque
--------------	--------

### Environmental Resistance

Flammability	Very Good
Fresh Water	Very Good
Organic Solvents	Very Good
Oxidation at 500C	Very Good
Sea Water	Very Good
Strong Acid	Very Good
Strong Alkalis	Very Good
UV	Very Good
Wear	Good
Weak Acid	Very Good
Weak Alkalis	Very Good

### Typical Uses

Process plant parts, particularly in thick sections; Used for the containment of nitric acid that has been contaminated by halides, or mixed with certain other acids.

### Warning

Although this alloy is the best choice for some specialist situations involving nitric acid, 304L is preferable for general nitric acid use, on both cost and corrosion criteria. If HNO<sub>3</sub> concentration > 65%, use aluminium or a high-silicon cast iron. Steel Co. (USA);

\*A Cambridge Engineering Selector (CES 4.5 EDU) program használatával készült

## A funkcionális követelmények fő elemei



A termék adott funkcióra való alkalmasságát az abból adódó összetett igénybevétellel szembeni ellenállása jelenti.

Az összetett igénybevétel fő elemeit a terméket veszélyeztető fő tönkremeneteli módok, illetve az azokkal szembeni ellenállást kifejező anyagjellemzők csoportosítása jelöli ki.

A méretezési alapelvek és a méretezési alapként szolgáló anyagjellemzők kiválasztása egy egyszerűnek tűnő kérdés megválaszolásával oldható meg. Milyen követelmények fogalmazhatók meg a termék funkciójából adódóan?

Példaként egy tartószerkezettel szembeni követelmény lehet, hogy nem megengedett a plasztikus alakváltozás. Más esetben az alakváltozás (rugalmas) mértékének megengedett szint alatt tartásával felelhetünk meg a funkciónak (például a repülőgépek szárnyai lehajlásának, deformációjának korlátozása).

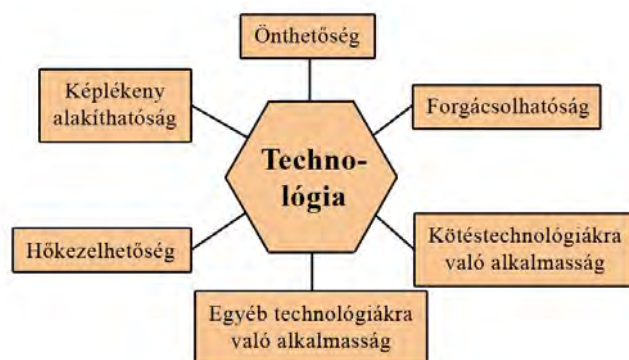
Az első esetben szilárdságra történő méretezés szükséges, a kritérium az anyag folyáshatára, amit a terhelésből adódó ébredő feszültség nem érhet el. A második esetben a merevségre történő méretezés a rugalmas anyagjellemzőkkel történhet, a terhelés és a megengedett alakváltozás között az anyag rugalmassági modulusa teremti meg a kapcsolatot.

Az egyes igénybevételekhez rendelhető anyagjellemzőket anyagfőcsoportonként eltérően kell értelmezni (például a fémek és a műanyagok hőállósága), más és más tulajdonságok dominálnak egymáshoz képest. Így már az alapvető funkcionális követelmények megfogalmazásával kiszűrhető egy anyagfőcsoport a szóba jöhető anyagok köréből (a magas üzemi hőmérséklet kizárja a műanyagok és a polimer mátrixú kompozitok alkalmazását).

Ha az anyagok szilárdsági jellemzőit és rugalmassági modulusát tekintjük például a fémek esetében mindkettő jól definiálható, modulusuk állandónak tekinthető. A műanyagok ezen tulajdonságai nem adhatók meg egyértelműen (rugalmassági modulusuk ritka esetben konstans) és rendkívül erősen függenek a vizsgálat körülményeitől. A kerámiák rugalmassági modulusa szintén állandó, de szilárdsági jellemzőik csak statisztikusan értelmezhetők, húzó- és nyomószilárdságuk nagy aszimmetriát mutat. A kompozitok szilárdsága, merevsége az anyagtervezéstől függ, értékük akár egy alkatrészben belül is változhat.



## A technológiai követelmények fő elemei



A technológiahelyes tervezés azt jelenti, hogy az anyagválasztásnál, az alak és méret meghatározásánál a gyárthatóságot is messzemenően figyelembe kell venni.

Az egyes technológiákra való alkalmazás jellemzése sok paraméter figyelembevételével megoldható komplex feladat.

Bizonyos anyagok esetében egyes technológiák nem, vagy csak igen korlátozottan jöhetnek szóba. Erre példa, hogy a kerámiák feldolgozásakor az öntés és a képlékeny alakítás (kevés esettől eltekintve) nem alkalmazott.

Az egyes technológiákra való alkalmazásot jellemző paraméterek meghatározása is legfeljebb adott körülményekre alkalmazható információkkal szolgál, és egy rangsor felállítására alkalmas. A képlékeny alakíthatóság, önthetőség, forgácsolhatóság például nem értelmezhető a hőmérséklet ismerete vagy megadása nélkül.

Minden technológia önmagában is komplex feladat, tehát nincs olyan egzakt paraméter, ami önmagában tudná jellemezni azokat. Ebből következik, hogy a technológiára való alkalmazás meghatározása összetett feladat.

## A felület minőségét meghatározó tényezők fő elemei



A felület minőségének megváltoztatásával jelentősen befolyásolható a termék teljesítőképessége.

A felület minőségét annak mikrogeometriája, kémiai összetétele, szerkezete és feszültségállapota együttesen szabja meg.

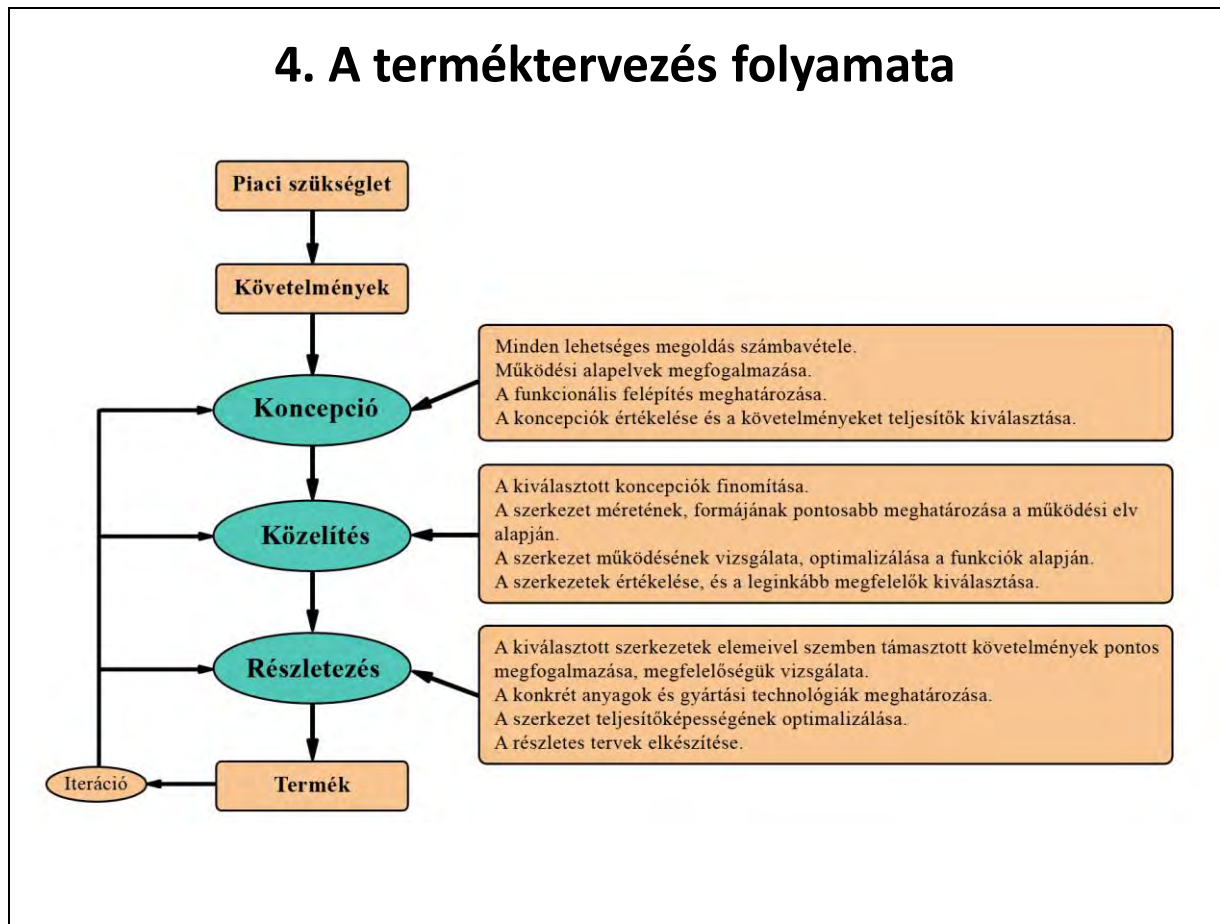
A tönkremenetelek döntő többsége a felületen vagy a felülethez közeli rétegben keletkező károsodásból indul ki. Nem csoda, hogy a felületi technológiák fejlődése rohamos ütemű. A kifejezett felületmódosító technológiák hatásai mellett nem elhanyagolható az alkatrész, szerkezet előállítás során alkalmazott technológiák felületi minőségre gyakorolt hatása sem. A viszony fordított is lehet, a felület módosítása elősegítheti egyes előállítási technológiák alkalmazhatóságát (felület foszfátosítása képlékeny alakító technológiák előkészítő eljárásaként). A felületek tulajdonságai a szerkezet egészének a működésére is kihathat (súrlódási tényező csökkentése). A megkívánt tulajdonságok nem csak a felület megváltoztatásával érhetőek el, egyre fejlődnek a bevonatolási technológiák, bár a bevonatok teljesítményét, stabilitását természetesen befolyásolja az alapként szolgáló felület minősége.

A felület mikrogeometriájának a repedések keletkezésének és terjedésének szempontjából nagy jelentősége van. A gépelemek fáradással szembeni ellenállása elsősorban a felülettől függ. Ebből az irányból megközelítve a „hibamentes” felület az ideális. Egyes esetek azonban mást követelnek. A bevonatok, ragasztók tapadásának, a kenőanyag tárolásának figyelembevételével szükséges lehet a felület érdesítése, porózussá tétele.

Köztudomású, hogy az anyagok kémiai összetétele és szerkezete együttesen határozza meg tulajdonságait. Nincs ez másképp a felületek esetén sem, hiszen azok is rendelkeznek anyagi minőséggel. Egyes szerkezetmódosító technológiák megkívánják a kémiai összetétel megváltoztatását (betétedzés, nitridálás).

A feszültségállapot erős hatással van a ridegtöréssel szembeni hajlamra és kopásállóságra.

Az egyes felületi technológiák egyszerre több felületi jellemzőt is befolyásolhatnak, eltérő erélyességgel befolyásolva azokat.



#### 4. A terméktervezés folyamata

A cél egy olyan módszer használata az anyag- és gyártástechnológia kiválasztására, ami illeszkedik a tervezési folyamatba.

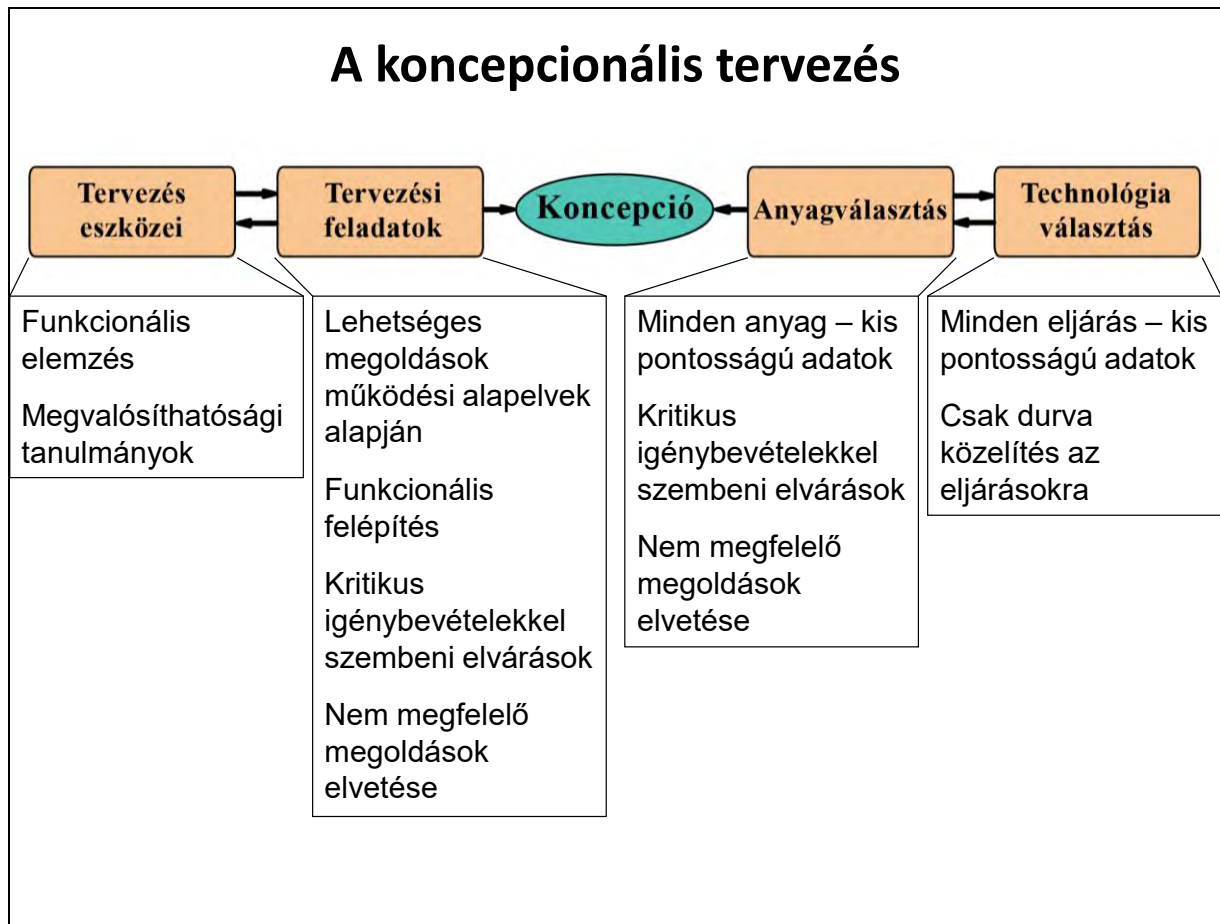
A piac igényének megfogalmazása lesz a tervezési folyamat alapja. Ügyelni kell az elvárások pontos leírására, ugyanakkor a még elégséges minimális követelményt kell megfogalmazni, ügyelve arra, hogy ezek ne tartalmazzanak utalást a termék működésének mikéntjére. Így elkerülhető az egy irányba terelt tervezői gondolkodás, több eltérő elgondolás születhet, szélesebb palettáról válogathat a tervező, növelve a termék sikerének esélyeit.

A termék egy összetett szerkezet, mely részegységekre bontható, amik szintén tovább bonthatók egészen az alkatrészek szintjéig. A szerkezet részegységeit célszerű funkcióik szerint meghatározni, ami lehetővé teszi a tervezői lehetőségek rendszerezett felmérését. Egy gépjármű például felbontható az erőforrás, a hajtáslánc, a váz, a futómű, az üzemanyag-ellátás, egyéb speciális feladatok, stb. egységeire.

Az anyag- és gyártástechnológia kiválasztása az alkatrészek szintjén történik.

A termék tervezésének több szintű, rendszerszemléletű megközelítése elősegíti egy legjobb megoldás létrejöttét, növeli a megfelelő választások meghozatalának hatékonyságát. A koncepcionálistól a közelítőn keresztül a részletes tervezés szintjéig haladva a megfogalmazott funkcionális követelmények az általános meghatározástól a konkrét paraméterekig jutnak el. Egyre inkább megmutatkozik a termék végső, részletes formája.

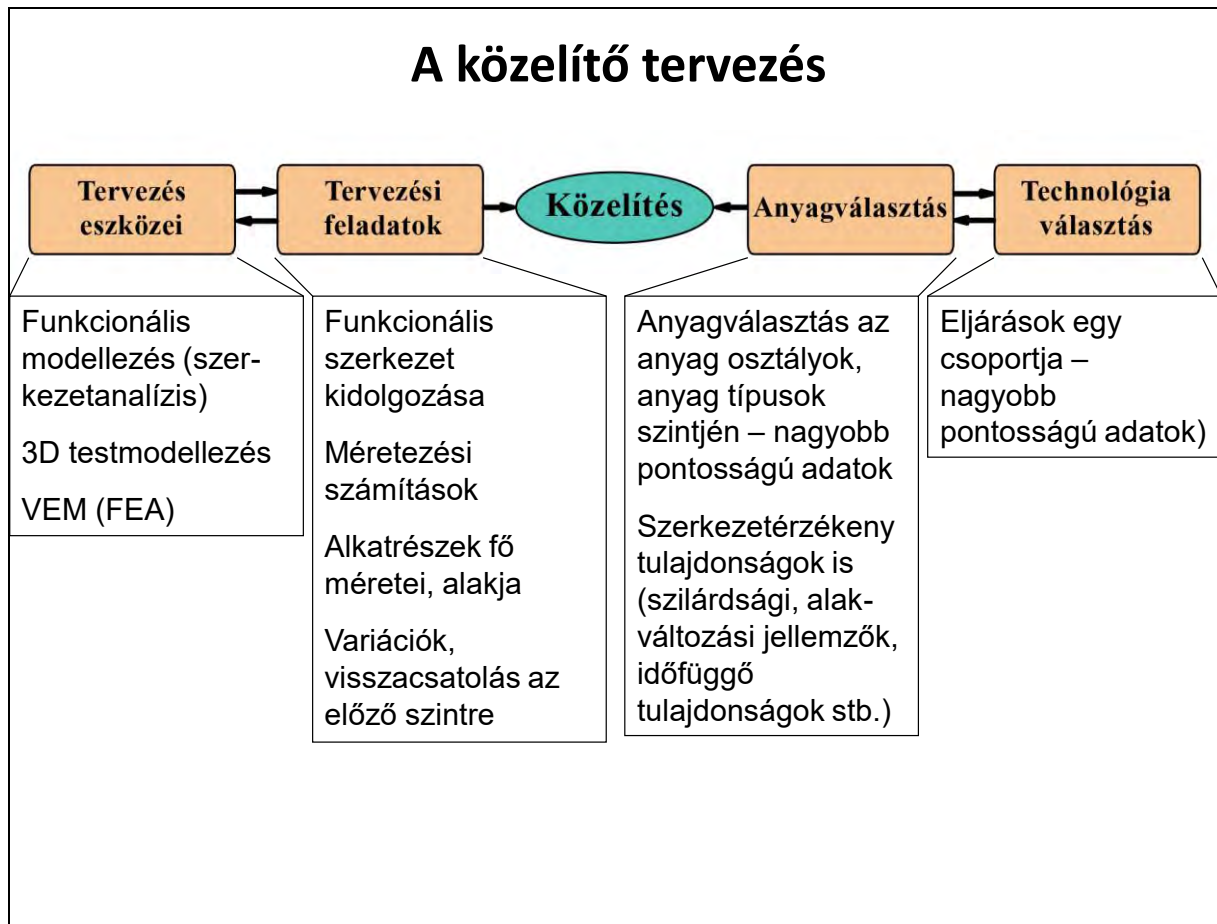
Bár a tervezési folyamat struktúrája azt sugallja, a legjobb megoldás létrehozása nem lineáris folyamat. A tervezés sok zsákutcát tartalmazhat, az egyes szinteken meghozott döntések később bizonyulhatnak megfelelőnek vagy hibásnak, a helyes út esetleg több iterációs lépésen keresztül érhető el. Így a tervezés zergugos folyamata során a lehetséges elképzelések száma egyre csökken, ami végül egy megoldás megvalósulását eredményezi.



A koncepcionális tervezés szintjén alapelveikben különböző megoldások meghatározása történik, melyek teljesíthetik a piaci igényből fakadó követelményeket. Meghatározásra kerülnek a szerkezet részegységei funkcionális feladatuk szerint elkülönítve. Ezekből meghatározhatók azok a kritikus igénybevételek, amelyek alapján a számba vehető anyagok- és gyártástechnológiák kiválasztásra kerülnek. Természetesen sok konstrukciós zsákutca is előfordulhat, a koncepcionális tervezés végére ki kell választani azokat, amelyek a leginkább eleget tesznek a funkcionális követelményeknek.

Az anyagválasztás az egyes részegységek kritikus igénybevételei alapján történik. Eleinte egy anyagfőcsoportot sem szabad figyelmen kívül hagyni, ami rendkívül sok adat kezelését jelenti. Ebben a szakaszban megoldandó feladatot jelent az adatok gyors hozzáférése, és az azok alapján történő gyors elemzés. Előfordulhat, hogy a különböző koncepciókhoz eltérő anyagfőcsoportokból kerül ki a megfelelő választás az előzetes szűrés alapján. A tervezés ezen szakaszában az anyagfőcsoportok alapvető jellemző anyagjellemzői alapján történik a válogatás (sűrűség, rugalmassági modulus, hőmérséklet, ár stb.).

A technológia választás és az anyagválasztás között kétutas kapcsolat van, hiszen azok nagymértékben függenek egymástól. A technológiák esetében durva közelítés történik az eljárásokra (anyag-egyesítés, szétválasztás, öntés, képlékeny alakítás, forgácsolás).

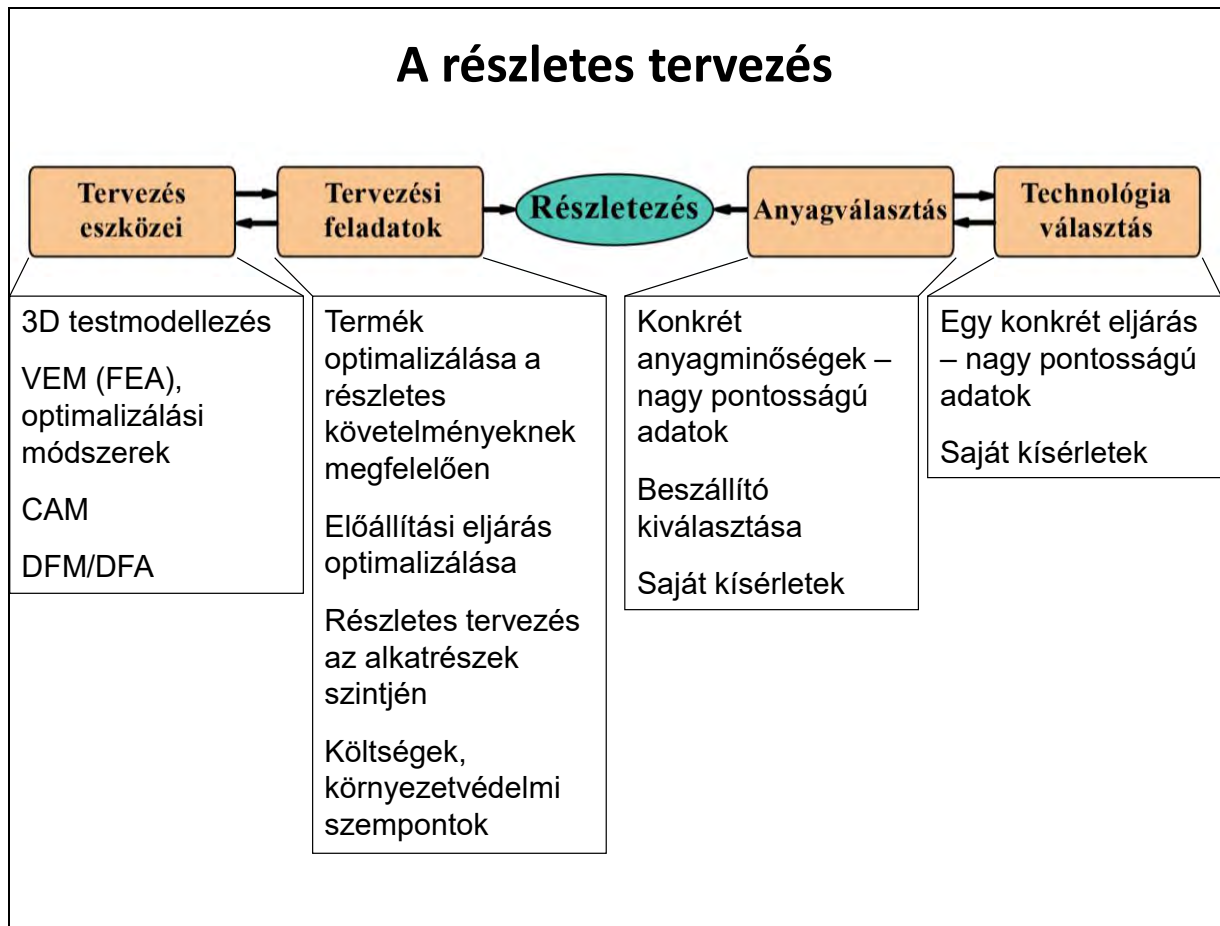


A tervezés ezen szakaszára a szerkezet felépítésének, elemei kidolgozottságának és az igénybevételek részletesebb tervezése, megismerése jellemző. Szűkül a választható anyagok száma nem csak mennyiségben, hanem már anyag típusok szintjéig (pl. adott alumínium- vagy acélötvözetek) is el lehet jutni. Csökken a látókör, fennáll a veszélye a feladatmegoldás lineárisra válásának (egyféle megoldás erőltetése), holott több, jobb megoldást is lehetne találni. Ha valami nem hozza a kívánt eredményt, vissza kell térni az előző szintre a látókör szélesítése végett. A koncepcionális tervhez ezen a szinten több eltérő megoldás is tartozhat, amiből többet is át lehet vinni a részletes tervezés szintjére. A lényeg a leginkább megfelelő megoldás megtalálása, amihez akár többszörös iteráción, zsákutcákon keresztül vezet az út.

A tervezés ezen szintjén egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a költségek és a környezetvédelmi szempontok.

A szerkezet részletesebb kidolgozása és a méretezésekből származó pontosabb követelmények az anyagjellemzők egyre pontosabb ismeretét teszik szükségessé. Az anyagok szerkezetfüggő tulajdonságai akár egy konkrét anyagminőségben belül is változhatnak (pl. nemesíthető acél minőség szilárdsági tulajdonságai függenek a szferoidit jellegétől, az pedig a hőkezelés paramétereitől). Az alkatrészek alakjának pontosítása azt jelenti, hogy az anyagválasztás során az alkatrész makroszerkezetét és annak a tulajdonságokra gyakorolt hatását is figyelembe kell venni (pl.: alak – alaktényező, makroszerkezet – sűrűség).

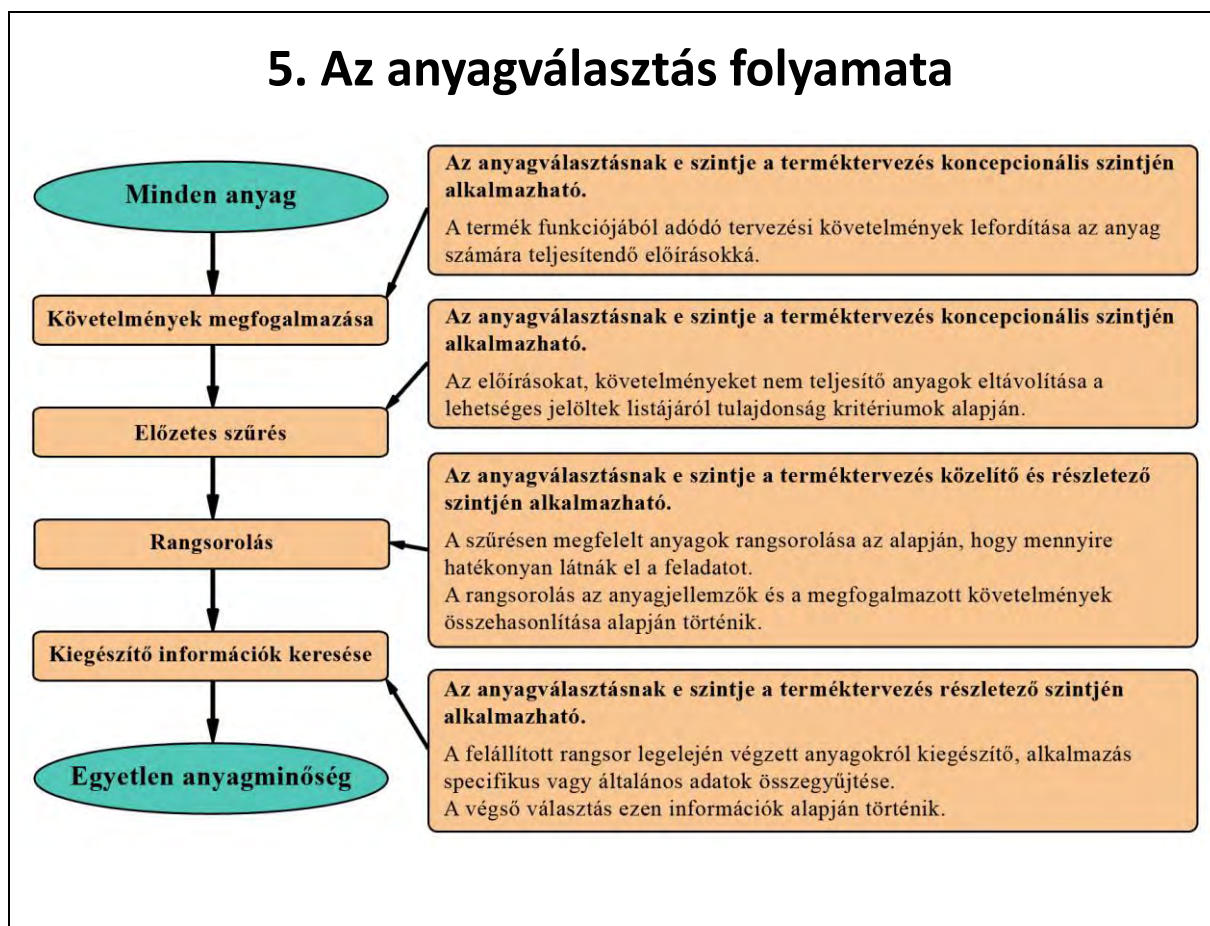
Az anyagtulajdonságokat ilyen részletesen kézikönyvek, szabványok, anyagadatbázisok tartalmazzák. Természetesen ezekhez kapcsolódóan a gyártástechnológiai paraméterek is egyre meghatározottabbak lesznek, adva ezzel a gyártási eljárások körének szűkülését.



A részletes tervezés végére kidolgozásra kerül minden elem, ami a termék alkotóelemeinek megvalósításához szükséges. Ehhez a tervező (a régi „kísérletezős” módszer helyett) igénybe veszi a méretezéshez, gyártástervezéshez, működési analízishez és ezek optimalizálásához szükséges számítógépes eszközöket.

Az anyagválasztás eredménye egy konkrét anyag, ennek kiválasztásához pontos adatokra van szükség. Ebben a stádiumban beszállítót is kell választani, adatokat esetenként onnan is szükséges beszerezni, hiszen a jellemzők akár gyártónként eltérők lehetnek. Amennyiben az alkalmazás még pontosabb értékeket igényel saját kísérletek elvégzésére is szükség lehet.

A technológia és az anyag egymással összefüggésben kerül kiválasztásra, így a technológiára nézve is szükségessé válhat specifikus mérési eredmények ismerete.



## 5. Az anyagválasztás folyamata

Az anyagválasztás egy olyan szisztematikus folyamat, melynek során az anyagok teljes világából kiindulva eljutunk egy meghatározott anyagminőségig.

A megfelelő megoldás megtalálásáért két dolgot kell tenni:

- Meg kell határozni a termék funkciójából adódó követelményeket.
- Ezeket össze kell hasonlítani a mérnöki anyagok által kínált tulajdonságokkal.

Miért szükséges mindezeket a lépéseket végigjárni? A szűrés és rangsorolás nélkül egy hatalmas információhalmazban turkálva kellene a legjobb választást megtalálni. Mintha tűt keresnénk a szénakazalban. A követelmények megfelelő megfogalmazása rendszert visz a keresésbe, enélkül sem a szűrés sem a rangsorolás nem lenne megvalósítható.

## A követelmények megfogalmazása

A termék funkciójából adódóan olyan követelményeket kell meghatározni, amelyek az anyagok tulajdonságaival összevethetők.

A következőket célszerű meghatározni:

Funkció: Mi a termék feladata?

Követelmények: Mit kell teljesítenie a terméknek, hogy a funkcióját el tudja látni? Kötött (abszolút, „kemény”) követelmények és nem kötött (szabad, „lágys”) követelmények.

Célok: A funkcióból adódóan mely jellemzőket kell maximalizálni, minimalizálni?

Szabad változók: A célok minél jobb megközelítése érdekében mely változók (paraméterek) azok, amelyeket a tervező szabadon változtathat?

Az innen nyert adatokból határozhatók meg a szűrési feltételek és a rangsorolás paraméterei.

Egy egyszerű példán keresztül bemutatva:

Funkció: Hordozható áthidaló gerenda.

Követelmények: Abszolút követelmények:

A gerenda hossza (az alátámasztási pontok adottak a szerkezetből).

A terhelés jellege, mértéke (pl. középen ható koncentrált erő, megoszló terhelés, stb.), amit a gerendának meghatározott mértékű alakváltozással (lehajlás) kell elviselnie.

Kevésbé kötött követelmény lehet pl. a költség.

Célok: Minél kisebb tömeg.

Szabad változók: Keresztmetszet alakja, mérete; anyag.



## Az előzetes szűrés

A feladatnak leginkább megfelelő anyag megtalálása megköveteli az anyagválasztás korai szakaszában minden anyag mint lehetséges jelölt, figyelembevételét.

Az előzetes szűrés során szűkíteni kell a lehetséges jelöltek számát. El kell vetni azokat az anyagokat, amelyek egyáltalán nem teljesítik a meghatározott követelményeket.

A szűrést tulajdonság kritériumoknak való megfelelés alapján lehet végezni.

A lehetséges válsz igen-nem jellegű, tehát egyszerű követelményeknek való megfelelést jelent.

Ilyen követelmény lehet például az üzemi hőmérséklet, az áttetszőség, az elektromos vezetőképesség, a hővezető képesség stb., ahol egy adott határértékre kell ellenőrizni az anyag megfelelőségét. (Pl.: magas üzemi hőmérsékleten a műanyagok alkalmazása kizárható.)

## A megfelelt jelöltek rangsorolása

A szűrésen megfelelt anyagok közül ki kell választani azokat, amelyek a legjobban megfelelnek a megfogalmazott céloknak. Tehát a célokban meghatározott jellemzők alapján egy rangsort kell felállítani.

Egy szerkezeti elem teljesítőképessége (P) meghatározható a funkcionális jellemzők (F), a geometriai jellemzők (G) és az anyagjellemzők (M) függvényeként:

$$P=f(F,G,M).$$

A funkcionális és geometriai jellemzők a követelmények alapján meghatározottak, a jellemzők szétválasztásának következményeként az anyagjellemzők optimalizálása (minimalizálása vagy maximalizálása a céloktól függően) az előzőektől függetlenül történhet, azok állandó értéke mellett.

Mivel a cél a szerkezeti elem teljesítőképességének maximalizálása, az anyagjellemző értékét is maximalizálni kell. Ebből adódóan bizonyos funkciókból eredő követelmények lefordításakor azok reciprokát kell anyagjellemzőnek tekinteni. Például, ha a jó vezetőképesség a követelmény, a fajlagos ellenállás helyett annak reciprokát helyettesítjük az összefüggésbe.

Egy egyszerűsített példán keresztül bemutatva:

Funkció: Villamos távvezeték.

Követelmények: Abszolút követelmények:

A vezeték hossza, L [m].

A vezeték keresztmetszete, A [m<sup>2</sup>].

A szilárdság,  $\sigma_f > 80$  MPa.

A költség.

Kevésbé kötött követelmény:

A költség.

Célok: Minél alacsonyabb ellenállás, R [ $\Omega$ ].

Szabad változók: Anyag.

A funkcionális jellemző (F) a szilárdság ( $\sigma_f$ ), ami ugyan anyagjellemzőnek tűnik, ám jelen esetben értéke kötött, nem változtatható. (A szilárdság közelebbi definiálása nehéz, mivel az egyes anyagok „tönkremenetelét” eltérő módok jellemzik. A fémek esetén a megfelelőségi határ a folyáshatár lehet, ami például az igen rideg kerámiák esetén nem értelmezhető. A kompozitok megfelelőségi határát a társított anyagok tulajdonságai szabják meg. A polimerek használhatósági tartománya az anyagcsoporton belül is jelentős eltérést mutat.)

A geometriai jellemző (G) a vezeték hossza (L) és keresztmetszete (A).

A cél a minél kisebb ellenállás, ahol  $R = \rho \cdot L/A$ .

Mivel L és A kötött, így az anyagjellemző (M) amire optimalizálni kell a fajlagos ellenállás ( $\rho$  [ $\Omega m$ ]).

A teljesítőképesség maximalizálása érdekében a fajlagos ellenállás reciprokával kell számolni, tehát  $P = (F) \cdot (G) \cdot (1/\rho)$ .

A valóságban a feladat jóval bonyolultabb ennél, az egyszerűsítésekkel az egyes jellemzők azonosításának bemutatása miatt élünk.

## Az anyag teljesítőképességének meghatározása

Az eddigiekből meghatározható, hogy az anyag teljesítőképessége a szerkezeti elem funkciójából adódó anyagjellemzők optimalizálása alapján értékelhető, ez alapján lehet rangsorba állítani a jelölteket.

Az anyagjellemzők lehetnek egyszerű, vagy komplex anyagjellemzők.

– Egyszerű anyagjellemzők:

Ezek a jellemzők, amelyeket mechanikai, villamos, mágneses stb. vizsgálatok eredményeiből származtathatók. Pl.: folyáshatár, fajlagos ellenállás, hővezetési tényező, hőtágulási együttható stb.

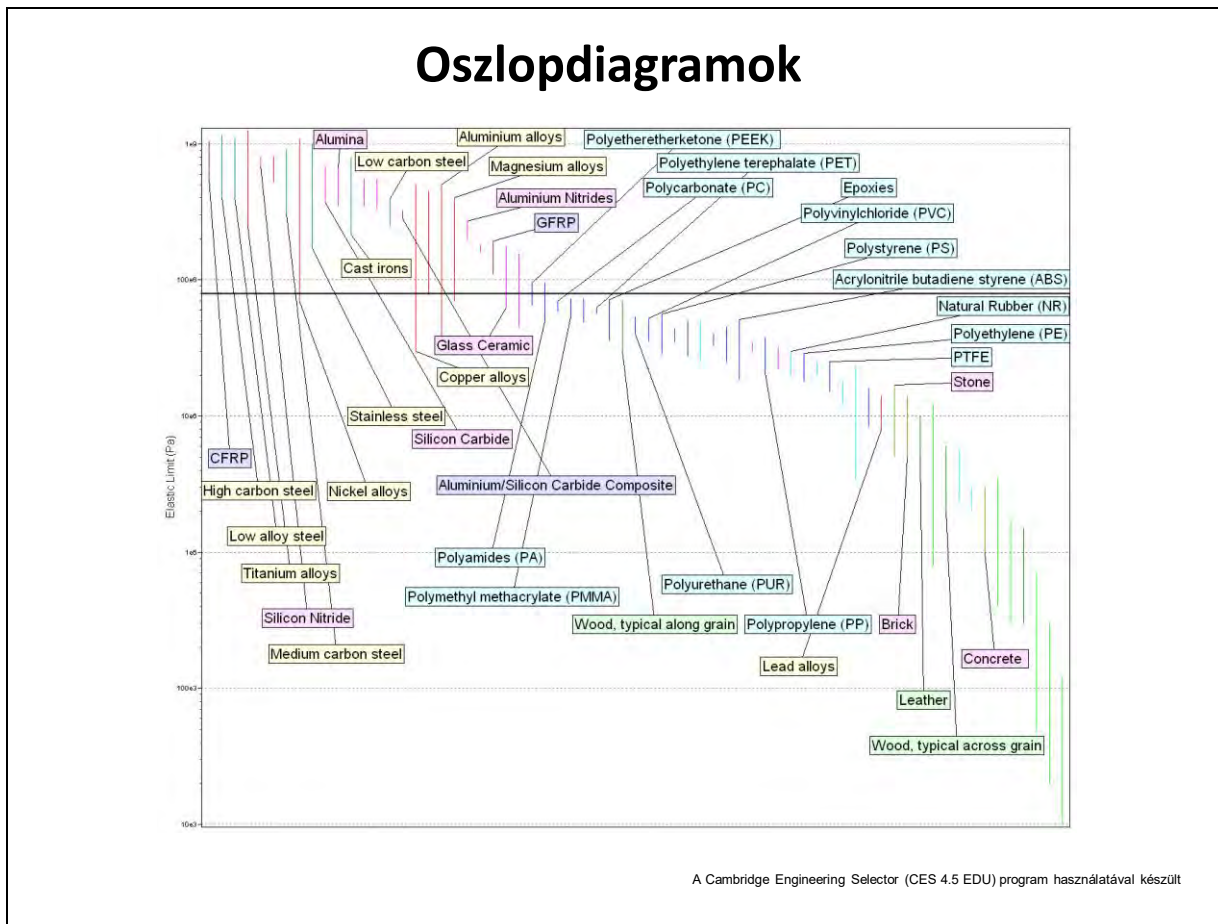
– Komplex anyagjellemzők:

Bizonyos esetekben az anyag teljesítőképességének meghatározása nem történhet egyetlen anyagjellemző alapján, ezekből egyszerre többet kell figyelembe venni.

Ilyen eset lehet egy húzott rúd tömegének minimalizálása, ahol a komplex anyagjellemző az  $R_{p0,2}/\rho$  lesz, melyet maximalizálni kell.

A választást a nagy mennyiségű szóba jöhető anyag közül az úgynevezett oszlopdiagramok és szelekciós kártyák teszik egyszerűbb feladattá, amelyek mind a szűrés, mind a rangsorolás során felhasználhatók.

A komplex anyagjellemzők, illetve azok meghatározása a 16. fejezetben kerül bővebb tárgyalásra. Előre bocsátanánk azonban, hogy ha a szerkezeti elem geometriája nincs megkötve (pl. keresztmetszete szabad változóként szerepel), a komplex anyagjellemző a szerkezeti elem alakját (pl. alaktényezőjét) is tartalmazhatja, holott az nem függ az anyag minőségétől. Ez úgy magyarázható, hogy a szelekciós kártyákon az azonos anyagú, de eltérő alaktényezőjű elemek (pl. rúd-cső) különböző anyagként jelennek meg.

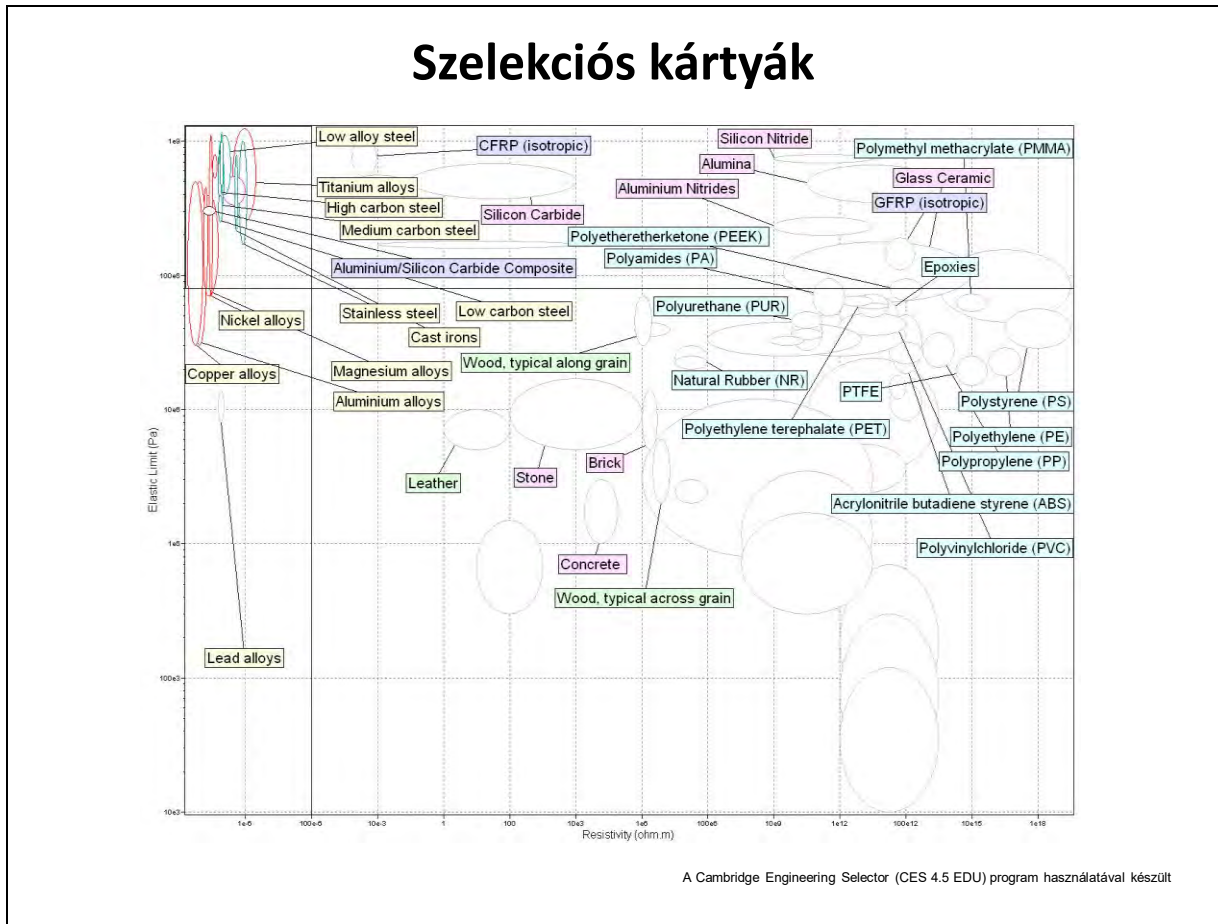


Az oszlopdigramok az előzetes szűrés során segítik a megfelelő jelöltek kiválasztását (illetve a nem megfelelők kiszűrését).

A diagramok az anyagok megfelelőségét-nem megfelelőséget mutatják egy egyszerű anyagjellemző kapcsán. Minden függőleges vonal egy-egy anyagcsoportot jelöl. A vonalszerű megjelenés azt jelenti, hogy az egyes anyagcsoportok tulajdonságai kisebb-nagyobb mértékű szórást mutatnak. Természetesen ahogy közelítünk a konkrét anyagminőség szintjéhez, a szórás mértéke csökken.

Az előző példát folytatva a diagramba bejelöltük a szűrési feltételként meghatározott követelményt, a szilárdság mértéke  $\sigma_f > 80$  Mpa. Ez egy vízszintes vonalként jelenik meg. Azok az anyagok, melyek ez alá a vonal alá esnek, nem teljesítik a feltételeket, a rangsorolásban már nem lesznek számításba véve. Amennyiben az anyagokat jelző vonalak metszik a követelményt megfogalmazót, elképzelhető olyan állapot (minőség), ami megfelel.

A különböző anyagfőcsoportok tagjait színekkel láttuk el (fémek, műanyagok, kerámiák, kompozitok, természetes anyagok). Nem meglepő, hogy a feltételnek megfelelő anyagok a fémek, kerámiák és kompozitok közül kerülnek ki.



A szelekciós kártyák mind az előzetes szűrés, mind a rangsorolás során segítik az anyagválasztást. A tervezőnek lehetősége van választani, hogy az anyagok milyen köréből és mely szinten válogat.

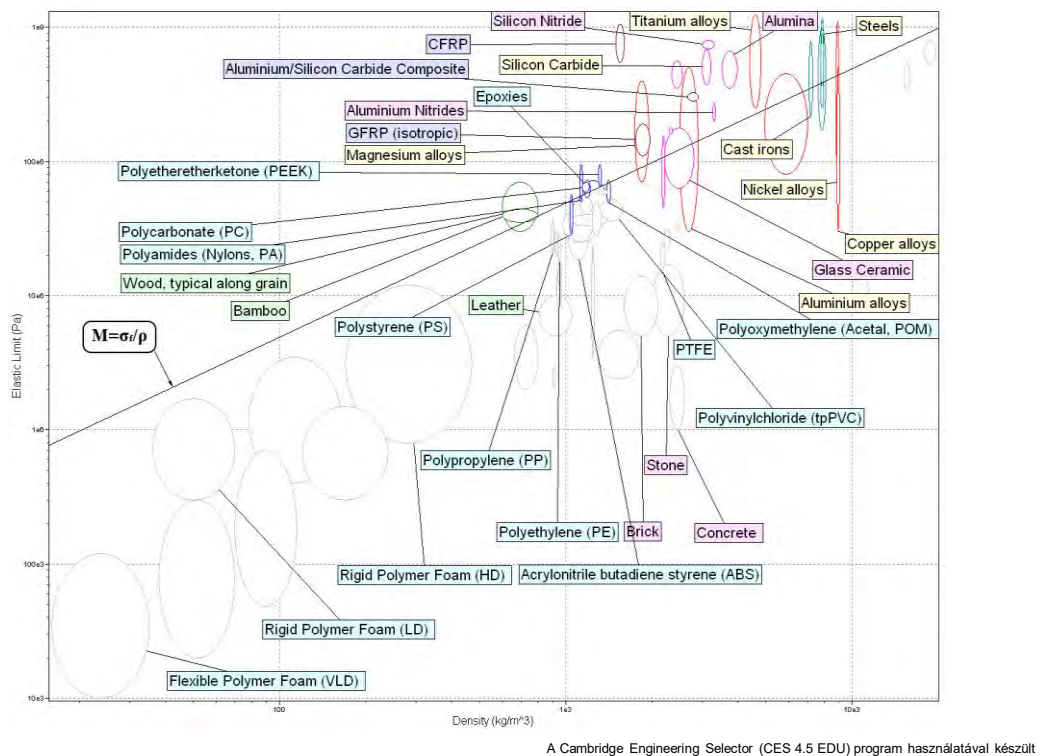
Mivel két anyagjellemző jeleníthető meg a kártyákon, az egyes anyagok tulajdonság értékeit kétdimenziós formák („buborékok”) jelzik azok szórásának megfelelően.

Tovább felhasználva az előző példát, a függőleges tengelyen, az oszlopdiagramhoz hasonlóan, a szilárdság (folyáshatár) található, ami a szűrés feltétele. A vízszintes tengelyen az anyagok a fajlagos ellenállásuk alapján vannak rendezve, aminek értékét, a feladtból adódóan, minimalizálni kell. Tehát azok a jelöltek, amik a szűrésen átmentek (a 80 Mpa értéknél húzott vízszintes vonal fölé esnek), a fajlagos ellenállásuk alapján kerülnek rangsorolásra. Az adott fajlagos ellenállás értéknél a diagramba húzott függőleges vonal azt jelöli, hogy ennél nagyobb ellenállású anyagok szóba sem jöhetnek. Így a határoló vonalak által kijelölt, bal felső sarokban található területbe eső anyagok kerülnek rangsorolásra. A többi anyag „buborékjai” szürke színnel jelennek meg, jelezve, hogy velük már nem kell számolni a továbbiakban.

A kritériumok alapján két jelölt az, ami legjobban teljesít, az alumínium és rézötvözetek. Ezek közül a választás a kiegészítő információk alapján történik.

A megfelelt jelöltek között olyanok is szerepelnek, amelyek például gyártási nehézségek (Al-SiC kompozit, öntöttvasak), ill. a gyártási és anyagköltségek alapján (Al-SiC, titán-, nikkelőtvözetek, korrózióálló acélok) előzetesen kizárásra kerülhetnek volna, ebben az egyszerű példában azonban ezeket a követelményeket nem vettük figyelembe.

## Szelekciós kártyák – komplex anyagjellemzők



A szelekciós kártyákon található mennyiségek logaritmusos skálázású tengelyeken jelennek meg, így ezek aránya, azaz egy komplex anyagjellemző ferde egyenesként látszik a diagramon. Azok az anyagok teljesítik a követelményeket, amelyek az egyenes fölé esnek, minél inkább, annál jobban teljesítenek, tehát növelik a komplex anyagjellemző, és így a szerkezeti elem teljesítőképességének értékét. Ezt egy egyszerűsített példán keresztül bemutatva:

Funkció: Húzott rúd.

Követelmények: Abszolút követelmények: A rúd hossza,  $L$  [m].

Adott értékű, egytengelyű terhelés ( $F$  [N]) elviselése képlékeny alakváltozás vagy tönkremenetel nélkül.

Kevésbé kötött követelmény: A költség.

Célok: Minél alacsonyabb tömeg,  $m$  [kg].

Szabad változók: Anyag.

Keresztmetszet mérete,  $A$  [m<sup>2</sup>].

A funkcionális jellemző a terhelésből adódik, amit a rúd el kell viselnie:  $F/A = \sigma_f$  [MPa].

A geometriai jellemző a vezeték hossza ( $L$ ).

A cél a minél kisebb tömeg, ahol  $m = A \cdot L \cdot \rho$ .

Mivel a funkcionális jellemző ( $F$ ) és a geometriai jellemző ( $L$ ) kötött, így a két egyenlet összevonásával az anyagjellemző amire optimalizálni kell:  $\rho/\sigma_f$  alakú komplex anyagjellemző lesz.

A szerkezeti elem teljesítőképességi egyenlete:  $m = (F) \cdot (L) \cdot (\rho/\sigma_f)$ .

Ha a teljesítőképesség maximumát ( $1/m = \max.$ ) keressük, akkor:  $M = \sigma_f/\rho$  lesz a maximalizálandó komplex anyagjellemző.

A logaritmusos lépték miatt  $\sigma_f/\rho = C$  (konstans) felírható:  $\log \sigma_f = \log \rho + \log C$ . Tehát a  $\sigma_f/\rho$  eltérő értékeihez tartozó egyenesek ugyanolyan meredekséggel, de eltolva jelennek meg a diagramon. Az eltolás mentén minél nagyobb értékű (feljebb lévő) egyenes metszi az adott anyag „buborékját”, az annál jobban teljesít (jelen esetben nem számítva a költségekkel és a gyártással), annál előkelőbb helyet foglal el a felállított rangsorban.

## Kiegészítő információk

A rangsorolás eredményeképp leginkább megfelelő anyagok közül a kiegészítő információk alapján lehet kiválasztani azt az egyet, amely a termék anyagául szolgál majd.

A kiegészítő információk sokrétűek, több helyről beszerezhetőek, így hatékony felhasználásuk csak az anyagválasztás ezen szintjén, kis számú, konkrét anyagminőség esetén lehetséges.

A kiegészítő információk általában nem rendszerezett adatok. Ezek között megtalálhatók az anyag beszerezhetőségével és árával; egy gyártó által előállított minőség pontos tulajdonságaival; eddigi felhasználással kapcsolatos tapasztalatokból származó információk.

Például milyen tapasztalatok vannak adott korrozív környezetben és állapotok között (hőmérséklet, nyomás stb.) való felhasználásról?

A kiegészítő információk elérhetősége: kézikönyvek, gyártói információk, esettanulmányok, kísérletek eredményei. Ezek fellelhetők elektronikus, nyomtatott formában és az interneten.

## Anyagválasztás és gyártási eljárás kapcsolata

A gyártási folyamat integráns része a termék életútjának. Befolyásolja a termék árát, a környezetre gyakorolt hatását, a funkcionális megfelelőségét, esztétikumát, tehát piaci sikerét.

A termék gyártását befolyásoló tényezők:

### Anyagi tényezők

A feldolgozhatóságot befolyásoló tulajdonságok

- olvadáspont
- szilárdság
- alakváltozó képesség
- hegeszthetőség
- mágneses tulajdonságok

### Alaki tényezők

- méret
- bonyolultság
- makroszerkezet

### Gyártási tényezők

- eljárás időigénye
- eljárás rugalmassága
- anyagkihozatal
- költség

### Funkcionális tényezők

- mechanikai terhelés
- üzemi környezet, hőmérséklet
- üzemidő, jelleg
- környezeti terhelés
- esztétikum
- ár
- gyártandó mennyiség

Tervezési irányelvek gyártástechnológiai szempontból:

Minél kevesebb alkatrészből álljon a termék; szabványos elemek használata; gyártási követelmények figyelembevétele a tervezés során; egyszerű alakú alkatrészek tervezése; minél kevesebb technológiai lépésből álljon az alkatrész gyártási folyamata.

Példa az eljárás és az anyag kapcsolatára:

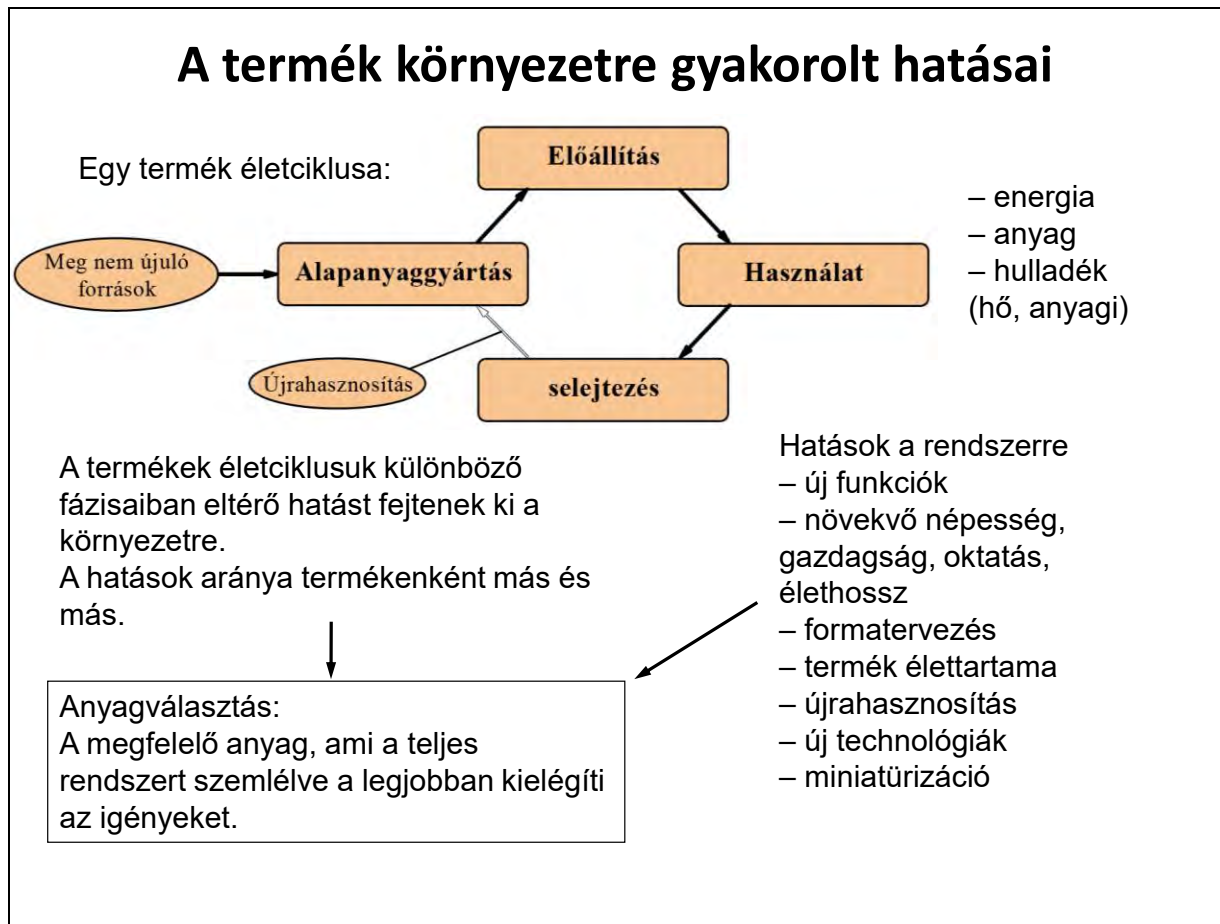
Bonyolult alakú alumínium alkatrész gyártása öntéssel. Többféle öntési technológiával is megvalósítható a feladat (öntés homokformába, öntés kokillába, nyomásos öntés), az eredmény is eltérő lesz az eljárástól függően.

A homok-, illetve a fémformában a hűlési sebesség jelentősen eltér. A nagyobb sebesség finomabb szemcseméretet, viszont nagyobb porozitást is eredményez, befolyásolva ezzel a termék mechanikai tulajdonságait.

Nyomásos öntéssel lehet elérni a legjobb minőségű felületet, a legnagyobb méretpontosságot és a legkisebb falvastagságot. Ez a leginkább termelékeny eljárás, viszont berendezéseinek és szerszámainak a költsége is a legmagasabb.

A legnagyobb méretű termékeket homokformába öntéssel lehet készíteni.





Az alapanyaggyártás a meg nem újuló forrásokból (érc, kőolaj stb.) és az újrahasznosított forrásokból történik. A termék életciklusának minden fázisában energiát és anyagot igényel, illetve hulladékot bocsát ki.

Egy kerékpár fajlagosan a legtöbb energiát, anyagot, hulladékot előállítás során igényli, bocsátja ki. Egy autó esetén a helyzet eltérő, hiszen üzemeltetése során szénhidrogénszármazékokat éget, ami anyag- (és a kitermeléshez szükséges energia-) ráfordítást igényel, illetve károsanyag-kibocsátással (füstgázok) jár.

Az anyagok környezetre gyakorolt hatása megjelenhet a teljesítőképességi egyenletben, mint a komplex anyagjellemző része (pl. előállításhoz szükséges fajlagos energia).

## Esztétikai megfontolások

„A jó termék működik. A kiváló örömet szerez.”\*

A követelménypiramis\*



\*Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

A termék élvezeti értékét befolyásoló tényezők sokfélék lehetnek. A szín, a forma, a mintázat többféle érzetet kiválthat (vidám-szomorú, erőteljes-enervált, olcsó-drága, fiatalos-érett, hagyományos-divatos stb.), aminek illenie kell a termék funkciójához.

A különböző anyagok felületükkel, színükkel, tömegükkel befolyásolhatják az érzeteket közvetlenül is, gyárthatóságukkal (forma, színezhetőség) pedig közvetetten.

A termék által keltett érzeteket szintén le lehet fordítani az oszlopdiagramok és szelekciós kártyák „nyelvére”.

A termékek elavulása nem csak képességeik túlhaladásából, hanem az általuk képviselt érzetből, divatosságukból is fakad. Sőt, az utóbbiból eredő elavulás jóval gyorsabb folyamat. Gondoljunk csak a mobiltelefonok gyorsan cserélődő választékáról. A leselejtezett, eldobott termékek viszont egyre nagyobb terhet rónak a környezetre.

## Kérdések és feladatok

- 1) Milyen kapcsolat van a termék funkciója, anyaga, alakja és felülete, illetve előállítási technológiája között?
- 2) Mit jelent a termék funkciója?
- 3) Mi történik a terméktervezés közelítő szakaszában? Hogy kapcsolódik ide az anyagválasztás?
- 4) Az anyagok rangsorolása terméktervezés mely szintjén alkalmazható, és az anyagtulajdonságok mely adatait használhatjuk fel ennek során?
- 5) Mit fejez ki a teljesítőképességi egyenlet?
- 6) Mi a különbség a terméktervezéskor megfogalmazott követelmények és célok között?
- 7) Mi a szerepük, és hogyan származtathatók a komplex anyagjellemzők?
- 8) A terméktervezés mely szintjén használhatók a szelekciós kártyák?
- 9) Hogy kapcsolódnak az anyagválasztáshoz a környezeti és esztétikai megfontolások?

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol–magyar kifejezések

attribute limits – tulajdonság kritériumok  
bar-chart – oszlopdiagram  
constraints – követelmények  
free variables – szabad változók  
life cycle – életciklus  
industrial design – formatervezés  
material indices – komplex anyagjellemzők  
material properties – anyagjellemzők  
material selection – anyagválasztás  
materials property chart – szelekciós kártya  
objectives – célok  
performance – teljesítőképesség  
product – termék  
product design – terméktervezés  
ranking – rangsorolás  
screening – szűrés  
supporting information – kiegészítő információk  
technical design – technológiai tervezés

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Ashby, M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] Ashby, M. F.: New Approaches in Materials and Manufacturing Education, PowerPoint Lecture Units, Granta Design Ltd., Cambridge, 2009.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III. Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003.
- [4] ASM Handbook Volume 20., Materials Selection and Design, ASM International, 1997.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi  
Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex  
Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 4. Makroszerkezet és alaktényezők jelentőségei

Szerzők: Pinke Péter  
Varga Péter  
Kovács-Coskun Tünde

[pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)

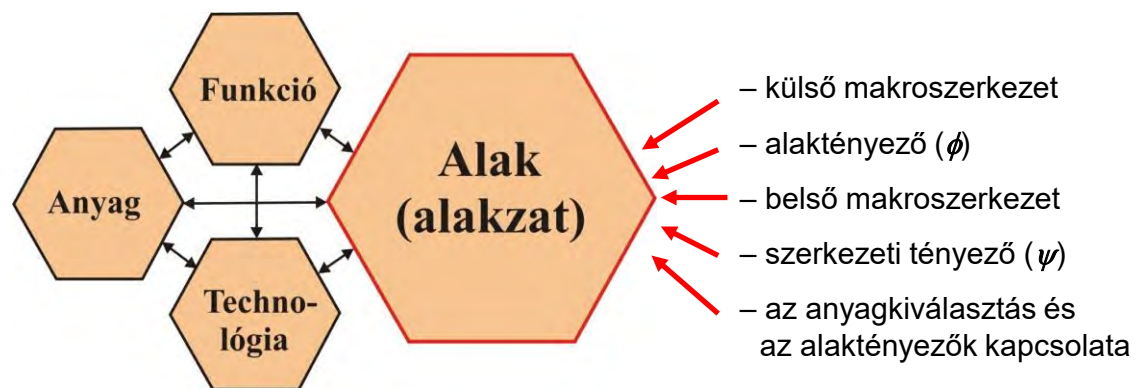
## Tartalom

Bevezetés.....	136
Külső makroszerkezet.....	138
Alaktényező .....	139
Belső makroszerkezet.....	153
Szerkezeti tényező.....	155

## 1. Bevezetés

A termék makroszerkezete az egyik legfontosabb szerkezeti jellemző → műszaki, tervezési szempontok eredménye.

Az anyag „kihasználása” döntően attól függ, hogy mennyire sikerül az alapanyagok, termékek optimális alakját biztosítani.



*Az anyag kiválasztás összefüggésrendszere és a termék alakját meghatározó irányadó szempontok*

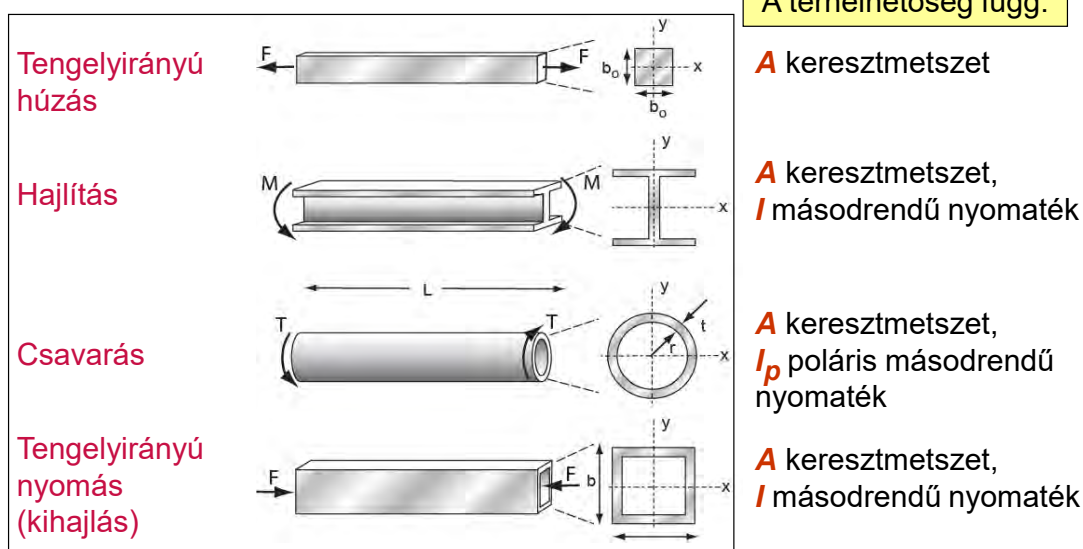
### Bevezetés

Korszerű ipari termék tervezésénél a funkció, az alak és a technológia együttesen határozzák meg az optimális anyagválasztást. Ha bármelyik összetevő megváltozik, a helyes anyagválasztás gyökeresen eltérő lehet, akár más anyag főcsoportból (fémek, műanyagok, kerámiák, habok, kompozitok) származó anyagra kell rátérni.

Az anyagok – pontosabban azok valamilyen feldolgozottsági állapotának megfelelő - alakja döntően befolyásolja az anyag kihasználhatóságát, illetve azon keresztül az anyaggal való takarékoságot, az (ön)súlycsökkentés lehetőségét. Ezért fontos tervezési kérdés, hogy mennyire valósul meg az adott gyártmányban a „könnyű-szerkezet”-es kialakítás, valamint az ehhez választott alapanyagok és félgyártmányok teherviselő keresztmetszeti szelvényalakjának optimális jellege. Az előbbi a koncepcionális tervezésben érvényesül, míg ez utóbbi a szilárdságtanban (méretezési összefüggésekben) jut kifejezésre.



Az anyag, pl. szilárdságilag, annál inkább kihasználható, minél alkalmasabb arra, hogy a terhelés jellegének legjobban megfelelő alakú elemet lehessen belőle gyártani.



*Azonos keresztmetszeti területtel jellemzett, különböző alakú szelvények egyszerű terhelési esetei*

A megfelelő (ideális, optimális) alak kiválasztásához a jellemző igénybevételt kell alapul venni.

**Húzás** esetén – amikor a húzóerő hatására kialakuló  $\sigma$  normálfeszültség állandó a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet területével arányos, de független annak alakjától, ezért a relatíve olcsón és viszonylag egyszerűen gyártható tömör körszelvény az ideális (pl. csavarhoz mint húzott kötőelemhez).

**Hajlítás** esetén – amikor a hajlítónyomaték hatására kialakuló  $\sigma$  normálfeszültség lineárisan változik a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet másodrendű nyomatékával ill. abból származtatott keresztmetszeti tényezővel arányos, ezért az álló I-, szendvics- vagy zárt téglalap szelvény az optimális (pl. gerendához, mint hajlított kéttámaszú tartóhoz).

**Csavarás** esetén – amikor a csavarónyomaték hatására kialakuló  $\tau$  csúszató-feszültség lineárisan változik a keresztmetszet mentén – a terhelhetőség a keresztmetszet poláris másodrendű nyomatékával, illetve az abból származtatott poláris keresztmetszeti tényezővel arányos, ezért a forgásszimmetrikus csőszelvény a legmegfelelőbb (pl. tengelyhez, mint csavart gépelemhez).

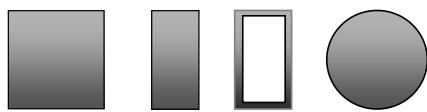
**Nyomás** esetén – a kihajlás veszélye (járulékos  $\sigma$  hajlítófeszültség) miatt – a terhelhetőség a keresztmetszet másodrendű nyomatékával arányos, tehát függ az alaktól, ezért a szimmetrikus zárt kör- vagy négyzetszelvény kedvezőbb (pl. oszlophoz mint nyomott „karcsú” rúdhoz).

## 2. Külső makroszerkezet

Az anyag műszaki termékekben történő kihasználása (hatékony felhasználása) megfelelő alak választásával érhető el.



Az anyag megfelelő kihasználása lehetőséget ad az anyaggal való takarékosagra és ez súly- (tömeg) csökkentést eredményez!



Néhány jellegzetes egyszerű szelvény



Összetett szelvény

### Külső makroszerkezet

A külső makroszerkezet több vonatkozásban fontos szerkezeti jellemző, hiszen az alapanyagok, ill. a belőlük készült félkészgyártmányok vagy késztermékek piacán a vevő ezt szemrevételezi, ezt tudja közvetlenül értékelni.

A külső makroszerkezet, azaz a geometria (alak, méretek) érzékelhető legnyilvánvalóbban, a látvány műszaki szempontokon kívül esztétikailag is értékelhető.

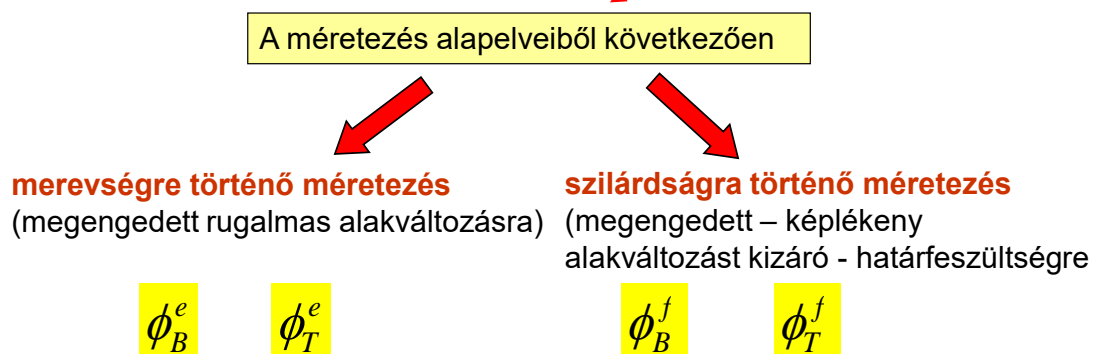
Az műszaki gyakorlatban termékek előállításánál sokféle makroszerkezeti alakot használnak, pl. rúd / kör-, négyszög-, hatszög- stb. keresztmetszetű/, drót, huzal, vékony és vastag lemez, szalag, fólia, cső, nyitott profil, zárt szelvény, tömb, formázott öntvény, alakos kovácsdarab stb.)

### 3. Alaktényező

Az anyagok alakkal összefüggő kihasználtságának mértéke az **alaktényezővel** ( $\phi$ ) jellemezhető, amelyet négyzet keresztmetszetű rúdra mint bázisadatra vonatkoztatva adnak meg (**a négyzet keresztmetszetű rúd alaktényezője 1**).

Az alaktényező azt jellemzi, hogy a profilos rúd anyagkihasználása hányszorosa a négyzet keresztmetszetű tömör rúd anyagkihasználásának.

Annyi alaktényezőt kell definiálni, ahány **igénybevétel** (hajlítás, csavarás, ... ) előfordul (*természetesen húzásra minden szelvény alaktényezője 1*).



#### Alaktényező

Az anyagok különféle alkalmazási területeken (műszaki alkotások, ipari termékek, közszükségleti cikkek stb.) belüli kihasználása – hatékony felhasználása – megfelelő alak(zat) választásával biztosítható. Az anyagkeresztmetszet (anyagszelvény) alaktényezője azt jellemzi, hogy a profilos (zárt vagy nyitott szelvényű) rúd anyagkihasználása hányszorosa a négyzet keresztmetszetű tömör rúdénak, azaz pl. azonos rugalmas lehajlás biztosításához hányszor kisebb tömegű anyagra van szükség a tömör négyzet szelvényű rúddhoz viszonyítva, illetve folyásig történő hajlítás esetén mekkora ez az arány.

Az alaktényező meghatározása az igénybevétel és az alkalmazott méretezési eljárás (merevségre történő méretezés – megengedett rugalmas alakváltozás, illetve szilárdságra történő méretezés – folyási feltételre történő méretezés) alapján történik.

$\phi_B^e$  alaktényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

$\phi_B^f$  alaktényező szilárdságra történő méretezésnél hajlításra

$\phi_T^e$  alaktényező merevségre történő méretezésnél csavarásra

$\phi_T^f$  alaktényező szilárdságra történő méretezésnél csavarásra

$$\phi_B^e = \frac{3}{\pi} \left( \frac{r}{t} \right) \quad \phi_T^e = 1,14 \left( \frac{r}{t} \right)$$

$\phi_B^e = 1$     $\phi_T^e = 1$

$$\phi_B^e = \frac{1}{2} \frac{h}{t} \frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^2}$$

$$\phi_T^e = 1,19 \left( \frac{r}{b} \right) \frac{(1+4h/b)}{(1+h/b)^2}$$

Néhány szelvény alaktényezője merevségre történő méretezésnél hajlításra, illetve csavarásra

Az egyes alaktényező – szimbólumokban szereplő alsó és felső indexek az alábbi angol kifejezésekből következnek:

$e$  – elastic (rugalmas)

$B$  – bending (hajlítás)

$f$  – failure (meghibásodás, törés)

$T$  – torsion (csavarás), használatos még a twisting kifejezés is, amely szintén csavarást jelent.

Az ábrán szereplő körgyűrűre megadott  $\phi_B^e$  és  $\phi_B^f$  kifejezések arra az esetre érvényesek, amikor  $r \gg t$ . Egyéb esetekben körgyűrű alaktényezőinek meghatározásánál a körszelvény alaktényezőinek különbségét kell venni.

Az alaktényezők az alábbi összefüggések alapján számíthatók:

#### Alaktényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

$$\phi_B^e = \frac{S}{S_o} = \frac{I}{I_o} = \frac{12I}{A^2}$$

( $S$  [ $\text{Nm}^{-1}$ ] a vizsgált keresztmetszet merevsége hajlításnál,  $S_o$  [ $\text{Nm}^{-1}$ ] a bázis keresztmetszet merevsége hajlításnál,  $I$  [ $\text{m}^4$ ] a vizsgált keresztmetszet  $x$  tengelyre számított másodrendű nyomatéka,  $I_o$  [ $\text{m}^4$ ] a bázis keresztmetszet  $x$  tengelyre számított másodrendű nyomatéka,  $A$  [ $\text{m}^2$ ] a keresztmetszet nagysága)

#### Alaktényező merevségre történő méretezésnél csavarásra

$$\phi_T^e = \frac{S_T}{S_{To}} = \frac{K}{K_o} = 7,14 \frac{K}{A^2}$$

( $S_T$  [ $\text{Nm}$ ] a vizsgált keresztmetszet merevsége csavarásnál,  $S_{To}$  [ $\text{Nm}$ ] a bázis keresztmetszet merevsége csavarásnál,  $K$  [ $\text{m}^4$ ] a vizsgált keresztmetszet csavarási másodrendű nyomatéka,  $K_o$  [ $\text{m}^4$ ] a bázis keresztmetszet csavarási másodrendű nyomatéka,  $A$  [ $\text{m}^2$ ] a keresztmetszet nagysága)

Rúd hajlító igénybevétele esetén a merevség arányos a rugalmassági modulus és a másodrendű nyomaték szorzatával, tehát  $S \approx EI$ ,

a bázis (négyzet) keresztmetszetre a másodrendű nyomaték  $I_o = \frac{b_o^4}{12} = \frac{A^2}{12}$

Az alaktényező tehát  $\phi_B^e = \frac{S}{S_o} = \frac{EI}{EI_o} = \frac{12I}{A^2}$

Csavarás esetén a merevségre érvényes  $S_T = \frac{KG}{L}$ , ahol  $K$  – csavarási

másodrendű nyomaték,  $G$  – csúsztató rugalmassági modulus,  $L$  – hossz.

A bázis (négyzet) keresztmetszetre a csavarási másodrendű nyomaték  $K_o = 0,14b^4$

Az alaktényező tehát  $\phi_T^e = \frac{S_T}{S_{To}} = \frac{\frac{KG}{L}}{\frac{K_o G}{L}} = 7,14 \frac{K}{A^2}$

**Alaktényező szilárdságra történő méretezésnél hajlításra**

$$\phi_B^f = \frac{Z}{Z_o} = \frac{6Z}{A^{3/2}}$$

( $Z$  [ $m^3$ ] a vizsgált keresztmetszet hajlítási keresztmetszeti tényezője,  $Z_o$  [ $m^3$ ] a bázis keresztmetszet hajlítási keresztmetszeti tényezője,  $A$  [ $m^2$ ] a keresztmetszet nagysága)

**Alaktényező szilárdságra történő méretezésnél csavarásra**

$$\phi_T^f = \frac{Q}{Q_o} = 4,8 \frac{Q}{A^{3/2}}$$

( $Q$  [ $m^3$ ] a vizsgált keresztmetszet csavarási keresztmetszeti tényezője,  $Q_o$  [ $m^3$ ] a bázis keresztmetszet csavarási keresztmetszeti tényezője,  $A$  [ $m^2$ ] a keresztmetszet nagysága)

Rúd hajlító igénybevétele esetén a rúdban ébredő hajlítófeszültségre érvényes,

$$\sigma = \frac{M}{Z} \text{ ahol } M - \text{hajlítónyomaték, } Z - \text{hajlítási keresztmetszeti tényező.}$$

a bázis (négyzet) keresztmetszetre a hajlítási keresztmetszeti tényező

$$Z_o = \frac{b_o^3}{6} = \frac{A^{3/2}}{6}$$

$$\text{Az alaktényező tehát } \phi_B^f = \frac{Z}{Z_o} = \frac{6Z}{A^{3/2}} \text{ .}$$

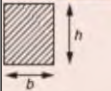

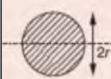
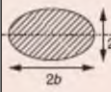
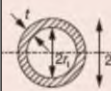
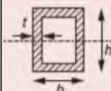
Csavarás esetén a csavarószilárdságra érvényes  $\tau = \frac{M}{Q}$ , ahol

$M$  – csavarónyomaték,  $Q$  – csavarási keresztmetszeti tényező.

A bázis (négyzet) keresztmetszetre a csavarási keresztmetszeti tényező

$$Q_o = \frac{b_o^3}{4,8} = \frac{A^{3/2}}{4,8}$$

$$\text{Az alaktényező tehát } \phi_T^f = \frac{Q}{Q_o} = 4,8 \frac{Q}{A^{3/2}}$$

Keresztmetszet alak	A [m <sup>2</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]	K [m <sup>4</sup> ]	Z [m <sup>3</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> ]
	$bh$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{3} \left(1 - 0.58 \frac{b}{h}\right)$ ( $h > b$ )	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{b^2 h^2}{(3h + 1.8b)}$ ( $h > b$ )
	$\frac{\sqrt{3}}{4} a^2$	$\frac{a^4}{32\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3} a^4}{80}$	$\frac{a^3}{32}$	$\frac{a^3}{20}$
	$\pi r^2$	$\frac{\pi}{4} r^4$	$\frac{\pi}{2} r^4$	$\frac{\pi}{4} r^3$	$\frac{\pi}{2} r^3$
	$\pi ab$	$\frac{\pi}{4} a^3 b$	$\frac{\pi a^3 b^3}{(a^2 + b^2)}$	$\frac{\pi}{4} a^2 b$	$\frac{\pi}{2} a^2 b$ ( $a < b$ )
	$\pi(r_o^2 - r_i^2)$ $\approx 2\pi r t$	$\frac{\pi}{4}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx \pi r^3 t$	$\frac{\pi}{2}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx 2\pi r^3 t$	$\frac{\pi}{4r_o}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx \pi r^2 t$	$\frac{\pi}{2r_o}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx 2\pi r^2 t$
	$2t(h + b)$ ( $h, b \gg t$ )	$\frac{1}{6} h^3 t \left(1 + 3 \frac{b}{h}\right)$	$\frac{2tb^2 h^2}{(h + b)} \left(1 - \frac{t}{h}\right)^4$	$\frac{1}{3} h^2 t \left(1 + 3 \frac{b}{h}\right)$	$2tbh \left(1 - \frac{t}{h}\right)^2$

Egyszerű keresztmetszetek geometriai jellemzői (1)

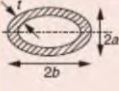
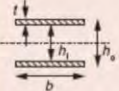
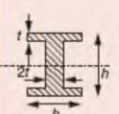
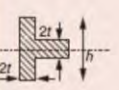
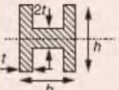
A – keresztmetszet

I – hajlítási másodrendű nyomaték (ekvatoriális másodrendű nyomaték az x tengelyre számítva)

K – csavarási másodrendű nyomaték







Z – hajlítási keresztmetszeti tényező (ekvatoriális keresztmetszeti tényező az x tengelyre számítva)

Q – csavarási keresztmetszeti tényező

Keresztmetszet alak	$A [m^2]$	$I [m^4]$	$K [m^4]$	$Z [m^3]$	$Q [m^3]$
	$\pi(a+b)t$ ( $a, b \gg t$ )	$\frac{\pi}{4}a^3t \left(1 + \frac{3b}{a}\right)$	$\frac{4\pi(ab)^{5/2}t}{(a^2 + b^2)}$	$\frac{\pi}{4}a^2t \left(1 + \frac{3b}{a}\right)$	$2\pi t(a^3b)^{1/2}$ ( $b > a$ )
	$b(h_o - h_i)$ $\approx 2bt$ ( $h, b \gg t$ )	$\frac{b}{12}(h_o^3 - h_i^3)$ $\approx \frac{1}{2}bth_o^2$	—	$\frac{b}{6h_o}(h_o^3 - h_i^3)$ $\approx bth_o$	—
	$2t(h+b)$ ( $h, b \gg t$ )	$\frac{1}{6}h^3t \left(1 + 3\frac{b}{h}\right)$	$\frac{2}{3}bt^3 \left(1 + 4\frac{h}{b}\right)$	$\frac{1}{3}h^2t \left(1 + 3\frac{b}{h}\right)$	$\frac{2}{3}bt^2 \left(1 + 4\frac{h}{b}\right)$
	$2t(h+b)$ ( $h, b \gg t$ )	$\frac{t}{6}(h^3 + 4bt^2)$	$\frac{t^3}{3}(8b + h)$	$\frac{t}{3h}(h^3 + 4bt^2)$	$\frac{t^2}{3}(8b + h)$
	$2t(h+b)$ $h, b \gg t$	$\frac{t}{6}(h^3 + 4bt^2)$	$\frac{2}{3}ht^3 \left(1 + 4\frac{b}{h}\right)$	$\frac{t}{3h}(h^3 + 4bt^2)$	$\frac{2}{3}ht^2 \left(1 + 4\frac{b}{h}\right)$

Egyszerű keresztmetszetek geometriai jellemzői (2)



Keresztmetszet alak	$\phi_B^e$	$\phi_T^e$	$\phi_B^f$	$\phi_T^f$
	$\frac{h}{b}$	$2.38 \frac{h}{b} \left(1 - 0.58 \frac{b}{h}\right)$ ( $h > b$ )	$\left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}$	$1.6 \sqrt{\frac{b}{h} \frac{1}{(1 + 0.6b/h)}}$ ( $h > b$ )
	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$	0.832	$\frac{3^{1/4}}{2} = 0.658$	0.83
	$\frac{3}{\pi} = 0.955$	1.14	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}} = 0.846$	1.35
	$\frac{3a}{\pi b}$	$\frac{2.28ab}{(a^2 + b^2)}$	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{a}{b}}$	$1.35 \sqrt{\frac{a}{b}}$ ( $a < b$ )
	$\frac{3}{\pi} \left(\frac{r}{t}\right)$ ( $r \gg t$ )	$1.14 \left(\frac{r}{t}\right)$	$\frac{3}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{r}{t}}$	$1.91 \sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\frac{1}{2} \frac{h(1 + 3b/h)}{t(1 + b/h)^2}$ ( $h, b \gg t$ )	$\frac{3.57b^2(1 - t/h)^4}{th(1 + b/h)^3}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{h}{t} \frac{(1 + 3b/h)}{(1 + b/h)^{3/2}}}$	$3.39 \sqrt{\frac{h^2}{bt} \frac{1}{(1 + h/b)^{3/2}}}$

Makroszerkezeti szelvények alaktényezői (1)

$\phi_B^e$  alaktényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

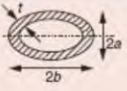
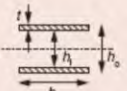
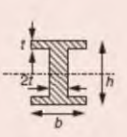
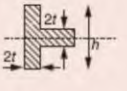
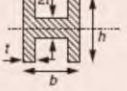
$\phi_T^e$  alaktényező merevségre történő méretezésnél csavarásra

$\phi_B^f$  alaktényező szilárdságra történő méretezésnél hajlításra

$\phi_T^f$  alaktényező szilárdságra történő méretezésnél csavarásra

A makroszerkezeti szelvények alaktényezőit összefoglaló táblázat Ashby, M.F.: *Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.*, könyve alapján készült. Ebben a harmadik kiadású műben az egyes szelvények alaktényezőit úgy határozták meg, hogy bázis keresztmetszetnek négyzet keresztmetszetet vettek, míg a második kiadásban (*Oxford, 1999*) a bázis keresztmetszet körszelvény volt!

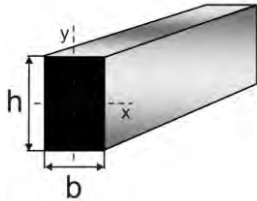
Ha a hivatkozott mű második kiadásából származó alaktényező-képletekkel dolgozunk, akkor a korrekt eredmény érdekében a képletekbe történő behelyettesítés után a kapott eredményt el kell osztani p/3- al!

Keresztmetszet alak	$\phi_B^e$	$\phi_T^e$	$\phi_B^f$	$\phi_T^f$
	$\frac{3a(1+3b/a)}{\pi t(1+b/a)^2}$ ( $a, b \gg t$ )	$\frac{9.12(ab)^{5/2}}{t(a^2+b^2)(a+b)^2}$	$\frac{3}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{a}{t}} \frac{(1+3b/a)}{(1+b/a)^{3/2}}$	$5.41 \sqrt{\frac{a}{t}} \frac{1}{(1+a/b)^{3/2}}$
	$\frac{3h_o^2}{2bt}$ ( $h, b \gg t$ )	—	$\frac{3}{\sqrt{2}} \frac{h_o}{\sqrt{bt}}$	—
	$\frac{1h(1+3b/h)}{2t(1+b/h)^2}$ ( $h, b \gg t$ )	$1.19 \left(\frac{t}{b}\right) \frac{(1+4h/b)}{(1+h/b)^2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{h}{t}} \frac{(1+3b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$1.13 \sqrt{\frac{t}{b}} \frac{(1+4h/b)}{(1+h/b)^{3/2}}$
	$\frac{1h(1+4bt^2/h^3)}{2t(1+b/h)^2}$ ( $h, b \gg t$ )	$0.595 \left(\frac{t}{h}\right) \frac{(1+8b/h)}{(1+b/h)^2}$	$\frac{3}{4} \sqrt{\frac{h}{t}} \frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$0.565 \sqrt{\frac{t}{h}} \frac{(1+8b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$
	$\frac{1h(1+4bt^2/h^3)}{2t(1+b/h)^2}$ ( $h, b \gg t$ )	$1.19 \left(\frac{t}{h}\right) \frac{(1+4b/h)}{(1+b/h)^2}$	$\frac{3}{4} \sqrt{\frac{h}{t}} \frac{(1+4bt^2/h^3)}{(1+b/h)^{3/2}}$	$1.13 \sqrt{\frac{t}{h}} \frac{(1+4b/h)}{(1+b/h)^{3/2}}$

Makroszerkezeti szelvények alaktényezői (2)

**1. példa**

Határozzuk meg a  $b \times h$  méretű téglalap alakú szelvény alaktényezőjét merevségre történő méretezésnél hajlításra!

**Megoldás**

Merevségre történő méretezésnél hajlításra az alaktényező a merevségek, illetve a másodrendű nyomatékok aránya és a keresztmetszet alapján

$$\phi_B^e = \frac{S}{S_o} = \frac{I}{I_o} = \frac{12I}{A^2}$$

A másodrendű nyomatékra, téglalap keresztmetszet esetén, írható

$$I_x = I = \frac{bh^3}{12}$$

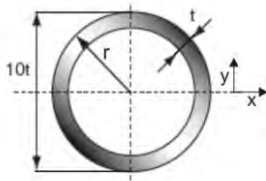
Az alaktényező 
$$\phi_B^e = \frac{I}{I_o} = \frac{12I}{A^2} = \frac{12 \frac{bh^3}{12}}{(bh)^2} = \frac{h}{b}$$

A téglalap alakú szelvény alaktényezője

$$\phi_B^e = \frac{h}{b}$$

**2. példa**

Határozzuk meg a  $d = 10t$  átmérőjű és  $t$  falvastagságú körgyűrű (cső) alakú szelvény alaktényezőjét szilárdságra történő méretezésnél hajlításra!

**Megoldás**

Szilárdságra történő méretezés esetén hajlításra az alaktényező a keresztmetszeti tényezők, illetve a keresztmetszeti tényező és a keresztmetszet arányából adódóan

$$\phi_B^f = \frac{Z}{Z_o} = \frac{6Z}{A^{3/2}}$$

A másodrendű nyomaték hajlításnál 
$$I = \frac{\pi}{4}(5t)^4 - \frac{\pi}{4}(4t)^4 = 92,25\pi^4$$

A keresztmetszeti tényező 
$$Z = \frac{I}{y_{\max}} = \frac{92,25\pi^4}{5t} = 18,45\pi^3$$

A keresztmetszet 
$$A = \pi(5t)^2 - \pi(4t)^2 = 9\pi^2$$

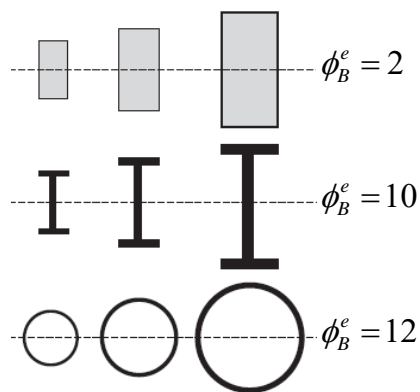
Az alaktényező 
$$\phi_B^f = \frac{6Z}{A^{3/2}} = \frac{6 \cdot 18,45\pi^3}{(9\pi^2)^{3/2}} = 2,31$$

Az adott méretű körgyűrű alakú szelvény alaktényezője

$$\phi_B^f = 2,31$$

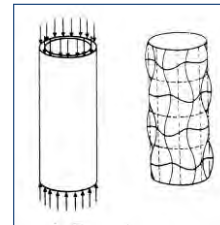
Az alaktényező **mértékegység nélküli szám!** Az alaktényezők **mérettől függetlenek**, de a **méretarányoktól függnnek**, csak az arányosan kicsinyített, vagy nagyított alak(zat)ok tényezője egyezik meg!

Szerkezeti elemek méretezésénél arra kell törekedni, hogy az alkalmazott keresztmetszet **alaktényezője lehetőség szerint minél nagyobb legyen!**



*Különböző méretű, hasonló szelvények alaktényezői azonosak*

Az alaktényezők értékének túlzott növelését a **gyárthatóság** (az alakos keresztmetszet előállítási lehetősége) és a **lokális instabilitás** (pl. cső túlságosan vékony falának horpadása) korlátozza.

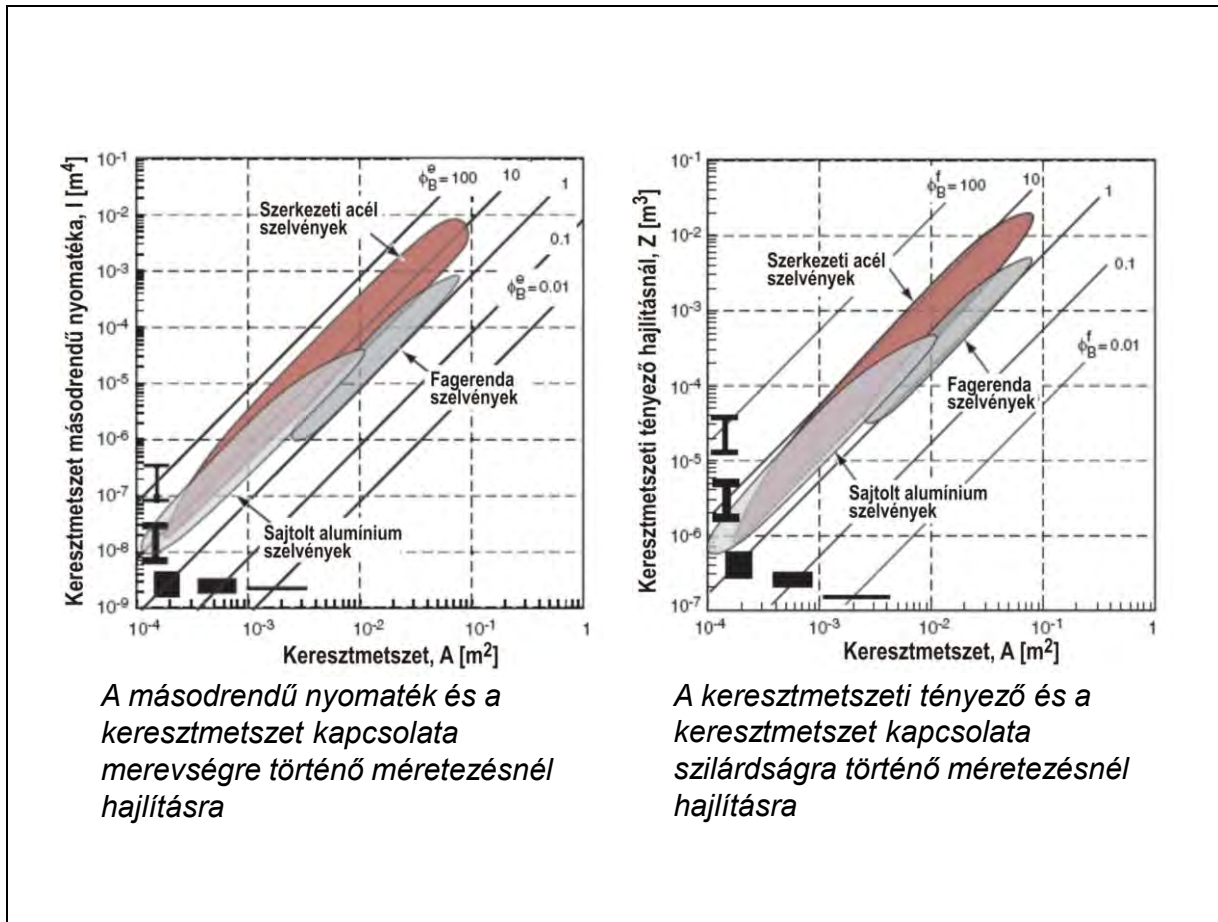


Az ábrán lévő téglalap szelvények alaktényezője 2.

Mivel téglalap szelvényre  $\phi_B^e = \frac{h}{b} = 2$ , ezért  $h = 2b$ , tehát az ábrázolt

szelvények esetében a szelvény magassága kétszerese a szelvény szélességének.

Hasonló módon értelmezhetők, az adott méretarányok alapján, az I szelvény és a körgyűrű alaktényező számszerűsített értékei is.



A baloldali ábra a keresztmetszeti tényező és a keresztmetszet kapcsolatát mutatja logaritmusos koordináta-rendszerben szilárdságra történő méretezésnél hajlításra. A diagramban átlósan jelöltek az alaktényező értékei néhány jellemző szelvényalak esetében (a négyzetszelvény alaktényezője  $\phi_B^e = 1$ , I szelvénynél az alaktényező értéke  $\phi_B^e = 100$ , amely a legmagasabb határértéket jelöli).

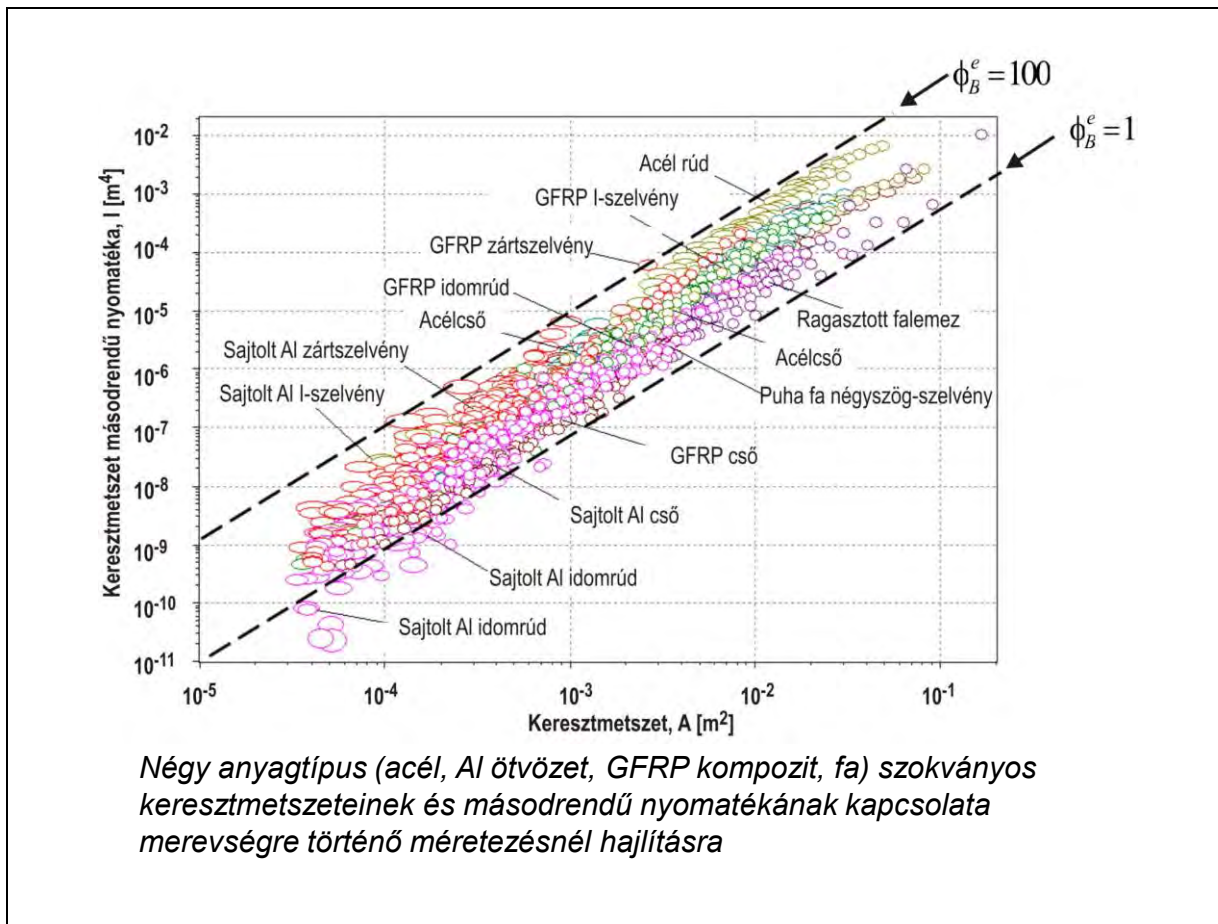
Merevségre történő méretezésnél hajlításra azok a szelvények a legmegfelelőbbek, amelyek  $\frac{I}{A^2}$  értéke a legnagyobb.

A diagramban „foltokként” szerepel három anyagminőség (szerkezeti acél, fagerenda, sajtolt alumínium), amely a gyakorlati szelvényméretek által lefedett tartományokat mutatja.

A jobboldali ábra a másodrendű nyomaték és a keresztmetszet kapcsolatát mutatja logaritmusos koordináta-rendszerben merevségre történő méretezésnél hajlításra. A diagramban átlósan jelöltek az alaktényező értékei néhány jellemző szelvényalak esetében (a négyzetszelvény alaktényezője  $\phi_B^e = 1$ , I szelvénynél az alaktényező értéke  $\phi_B^e = 100$ , amely a legmagasabb (elméleti) határértéket jelöli). Szilárdságra történő méretezésnél hajlításra azok a szelvények a legmegfelelőbbek, amelyek

$\frac{Z}{A^{3/2}}$  értéke a legnagyobb.

A diagramban szintén „foltokként” szerepel három anyagminőség (szerkezeti acél, fagerenda, sajtolt alumínium), amely a gyakorlati szelvényméretek által lefedett tartományokat mutatja.



A diagram négy anyagtípus: acél, 6061 alumíniumötvözet, GFRP (Glass Fiber Reinforced Polyester) kompozit és faanyag szokványos keresztmetszeteinek és másodrendű nyomatékának kapcsolatát mutatja logaritmusos koordináta-rendszerben merevségre történő méretezésnél hajlításra. A diagramot 1900 konkrét szelvény-méret felhasználásával állították össze. Látható, hogy a legtöbb keresztmetszet-másodrendű nyomaték kapcsolat, az alaktényezőket tekintve,  $\phi_B^e = 1$  és  $\phi_B^e = 100$  közé esik. Az alaktényezőket jelző vonalak meredeksége 2, amely az alaktényező meghatározásából következik:

$$\phi_B^e = \frac{12I}{A^2}$$

$$\log I = 2 \log A + \log \frac{\phi_B^e}{12}$$

Az alaktényező maximum értékei csak a legritkább esetekben közelítik meg a  $\phi_B^e = 100$  értéket.

Az **alaktényezők maximális elméleti értéke** az anyag rugalmassági modulusától és a folyáshatár feszültségtől függ, érvényes

$$(\phi_B^e)_{\max} \approx 2,3 \sqrt{\frac{E}{R_e}}$$

$$(\phi_B^f)_{\max} \approx \sqrt{(\phi_B^e)_{\max}}$$

Az **alaktényezők maximális megengedhető gyakorlati értéke** nagyobb az elméletileg meghatározott értéknél.

Anyag	$(\phi_B^e)_{\max}$	$(\phi_T^e)_{\max}$	$(\phi_B^f)_{\max}$	$(\phi_T^f)_{\max}$
Szerkezeti acél	65	25	13	7
6061 alumíniumötvözet	44	31	10	8
GRFP és CRFP	39	26	9	7
Polimerek	12	8	5	4
Faanyagok	5	1	3	1
Elasztomerek	< 6	3	–	–

*Alaktényezők maximális gyakorlati értékei*

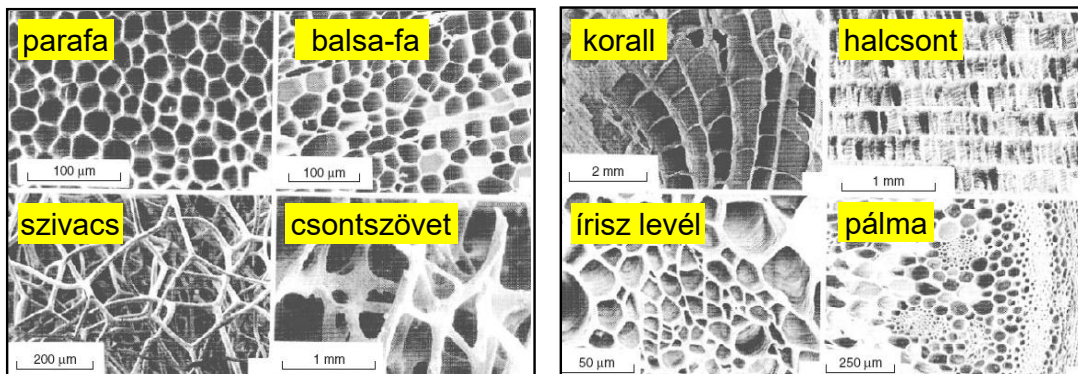
A táblázatból látható, hogy az alaktényezők maximumértéke merevségre történő méretezésnél (hajlításnál és csavarásnál is) mindig nagyobb, mint szilárdságra történő méretezésnél.



## 4. Belső makroszerkezet

Belső makroszerkezet alatt azt értjük, hogy a külső makroszerkezeti geometria által behatárolt térfogatot az anyag milyen **folytonossággal** (kontinuitással) tölti ki. Az alaktényezők értékének növelése **célszerűen módosított belső szerkezettel** megoldható!

A természetben számos makrostruktúras anyag található (pl. növényi vagy állati vázszerkezetek).

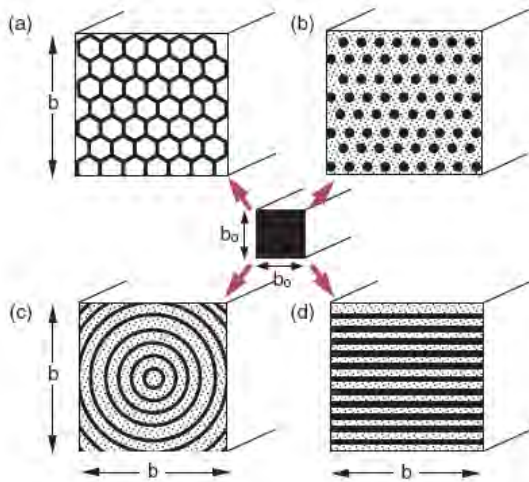


*Néhány természetes anyag belső makroszerkezete*

### Belső makroszerkezet

Amennyiben célszerűen módosítjuk a belső makroszerkezetet, azaz pl. „merekítés(ek)e)t” alkalmazunk, akkor az alaktényezők növelésének már csak a gyárthatóság szab(hat) határt. A természet követhető példákat mutat, többek között a növényi szárak esetében. Ezeket utánozva kialakíthatók olyan belső makroszerkezetek, amelyek merevebbé, de könnyebbé is teszik az anyagokat. Nem lehetséges minden anyagcsoportnál ilyen belső makroszerkezet-módosítást előidézni, de pl. a kis merevségű, illetve szilárdságú, de könnyen megmunkálható műanyagok esetében ez jól megvalósítható. Nem csak a mechanikai terhelésekkel szembeni ellenállás fokozása lehet a belső makroszerkezet módosításának célja, hanem pl. a termikus tulajdonságok módosítása is. Az ún. hőszigetelő anyagok mindegyikének belső makroszerkezete levegő- vagy gáztartalmú pórusokat, üregeket, cellákat tartalmaz, amelyeket az esetek többségében az anyag-előállítás során, szándékosan hoznak létre. Ez jellemző többek között a habosított műanyagokra („Hunгарocell”, PUR), a filcesített kerámiákra (üveg- és kőzetgyapot), melyeket épületek, csővezetékek, tartályok, ... hőszigetelésére alkalmaznak. A fémhabok olyan kis sűrűségű, nyitott vagy zárt cellás könnyűfémek, amelyek pl. ütközésienergia-elnyelők, nagy hőmérsékletű szűrők, hangfogók lehetnek, azaz olyan helyeken is alkalmazhatók, ahol a műanyag habok szilárdságilag és hőállóság tekintetében nem felelnek meg.

**Kompozitanyagok** létrehozása → belső makroszerkezet kialakításának számos lehetőségét kínálja. A mátrix tartalmazhat **szemcséket**, **szálakat**, összeépülhet más **anyagrétegekkel** vagy ellátható **bevonattal**.



*Belső makroszerkezeti kialakítások, a) méhsejt szerkezet, b) habszerkezetben erősítő szálak, c) habszerkezetben erősítő hengeres héjak, d) habszerkezetben erősítő rétegek*



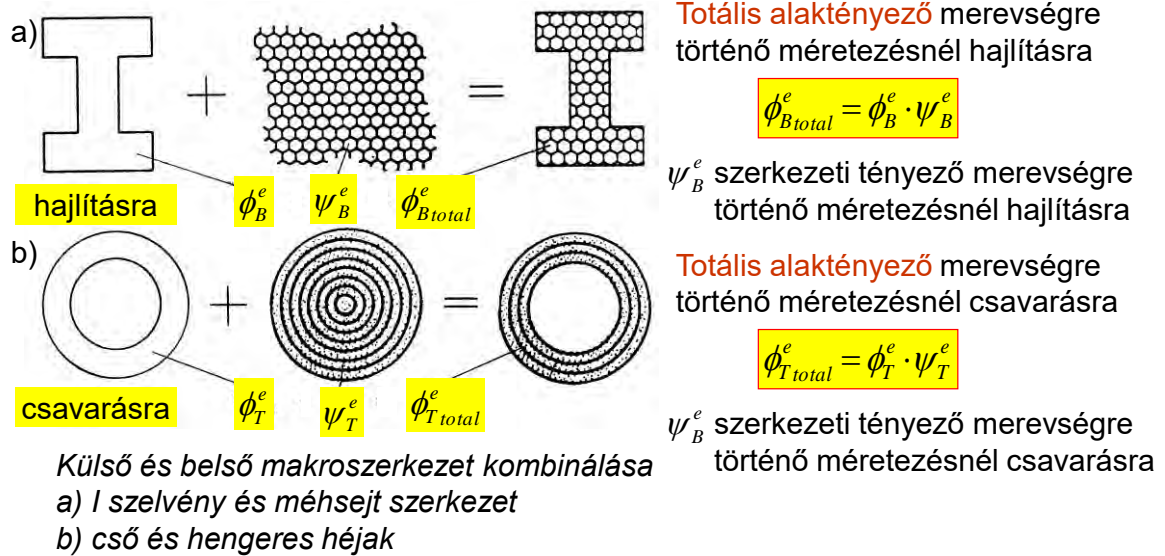
*Kompozitanyag felhasználásával készült néhány jellegzetes műszaki alkotás, termék*

A bal oldali ábra belső makroszerkezet kialakításának néhány lehetőségét mutatja, amelyek a kompozitanyagok esetében jellemzőek. A kompozitok belső makroszerkezete morfológiájukból adódik, azaz a mátrix (erősített anyag) tartalmazhat szemcséket, szálakat (erősítőanyagot), összeépülhet más anyagrétegekkel (pl. szendvicsszerkezetté) vagy ellátható bevonattal. A kompozitanyagoknál különösen fontos a társított anyagok „együttdolgozása” (megfelelő kötési szilárdsága), az érintkezési felületeik menti kölcsönhatások révén.

A jobb oldali ábrák jellegzetes példákat mutatnak kompozitanyagok felhasználásával készült műszaki alkotásokra (sugarhajtású repülőgép, kiállítócsarnok) és termékekre (mobil telefon ütészálló CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polymer kompozitanyagból, hűtőláda szendvicsszerkezetből).

## 5. Szerkezeti tényező

A belső makroszerkezeti kialakítástól függő anyaghasznosítás **szerkezeti tényező** ( $\psi$ ) segítségével fejezhető ki, amely megadja, hogy alkalmas technológia által kialakított szerkezet (pl. méhsejtszerkezet) miként hasznosítja az anyagot.



A szerkezeti tényezők az alábbi összefüggések alapján számíthatók:

### Szerkezeti tényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

$$\psi_B^e = \frac{S}{S_s} = \frac{EI}{E_s I_s} = \frac{\rho_s}{\rho}$$

(a kialakított belső makroszerkezettel rendelkező anyag:  $S$  [ $\text{Nm}^{-1}$ ] merevsége hajlításnál,  $E$  [Pa] rugalmassági modulusa,  $I$  [ $\text{m}^4$ ] másodrendű nyomatéka,  $\rho$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] sűrűsége; az eredeti belső makroszerkezettel rendelkező (tömör) anyag:  $S_s$  [ $\text{Nm}^{-1}$ ] merevsége hajlításnál,  $E_s$  [Pa] rugalmassági modulusa,  $I_s$  [ $\text{m}^4$ ] másodrendű nyomatéka,  $\rho_s$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] sűrűsége)

### Szerkezeti tényező szilárdságra történő méretezésnél hajlításra

$$\psi_B^f = \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^{1/2}$$

A szerkezeti tényező merevségre történő méretezésnél hajlításra a kialakított belső makroszerkezettel rendelkező anyag merevségének és az eredeti belső makroszerkezettel rendelkező (tömör) anyag merevségének hányadosa.

Tételezzük fel, hogy az eredeti anyag négyzetszelvény alakú rúd  $b_o$  oldalmérettel, tételezzük fel továbbá, hogy megfelelő technológiával pl. méhsejt szerkezetű négyzetszelvényű rúdanyagot készítenek  $b$  oldalmérettel, amelynek tömege megegyezik az eredeti rúddal. A tömegek azonosságából következően írható

$$b = \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^{1/2} b_o$$

$$\text{A méhsejt szerkezetű anyag másodrendű nyomatéka} \quad I = \frac{b^2}{12} = \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^2 b_o^2 = \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^2 I_s$$

$$\text{Mivel a rugalmassági modulusra érvényes} \quad E = \left( \frac{\rho}{\rho_s} \right) E_s$$

$$\text{a szerkezeti tényező} \quad \psi_B^e = \frac{S}{S_s} = \frac{EI}{E_s I_s} = \frac{\rho_s}{\rho}$$

Hasonló gondolatmenettel levezethetők a  $\psi_B^f$ , illetve forgás-szimmetrikus szerkezetekre a  $\psi_T^e$  és  $\psi_T^f$  megadott összefüggései.

**Szerkezeti tényező merevségre történő méretezésnél csavarásra**

(forgásszimmetrikus keresztmetszet esetén)

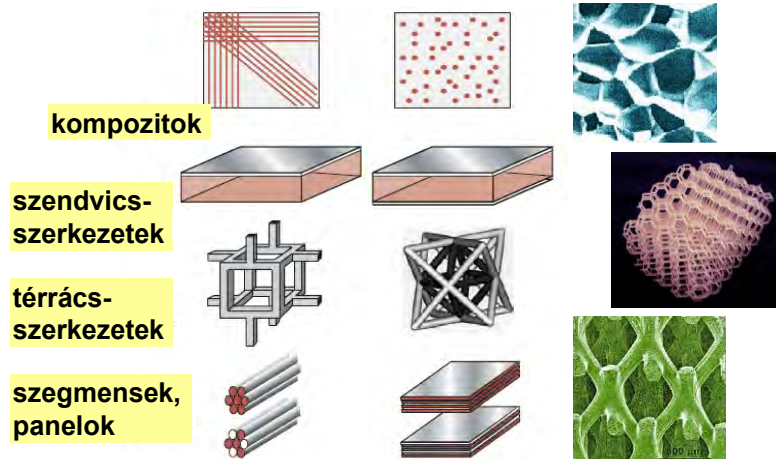
$$\psi_T^e = \frac{\rho_s}{\rho}$$

**Szerkezeti tényező szilárdságra történő méretezésnél csavarásra**

(forgásszimmetrikus keresztmetszet esetén)

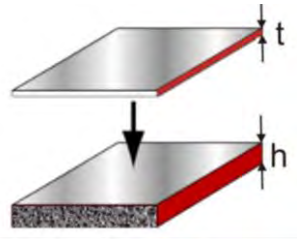
$$\psi_T^f = \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^{1/2}$$

Napjainkban jelentős kutatási területet képvisel a belső struktúrájú, nagy (totális) alaktényezővel rendelkező profilok előállítása, illetve tulajdonságaik vizsgálata.



**3. példa**

Adott egy  $t = 5$  mm vastagságú, egységnyi felülettel rendelkező, alumíniumlemez. Habosítási technológia segítségével előállítottak egy megegyező felületű és azonos tömegű  $h$  vastagságú habpanelt. Mekkora a habpanel vastagsága? Határozzuk meg a habpanel (belső makroszerkezetű anyag) szerkezeti tényezőjének értékét szilárdságra történő méretezésnél hajlításra! Az alumínium sűrűsége  $\rho_s = 2700 \text{ kgm}^{-3}$ , az alumíniumhabé  $\rho = 500 \text{ kgm}^{-3}$ . A habpanel megengedett határfeszültségére érvényes  $\sigma_f = \left(\frac{\rho}{\rho_s}\right)^{3/2} \sigma_{f,s}$  a  $\sigma_{f,s}$  pedig a tömör alumínium megengedett határfeszültsége.

**Megoldás**

A tömegek azonosságából következően a hab-panel vastagsága

$$\rho S h = \rho_s S t \quad S\text{- egységnyi felület}$$

$$h = \frac{\rho_s}{\rho} t = \frac{2700}{500} 0,005 = 0,027 \text{ m} = 27 \text{ mm}$$

A szerkezeti tényezőre érvényes

$$\psi_B^f = \frac{Z \sigma_f}{Z_s \sigma_{f,s}} \quad Z, Z_s\text{- keresztmetszeti tényező hajlításnál}$$

habpanel, illetve lemez esetében

A keresztmetszeti tényezőkre írható

$$Z = \frac{h^2}{6} \quad Z_s = \frac{t^2}{6}$$

A szerkezeti tényező

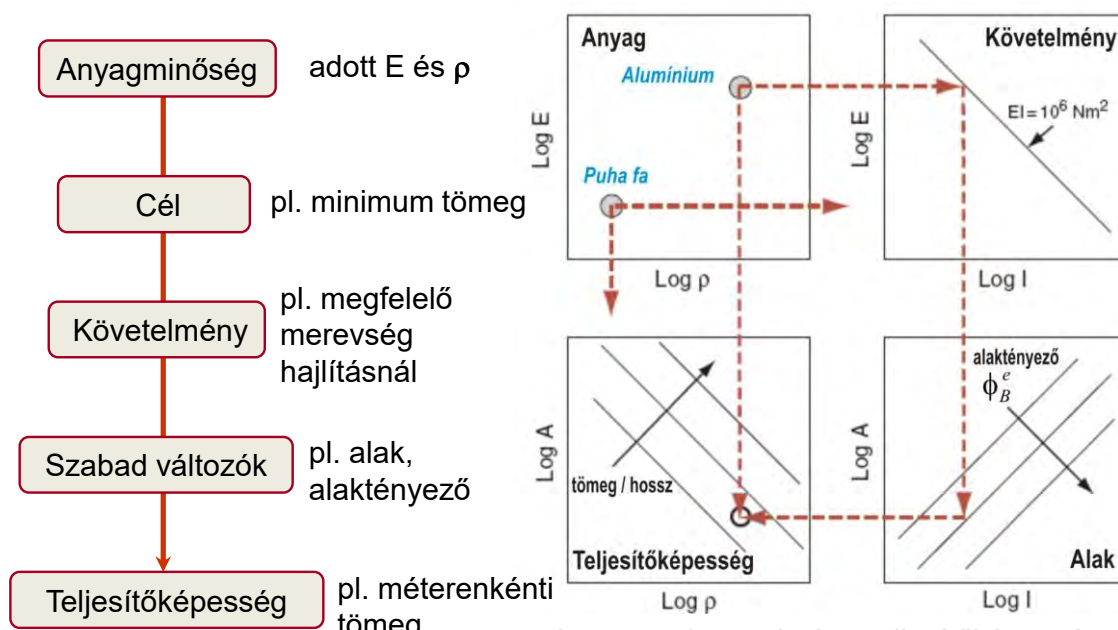
$$\psi_B^f = \frac{\frac{h^2}{6} \left(\frac{\rho}{\rho_s}\right)^{3/2} \sigma_{f,s}}{\frac{t^2}{6} \sigma_{f,s}} = \frac{h^2 \left(\frac{t}{h}\right)^{3/2}}{t^2 \sigma_{f,s}} = \left(\frac{h}{t}\right)^{1/2} = \left(\frac{\rho_s}{\rho}\right)^{1/2}$$

$$\psi_B^f = \left(\frac{\rho_s}{\rho}\right)^{1/2} = \left(\frac{2700}{500}\right)^{1/2} = 2,3$$

A habpanel szerkezeti tényezője

$$\psi_B^f = 2,3$$

## 5. Az anyag kiválasztás és az alaktényezők kapcsolata



*Az anyag-követelmény-teljesítőképesség-alak összefüggésrendszere (merevségre történő méretezésnél hajlításra)*

Anyagkiválasztás esetében gyakran alkalmazott a bal oldalon látható megoldási séma, amely alapján, megfelelő diagramok segítségével grafikus úton is, értékelhetjük az egyes anyagminőségeket.

Az anyag-követelmény-teljesítőképesség-alak összefüggés-rendszer négy egymáshoz kötődő diagramból épül fel. Ez a négy „negyedből” álló diagram (rendszer) lehetőséget ad arra, hogy adott anyagminőségeket (az ábrán  $E$  rugalmassági moduluszal és  $\rho$  sűrűség által behatárolt anyagok) hasonlítsunk össze bizonyos előírt követelmény (pl. számszerűsített merevség) alapján teljesítőképességi index (pl. méterenkénti tömeg) segítségével.

Az ábrában szereplő alumínium teljesítőképességének megítélése a következőképp történik:

- a bal felső diagramból egyenest bocsátunk a merevségi követelményeket tartalmazó (jobb felső) diagram megfelelő egyenesére (példánkban  $EI = 10^6 \text{ Nm}^2$ ), – a kapott pontból függőlegest bocsátunk a keresztmetszet és a másodrendű nyomatékok összefüggését tartalmazó (jobb alsó) diagram alumínium rudak alaktényezőit összegző részére (az anyagkihasználás szempontjából nagyobb alaktényező értéke kedvezőbb!),
- az így meghatározott pontból vízintest rajzolunk a teljesítőképességet ábrázoló (bal alsó) diagramba, amelyet egy függőlegessel bemetszve (esetünkben a vizsgált alumínium sűrűségéből következően) megkapjuk a teljesítőképességi mutatót (méterenkénti tömeg értéke).

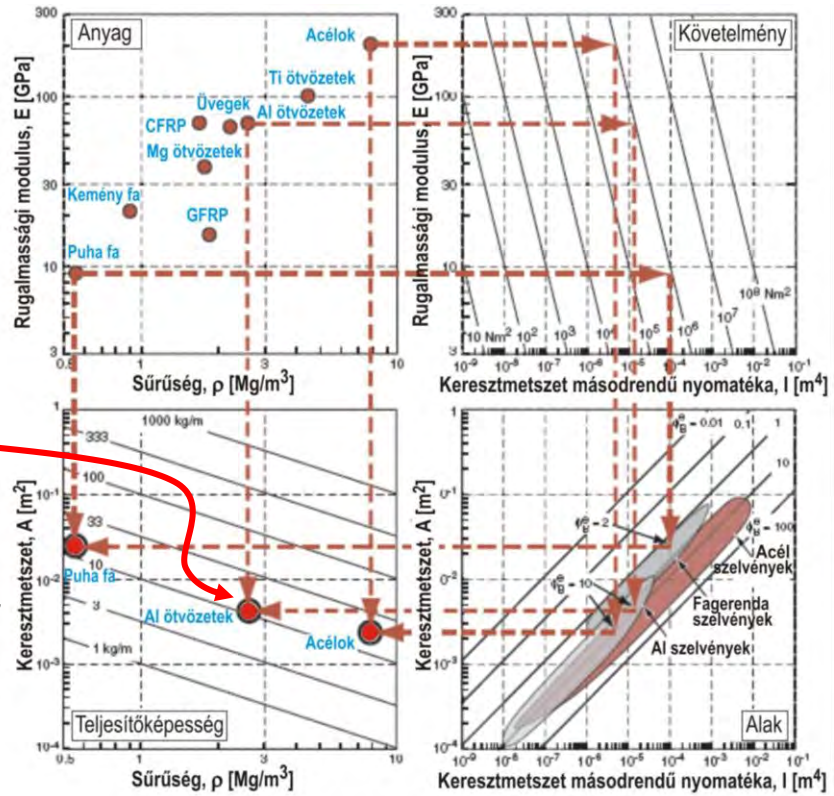
Adott három anyagminőség:

- szerkezeti acél,
- Al-ötvözet,
- puhafa

Cél: minimum tömeg,  
Követelmény: merev-

Melyik a legmegfelelőbb választás?

*Az anyag-követelmény-teljesítőképesség-alak összefüggésrendszere merevségre történő méretezés esetében hajlításnál*

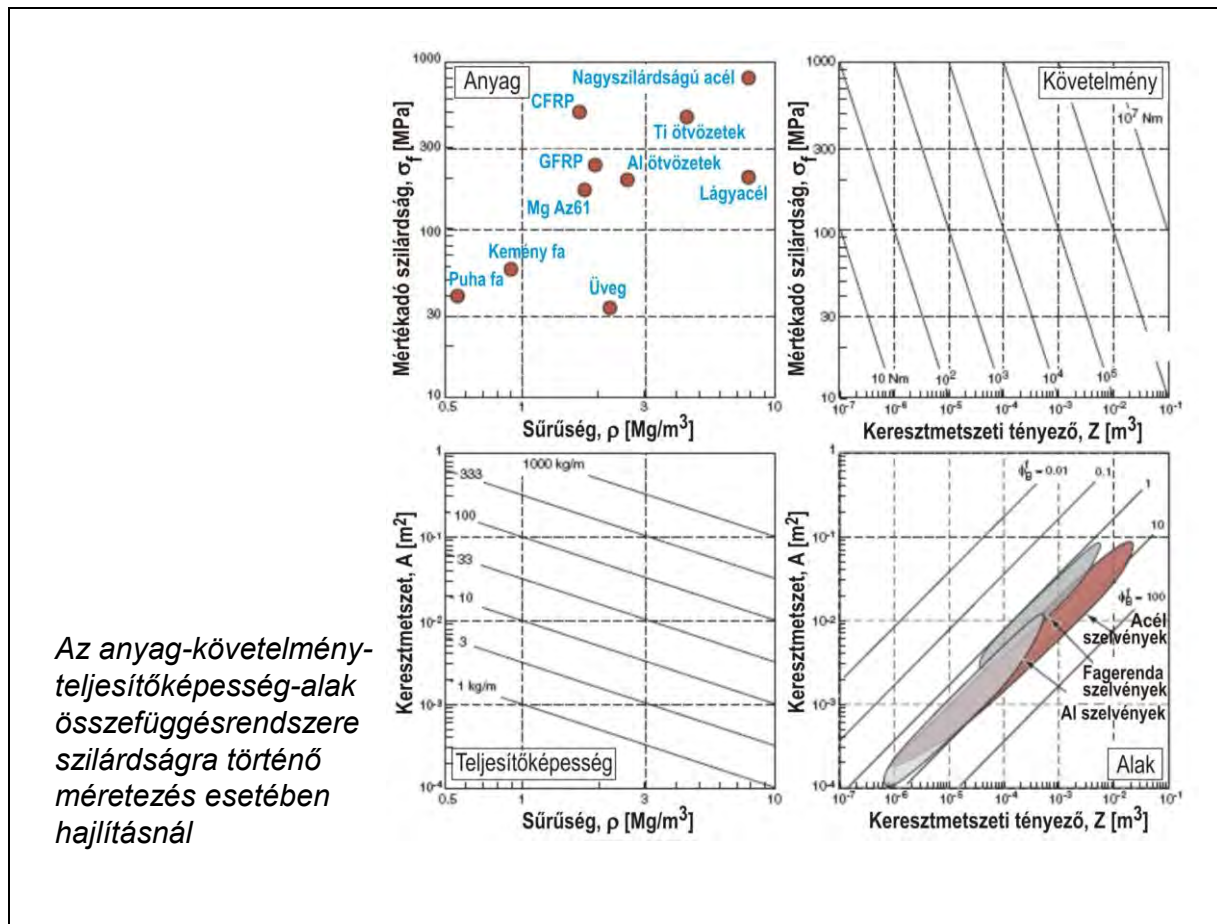


Az ábrázolt diagram(rendszer) három anyagminőség (szerkezeti acél, alumínium-ötvözet, puhafa) esetében mutatja az értékelés módját.

A meghatározott célt és követelményt szem előtt tartva a legjobb teljesítőképességgel az alumínium-ötvözet bír (legalacsonyabb méterenkénti tömeg).

A vázolt megoldás fagerenda esetében  $\phi_B^e = 2$ , acélszelvény és alumíniumszelvény esetében pedig  $\phi_B^e = 10$  egyaránt alaktényezővel számol.





**Anyagválasztás merev, könnyű tartó esetében**

**Funkció** Tartó (pl. I szelvényű)

**Cél** Az  $m$  tömeg minimalizása:  

$$m = AL\rho$$

**Követelmény** A tartó  $S$  merevsége:  $S = \frac{CEI}{L^3}$

az alaktényezőből kifejezett másodrendű nyomaték

$$\phi_B^e = \frac{I}{I_o} = 12 \frac{I}{A^2} \Rightarrow I = \left( \frac{\phi_B^e A^2}{12} \right)$$

**Szabad változók**

- Anyagválaszték
- Keresztmetszet

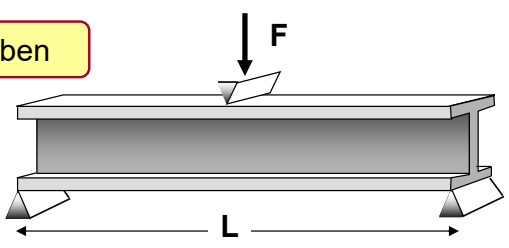
Az  $m$  tömegre érvényes (teljesítőképességi egyenlet):

$$m = \left( \frac{12 S L^5}{C} \right)^{1/2} \left( \frac{\rho}{(\phi_B^e E)^{1/2}} \right)$$

Anyagválasztás a legnagyobb

$$M = \frac{(\phi_B^e E)^{1/2}}{\rho}$$

alapján



m - tömeg  
A - keresztmetszet  
L - hossz  
ρ - sűrűség  
S - merevség  
I - másodrendű nyomaték  
E - rugalmassági modulus  
C - állandó  
M - anyagjellemző

Hajlításra terhelt tartó esetében a merevség a terhelő erő és a lehajlás hányadosaként írható fel

$$S = \frac{F}{\delta}$$

Középen terhelt kéttámaszú tartó legnagyobb lehajlása  $\delta = \frac{FL^3}{48EI}$

a merevségére pedig írható  $S = \frac{48EI}{L^3}$  általánosan tehát  $S = \frac{CEI}{L^3}$

ebből a másodrendű nyomatékot kifejezve kapjuk  $I = \frac{SL^3}{CE}$

Mivel  $\frac{SL^3}{CE} = \frac{\phi_B^e A^2}{12}$  ebből az  $A$  keresztmetszet kifejezhető és így az  $m$  tömegre felírható

$$m = \left( \frac{12 S L^5}{C} \right)^{1/2} \left( \frac{\rho}{(\phi_B^e E)^{1/2}} \right)$$

Anyag	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	E [GPa]	$\phi_{B,\max}^e$	$E^{1/2} / \rho$	$(\phi_{B,\max}^e E)^{1/2} / \rho$
1020 acél	7,85	205	65	1,8	14,7
6061 T4 Al	2,70	70	44	3,1	20,4
GFRP	1,75	28	39	2,9	18,9
Tölgyfa	0,9	13	8	4	11,4

*Anyagválasztás könnyű, merev tartó esetében (4 anyagminőség közül)*

$\phi_B^e = 8$ -ig optimális a tölgyfa alkalmazása

az alaktényezők lehetséges maximális értékét illetően optimális a 6061 T4 Al ötvözet alkalmazása

Méretezés igénybevétel	Merevségre	Szilárdságra
Hajlítás	$M_1 = \frac{(\phi_B^e E)^{1/2}}{\rho}$	$M_3 = \frac{(\phi_B^f \sigma_f)^{2/3}}{\rho}$
Csavarás	$M_2 = \frac{(\phi_T^e E)^{1/2}}{\rho}$	$M_4 = \frac{(\phi_T^f \sigma_f)^{2/3}}{\rho}$

*Alaktényezőket tartalmazó anyagjellemzők (anyagindexek) hajlításra és csavarásra ( $\sigma_f$  – megengedett határfeszültség)*

A felső táblázat négy lehetséges anyagminőséget kínál könnyű, merev tartó anyagaként. Ha az utolsó előtti oszlop adatait tekintjük, akkor állandó alaktényező mellett  $\phi_B^e = 8$  értékig optimális megoldást ad a tölgyfa alkalmazása, mivel ebben az esetben legnagyobb az  $E^{1/2} / \rho$  anyagjellemző értéke. Ha az alaktényezőt változónak tekintjük és az egyes anyagminőségek esetében

a maximumértéket vesszük figyelembe, akkor a  $(\phi_{B,\max}^e E)^{1/2} / \rho$  anyagjellemző

alapján az alumíniumötvözet az optimális választás.

Az alsó táblázat hajlítás és csavarás méretezési eseteire (merevségre, szilárdságra) foglalja össze az alaktényezőket tartalmazó anyagjellemzőket ( $M_1 - M_4$ ), amelyek maximális értéke mellett érhető el optimális anyagválasztás.

**4. példa**

Adott egy hajlításra terhelt kéttámaszú tartó. Merevségre történő méretezésnél melyik anyagminőség lesz a legmegfelelőbb az alábbiak közül: szerkezeti acél ( $\phi_B^e = 20$ ,  $E = 210$  GPa,  $\rho = 7900$  kg/m<sup>3</sup>), CFRP kompozit ( $\phi_B^e = 10$ ,  $E = 70$  GPa,  $\rho = 1600$  kg/m<sup>3</sup>), fa gerenda ( $\phi_B^e = 2$ ,  $E = 9$  GPa,  $\rho = 520$  kg/m<sup>3</sup>), ha a merevségi követelmény  $EI = 10^5$  Nm<sup>2</sup> minimum tömeg mellett? Hasonlítsuk össze az egyes anyagtipusok méterenkénti tömegét ( $m/L$ ) is!

**Megoldás**

Az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet: 
$$m = \left( \frac{12 S L^5}{C} \right)^{1/2} \left( \frac{\rho}{(\phi_B^e E)^{1/2}} \right)$$

az anyagválasztás szempontjából irányadó az  $M_1$  anyagjellemző maximális értéke

$$M_1 = \frac{(\phi_B^e E)^{1/2}}{\rho}$$

Mivel a merevségre érvényes

$$S = \frac{CEI}{L^3}$$

a méterenkénti tömegre írható

$$\frac{m}{L} = (12EI)^{1/2} \frac{\rho}{(\phi_B^e E)^{1/2}}$$

A kiszámított  $M_1$  anyagjellemző és a méterenkénti tömeg értékeit, valamint a példában szereplő anyagminőségek adatait az alábbi táblázat foglalja össze.

Anyag	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E$ (GPa)	$\phi_B^e$	$(\phi_B^e E)^{1/2} / \rho$ (N/m <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> / (kg/m <sup>3</sup> )	$m/L$ (kg/m)
Szerkezeti acél	7900	210	20	259,4	4,22
CFRP kompozit	1600	70	10	522,9	2,1
Fa gerenda	520	9	2	258	4,24

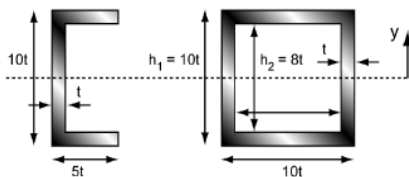
Az  $M_1$  anyagjellemző maximális értéke 522,9, tehát a rendelkezésre álló anyagminőségek közül az adott igénybevételre a CFRP kompozit a legmegfelelőbb megoldás. A méterenkénti tömeg természetesen szintén ennél az anyagnál a legkisebb!

A három anyagminőség közül a CFRP kompozit az optimális választás

## Kérdések és feladatok



- 1) Mit értünk az anyag külső és belső makroszerkezte alatt?
- 2) Mi az alaktényező? Definiálja az egyes alaktényezőket hajlítás és csavarás esetében!
- 3) Határozza meg az ábrán látható U szelvény és zárt (üreges) négyzetszelvény alaktényezőit merevségre, illetve szilárdságra történő méretezés esetében hajlításra!



- 4) Az anyag-követelmény-teljesítőképesség-alak összefüggésrendszer alapján döntse el, hogy szilárdságra történő méretezésnél melyik anyagminőség lesz a legmegfelelőbb: szerkezeti acél ( $\phi_B^f = 10$ ,  $\sigma_f = 200$  MPa,  $\rho = 7900$  kg/m<sup>3</sup>), 6061 alumíniumötvözet ( $\phi_B^f = 3$ ,  $\sigma_f = 200$  MPa,  $\rho = 2700$  kg/m<sup>3</sup>), titánötvözet ( $\phi_B^f = 10$ ,  $\sigma_f = 480$  MPa,  $\rho = 4420$  kg/m<sup>3</sup>), ha a szilárdsági követelmény  $Z\sigma_f = 10^4$  Nm minimum tömeg mellett?
- 5) Mit fejeznek ki az alaktényezőket tartalmazó anyagjellemzők (anyagindexek)?

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol–magyar kifejezések

shape factor – alaktényező

elastic bending – rugalmas hajlítás

twisting – csavarás

square section – négyzetszelvény

stiffness limited design – merevségre történő méretezés

strength limited design – szilárdságra történő méretezés

shape factor for elastic bending – alaktényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

shape factor for elastic twisting – alaktényező merevségre történő méretezésnél csavarásra

minimum mass – minimális tömeg

microscopic shape factor – szerkezeti tényező

material indices – anyagindexek

performance – teljesítőképesség

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Ashby, M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] Ashby, M. F.: New Approaches in Materials and Manufacturing Education, PowerPoint Lecture Units, Granta Design Ltd., Cambridge, 2009.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III. Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003
- [4] Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2004.
- [5] Bagyinszki, Gy., Bitay, E.: Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 5. Az anyagszerkezet és az anyagtulajdonságok közötti összefüggések

Szerző: Szabó Péter János  
[szpj@eik.bme.hu](mailto:szpj@eik.bme.hu)

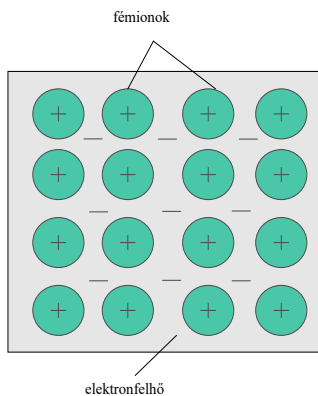


## Tartalom

A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonság.....	170
Egyensúlyi atomtávolság, kötési energia .....	174
Olvadáspont .....	175
Rugalmassági modulusz .....	176
Hőtágulás.....	177

## A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonságok

### • Fémes kötés



- Közös elektronfelhő
- Irányfüggetlen
- Jó elektromos és hővezetés
- Jó alakíthatóság

### A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonság

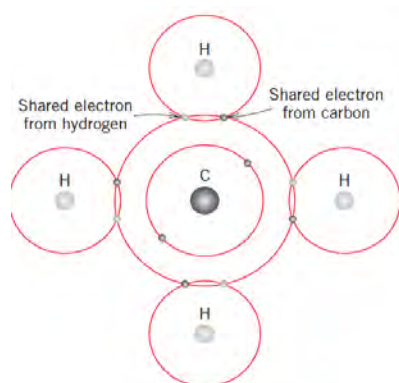
A kis vegyértékű fémes elemek úgy érik el a számukra legkedvezőbb nemesgázszerkezetet, hogy külső elektronjaikat leadják egy közös elektronfelhőbe. Az így létrejövő pozitív töltésű fémionok egymástól egyensúlyi távolságra beállva fémrácsot alkotnak.

A fémes kötés irányfüggetlen, azaz az elektronok, amelyek az ionokat összetartják, nem fix helyeken találhatóak. Ennek eredményeként, ha a fémet deformáljuk, azaz az atomokat arra kényszerítjük, hogy egymáshoz képesti helyzetüket változtassák meg, akkor a kötés ezt követni tudja anélkül, hogy elszakadna, vagyis a fémek jól alakíthatók, és alkalmas technológiákkal megfelelő alakra hozhatók. Ugyanennek a tulajdonságnak köszönhető az is, hogy a fémek jó hővezetők.

A fémionok között lévő, alaphelyzetben véletlenszerű mozgást végző elektronok külső elektromos térerősség hatására könnyen el tudnak mozdulni a térerősségnek megfelelő irányban, emiatt a fémek rendkívül jól vezetik az elektromos áramot (az összes kötés közül a legjobban).

## A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonságok

### • Kovalens kötés



- Közös külső elektronok
- Irányított kötés
- Rossz elektromos és hővezetés
- Rossz alakíthatóság

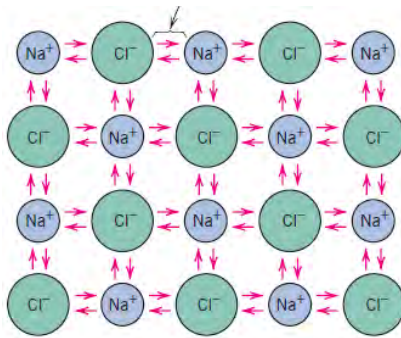
A kovalens kötésben részt vevő atomok megosztoznak külső héjon lévő elektronjaikon, így alakítva ki a nemesgázszerkezetet. Például a szénatom, amelynek legkülső elektronhéján négy elektron található, négy hidrogénatommal lép kötésbe, így a legkülső elektronhéján a saját négy elektronja mellett négy, a hidrogénnel közösen „használt” elektron is lesz. A hidrogéneknek a szén elektronjai egészítik ki a legkülső héjait. Az így kialakult molekula a  $\text{CH}_4$  képlettel leírható metán.

A fenti elrendezés miatt a kovalens kötés irányított kötés, hiszen az elektronmegosztás két meghatározott atom között jön létre, így az atomok egymáshoz képesti helyzete állandó.

A kovalens kötés a legerősebb elsőrendű kötés, ám az ilyen kötéssel rendelkező anyagok mechanikai tulajdonságai tág határok közt változnak. A gyémánt például nagyon kemény, és nagyon magas az olvadáspontja, a bizmut ugyanakkor sokkal gyengébb anyag, lényegesen alacsonyabb olvadásponttal. A kovalens kötésben lévő atomok nem tudnak a helyükről nagyobb mértékben elmozdulni anélkül, hogy a kötés fel ne szakadna, így ezek az anyagok nem, vagy csak nagyon kis mértékben alakíthatók. A kötésben részt vevő elektronok helyhez kötöttsége miatt az elektromos vezetőképességük is gyenge.

## A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonságok

### • Ionos kötés



- Anionok és kationok
- Coulomb-vonzás
- Rossz elektromos és hővezetés
- Rossz alakíthatóság
- Magas olvadáspont

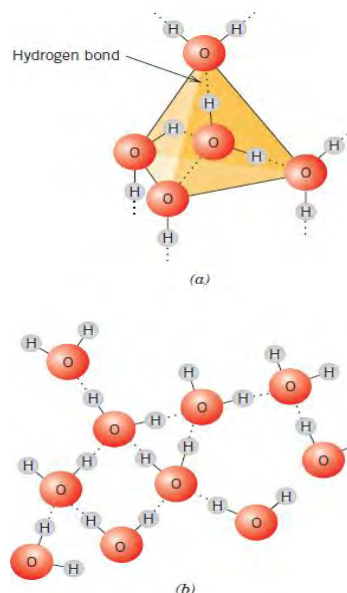
Ionos kötés jön létre két atom között akkor, ha az egyiknek sok, a másiknak kevés elektronja van a legkülső héján. Ebben az esetben az egyik atom átadja a kevés külső elektronját a másik atomnak, és így mindkét atom nemesgáz-szerkezetű lesz. Az az atom, amelyik leadta az elektronját vagy elektronjait, pozitív töltésű *kation* lesz, míg amelyik felvette ezeket az elektronokat, negatív töltésű *anionná* válik. Az ionos kötést a köztük kialakuló Coulomb-erő (ellentétes töltések között kialakuló vonzóerő) hozza létre. Az ionok közötti vonzás következtében a térben egy háromdimenziós ionrács alakul ki.

Az ionos kötés erős kötés, felszakításához jelentős energiát kell befektetni, emiatt az ilyen anyagok olvadáspontja általában magas. Ha külső erő hatására az ionok elmozdulnak a helyükről, akkor a töltésegyensúly felborul, emiatt (valamint a nagy kötési energia miatt) az ionos kötéssel rendelkező anyagok általában ridegek, nehezen alakíthatók.

Elektromos télerősség hatására az elektronok nem, csak teljes ionok, mint töltött részecskék tudnak elmozdulni, de ez a mozgás lassú, nehézkes, emiatt az ionos kötésű anyagok rossz elektromos vezetők.

## A különböző kémiai kötések által okozott jellegzetes tulajdonságok

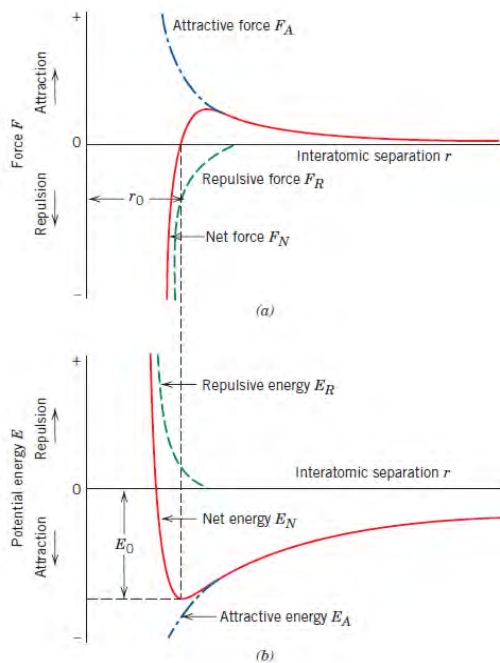
- Másodrendű kötések
  - Van der Waals-kötés
  - Hidrogénkötés



Másodrendű kötések lépnek fel akkor, ha két polarizált molekula közel kerül egymáshoz. A polarizált molekulákban a pozitív és negatív töltés középpontja elkülönül a térben, így a molekulának lesz egy pozitív és egy negatív része. Amikor az egyik ilyen molekula a pozitív felével közel kerül egy másik molekula negatív feléhez, elektrosztatikus vonzás jön létre. Az ilyen kötést van der Waals-kötésnek hívjuk. Ha az egyik molekula pozitív vége egy hidrogénion, akkor a kialakuló kötést hidrogénkötésnek vagy hidrogénhídnak is nevezzük.

A hidrogénkötés felelős a víz egy speciális tulajdonságáért. A víz, ellentétben a többi anyaggal, megfagyásakor kitágul, azaz csökken a sűrűsége (legnagyobb sűrűségét 4 °C-on éri el). Ennek az az oka, hogy fagyáskor a vízmolekulák között hidrogénhidak jönnek létre, melyek hossza nagyobb, mint a vízmolekulában a hidrogén és az oxigén közötti távolság. A hidrogénhidak következtében a jégben a vízmolekulák egy rossz térkihasználtságú tetraéderes szerkezetbe dermednek, és így az anyag térfogata megnő. A jég kisebb sűrűsége okozza azt, hogy a jég úszni képes a víz felszínén.

## Egyensúlyi atomtávolság, kötési energia

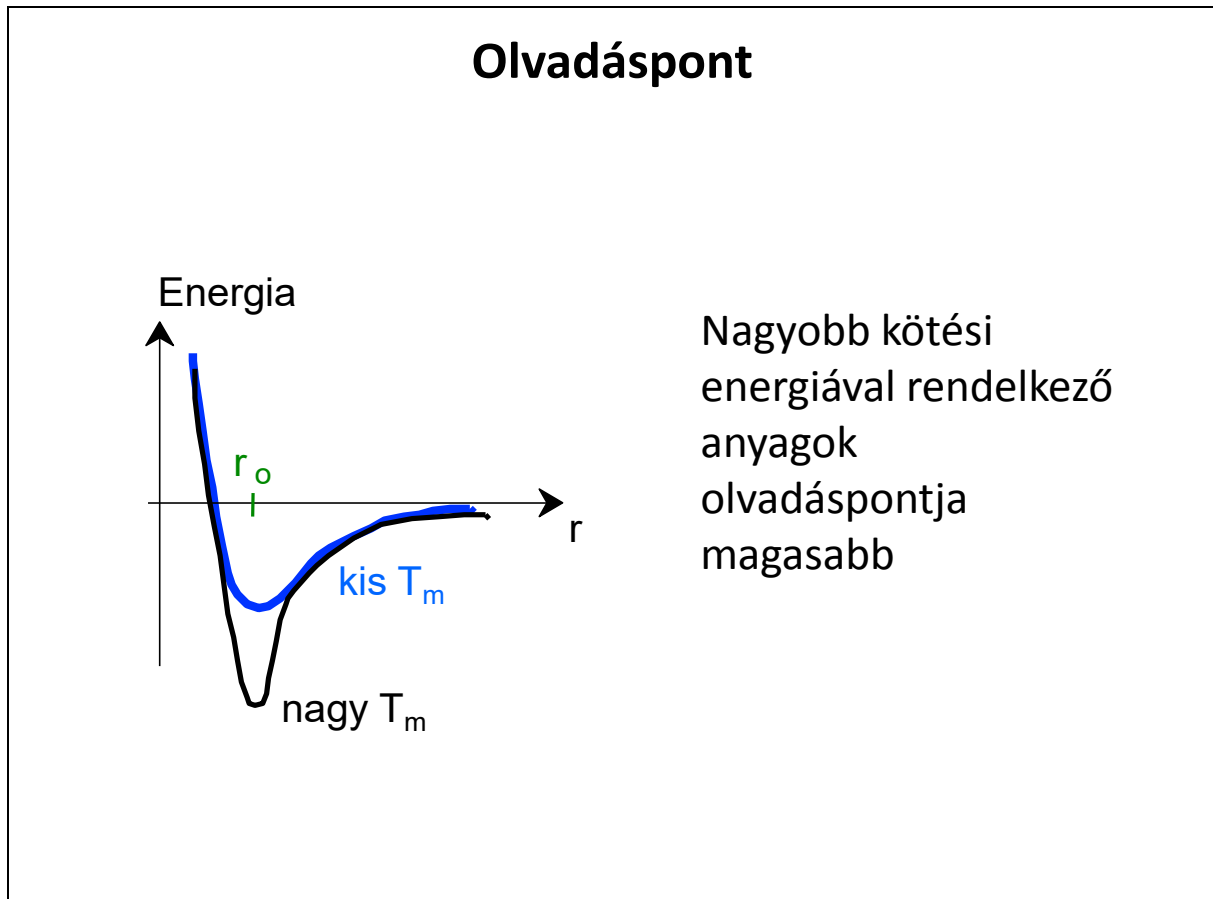


- Az atomok közötti vonzó- és taszítóerők egyensúlya
- Egyensúlyi távolságnál energia-minimum

### Egyensúlyi atomtávolság, kötési energia

A különböző kémiai kötésben lévő atomok között meghatározott távolság, az ún. atomtávolság van. Ezt a távolságot az atomok (vagy ionok) között fellépő vonzó és taszító erők egyensúlya határozza meg. Vonzó erő lép fel az egyik atom elektronjai és a másik atom atommagja között, míg taszítóerő figyelhető meg a két atom atommagja és elektronjai között (az azonos töltések taszítják, a különbözők vonzzák egymást). Az ábra felső részén láthatjuk e két erő függését a két atom közötti távolságtól. Ahol ez a két erő egyensúlyban van, vagyis az atomok között fellépő eredő erő nulla, az lesz az atomtávolság.

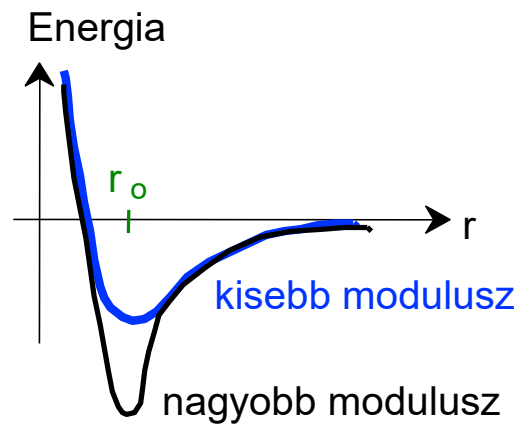
Ugyanennél a távolságnál az atomok között fellépő vonzó és taszító potenciális energia eredőjének minimuma van (lásd az ábra alsó részét). Ezt az  $E_0$  energiát kötési energiának nevezzük, mert ekkora energiára lenne szükség a két atom egymástól való eltávolításához, vagyis a kötés felszakításához.



### Olvadáspont

Egy szilárd anyag megolvadásakor a kémiai kötések felszakadnak. Az ehhez szükséges energiát hőbevitellel közöljük. Minél nagyobb energia szükséges a kötések felszakításához, annál nagyobb hőmérsékletre van szükség. Ezért a nagyobb kötési energiával rendelkező anyagok olvadáspontja magasabb. Emlékeztetőül: a kötési energia az egyensúlyi atomtávolságnál mérhető energia.

## Rugalmassági modulusz



### Rugalmassági modulusz

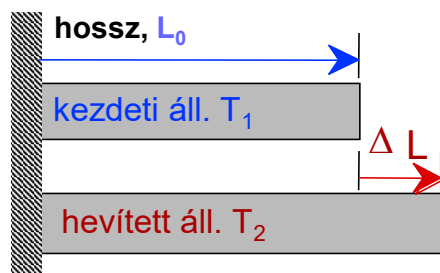
Az anyagok rugalmas tulajdonságainak leírására szolgál a Hooke-törvény. Ha egy  $S_0$  keresztmetszetű rudat, melynek kiindulási hossza  $L_0$ , megnyújtunk egy  $F$  erő segítségével úgy, hogy a hossza  $\Delta L$  mértékben változik meg rugalmasan (azaz a terhelés megszűntekor a rúd visszanyeri eredeti hosszát), akkor a következő egyenletet írhatjuk fel:

$$F/S_0 = E \Delta L/L_0$$

Az egyenletben szereplő  $E$  arányossági tényezőt rugalmassági modulusznak nevezzük. Azt mutatja meg, hogy adott mértékű rugalmas alakváltozáshoz mekkora erőre van szükség. Minél nagyobb tehát az erőgörbe (és így az energiagörbe) meredeksége az egyensúlyi atomtávolság közvetlen közelében, annál nagyobb lesz a rugalmassági modulusz.



## Hőtágulás



$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha (T_2 - T_1)$$

### Hőtágulás

Ha egy szilárd anyag hőmérsékletét megnöveljük, akkor azt tapasztaljuk, hogy a térfogata is növekszik. Ezt a jelenséget nevezzük hőtágulásnak. Ha például egy négyzet keresztmetszetű rúd hossza  $T_1$  hőmérsékleten  $L_0$ , akkor hevítés során, egy  $T_2 > T_1$  hőmérsékleten a hossza  $L_0 + \Delta L$  lesz.

Ebben az esetben a hőmérséklet-változás és a hosszváltozás közötti összefüggést a következő egyenlet határozza meg:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha (T_2 - T_1)$$

Az egyenletben szereplő a mennyiséget lineáris hőtágulási együtthatónak hívjuk. Egyszerűen fogalmazva azt mutatja meg, hogy 1 K hőmérséklet-változás hatására mennyit változik a rúd hossza (vegyük észre, hogy ez most egy egyszerűsített modell, hiszen valójában az anyag mérete mindhárom dimenzióban változik).

A térfogat növekedése a hőmérséklet-növekedés hatására abból adódik, hogy a kristályrácsban lévő atomtörzsek rezgési amplitúdója megnövekszik, és így a rezgés középpontjának a helyzete megváltozik. Ez azt jelenti, hogy az atomtávolság értéke megnövekszik, vagyis a szilárdtest térfogata megnő. Ez a térfogatnövekedés fordítottan arányos a kötési energiával.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 6. Mechanikai és termikus tulajdonságok definiálása és számszerűsítése

Szerző: Szabó Péter János  
[szpj@eik.bme.hu](mailto:szpj@eik.bme.hu)

## Tartalom

Mechanikai tulajdonságok .....	180
Keménységmérés .....	187
Termikus tulajdonságok .....	193

## Mechanikai tulajdonságok

- *A feszültség*

Húzófeszültség:

$$\sigma = \frac{F}{A_{\perp}}$$

Nyírófeszültség:

$$\tau = \frac{F}{A_{\parallel}}$$

### Mechanikai tulajdonságok

A mechanikai feszültség az anyag valamely pontjában ható felületegységre eső erő. Az erő iránya és a felületegység normálisa tetszőleges szöget bezárhat egymással. A felületegységen ható erő mindig leírható két alapk komponens eredőjeként. Az egyik alapk komponens az az eset, amikor az erő iránya merőleges a felületre. Ezt húzófeszültségnek hívjuk. A másik alapk komponens esetén az erő iránya párhuzamos a felülettel, ez a nyírófeszültség.

Noha minden feszültség a test belsejében ébred, mégis megkülönböztetünk belső és külső feszültségeket. A külső feszültségek valamilyen külső erőhatás révén jönnek létre, a továbbiakban ezeket egyszerűen feszültségeknek fogjuk nevezni. A belső feszültségek testen belüli erőhatások következményei, például amikor egy polikristályos anyag szemcséi a különböző irányokban eltérő hőtágulási együtthatóval rendelkeznek, akkor lehűléskor a szemcsék között belső feszültségek jönnek létre. A belső feszültségek nehezen mérhetők, bár szerepük rendkívül fontos a szilárd testek tulajdonságainak kialakulásában. A továbbiakban csak a külső feszültségekkel foglalkozunk.

## Mechanikai tulajdonságok

- **Az alakváltozás**

- Rugalmas:

- Van térfogatváltozás
- A terhelőerő megszűnések or megszűnik az alakváltozás is

- Képlékeny:

- Nincs térfogatváltozás
- A terhelőerő megszűnések or maradó alakváltozás

A feszültségek hatására a testek alakja és méretei megváltoznak, attól függően, hogy milyen az anyag és mekkora feszültségek ébrednek bennük. Az alakváltozás nagysága a test méreteitől is függ. Ugyanakkora terhelőfeszültség hatására az azonos anyagú, de nagyobb test méretváltozása természetesen nagyobb, mint a kisebbé. Hogy az alakváltozási jellemzők függetlenek legyenek a test nagyságától, az alakváltozási mérőszámokat a hosszegységre vagy a felületegységre vonatkoztatjuk, mert így az alakváltozás mérőszámai függetlenek a vizsgált darab méreteitől, és azonos terhelés hatására azonos értékűeknek adódnak. (Ez az oka annak is, hogy a terhelést feszültségekkel definiáljuk, és nem az erők nagyságával számolunk akkor, ha a mechanikai tulajdonságokról van szó.)

Az alakváltozás során a test térfogata vagy megváltozik, vagy nem. Azt az alakváltozást, ahol a térfogat megváltozik, *rugalmas alakváltozásnak* nevezzük. Ilyenkor az alakváltozás a testet alkotó atomok kismértékű elmozdulása miatt jön létre (az atomok közti távolságok megváltoznak: a terhelés irányában megnőnek, arra merőlegesen csökkennek), és megszűnik, ha a testre ható erő nullára csökken. Ha az alakváltozás során a térfogat állandó marad, *képlékeny alakváltozásról* beszélünk. Ilyenkor az erő hatására az atomok közti kötések megnyúlása mellett a szilárd testet alkotó kristályrács síkjai is elcsúsznak egymáson. Ha az erőt megszüntetjük, a kötések visszatérnek eredeti hosszukhoz, de az elcsúszás a rácssíkok között megmarad, ezért a képlékeny alakváltozás maradó hatású.

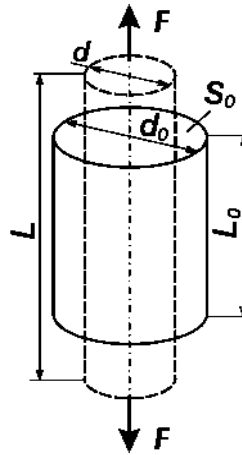
## Képlékeny alakváltozás

Mérenöki:  $d\varepsilon = \frac{dL}{L_0}$

$$\varepsilon = \int_0^{\varepsilon} d\varepsilon = \frac{1}{L_0} \int_{L_0}^L dL = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

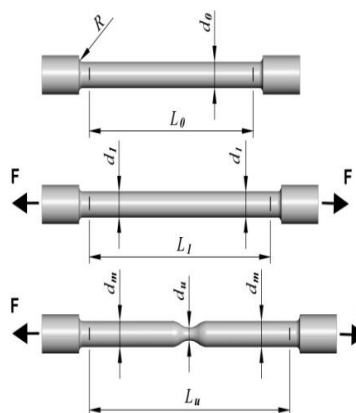
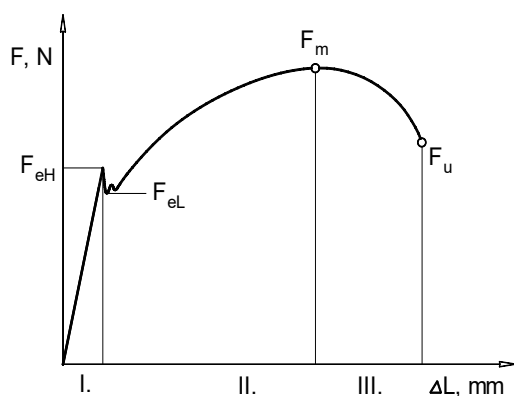
Valódi:  $d\varphi = \frac{dL}{L}$

$$\varphi = \int_0^{\varphi} d\varphi = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$



Ha az alakváltozás definiálásakor a hosszváltozást a próbatest kezdeti hosszával osztjuk, akkor mérnöki nyúlásról beszélünk. Ha a hosszváltozást a próbatest pillanatnyi hosszával osztjuk, akkor valódi nyúlásról van szó.

## Szakítóvizsgálat



- I. rugalmas alakváltozás szakasza
- II. képlékeny alakváltozás szakasza
- III. kontrakció szakasza

A mechanikai tulajdonságok jelentős részét szakítóvizsgálattal határozhatjuk meg. Ennek során egy megfelelően kialakított berendezéssel a (lehetőleg szabványos) szakító próbatestet addig húzzuk állandó sebességgel, amíg az el nem szakad. A próbatest geometriája többféle is lehet, leggyakrabban a megfogófejjel ellátott hengeres alakot használják, ahol a henger aktív hossza legalább tízszerese az átmérőjének. A szakítóvizsgálat során a húzóerő nagyságát mérjük a próbatest megnyúlásának függvényében.

## Rugalmas szakasz

Hooke-törvény:  $\sigma = \varepsilon \cdot E$

$E$  = rugalmassági (Young-) modulusz

A rugalmas szakasz alatt a feszültség és az alakváltozás között a Hooke-törvény teremt kapcsolatot, amelyben  $E$  (a szakítógörbe lineáris szakaszának meredeksége) az ún. *rugalmassági modulusz* vagy *Young-modulusz*. Ennek értéke egy adott anyagra hőmérséklettől függő érték.



## Szabványos mérőszámok

### Szilárdsági mérőszámok

#### Folyáshatár [MPa]

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0}$$

#### Szakítószilárdság [MPa]

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

### Alakváltozási mérőszámok

#### Kontrakció

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} 100 \text{ [%]}$$

#### Szakadási nyúlás

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100 \text{ [%]}$$

A rugalmas szakasz végén megindul a képlékeny alakváltozás, a görbe alakja eltér az egyenestől. A képlékeny alakváltozást előidéző feszültség a *folyáshatár*. A legtöbb esetben a képlékeny alakváltozás nem egy meghatározott erőnél következik be. A folyás megindulásakor mért legnagyobb ( $F_{eH}$ ) és legkisebb ( $F_{eL}$ ) erőből származtatható az ún. *felső* és *alsó* folyáshatár,  $S_0$  a próbatest kezdeti keresztmetszete.

Sokszor a szakítódigramon nem látszik egyértelműen a rugalmas szakasz vége és a képlékeny szakasz kezdete. Ilyenkor az ún. egyezményes folyáshatár meghatározására van lehetőség. A terhelt állapotban mért  $R_p$  egyezményes folyáshatár az a feszültség, melyhez terhelt állapotban  $p$  % maradó alakváltozás tartozik. Az  $R_p$  meghatározásához a szakítódigram nyúlástengelyén a  $p$  pontból a szakítógörbe kezdeti meredekségével párhuzamost kell húzni. Ez kimetszi a szakítógörbén az  $R_p$  terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatárt, ill. az annak számításához szükséges, és a  $p$  maradó nyúláshoz tartozó  $F_p$  erőt. Ezt az eredeti  $S_0$  keresztmetszettel osztva adódik az  $R_p$  egyezményes folyáshatár értéke.

Ugyancsak a szakítódigramról olvasható le az a maximális erő, amely a próbatest elszakításához kell ( $F_m$ ). Ennek az erőnek és a próbatest eredeti keresztmetszetének a hányadosa a *szakítószilárdság*. A próbatest szakadásakor mérhető erő ( $F_u$ ) és a töréskor mérhető legkisebb keresztmetszet ( $S_u$ ) hányadosa a *törési* vagy *szakadási szilárdság*. Ez az egyetlen valódi feszültség jellegű érték, amit a szakítódigramból határozunk meg (a többi mérnöki jellegű feszültség).

A feszültség jellegű mérőszámok mellett alakváltozási paraméterek is meghatározhatók a szakítódigramból. A szakadáskor mérhető ( $S_u$ ) és a kiindulási keresztmetszet ( $S_0$ ) viszonyát a *Z kontrakció* határozza meg, *A pedig* a szakadásnál mérhető teljes maradó nyúlás.

## Törésig felhasznált energia

MéRNÖKI rendszer:

$$W_c = \int_{L_0}^L \frac{F}{S_0} \frac{dL}{L_0} = \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon$$

Valódi rendszer:

$$W_c' = \int_{L_0}^L \frac{F}{S} \frac{dL}{L} = \int_0^\varphi \sigma' d\varphi$$

A szakítóvizsgálat során a próbatest elszakításához természetesen energiára van szükség. A törésig felhasznált energia a szakítógörbe alatti terület lesz arányos. Ezt a mennyiséget *fajlagos törési munkának* hívjuk.

## Keménységmérés

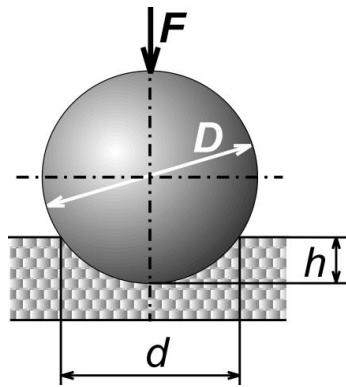
- **A (statikus) keménység fogalma:**
  - A vizsgált anyag ellenállása az adott geometriájú szúrószerszám behatolásával szemben.
- **A keménység kapcsolata más tulajdonságokkal:**
  - Keménységi adatokból becsülhetők a szilárdsági és technológiai tulajdonságok.
- **A keménységmérés kivitelezése:**
  - Alakváltozás létrehozásával
  - Fizikai hatások alkalmazásával

### Keménységmérés

A szilárd testek mechanikai tulajdonságainak egy részét keménységméréssel határozhatjuk meg. A módszer előnye a könnyű kivitelezhetőség, az egyszerűbb és (a szakítóberendezésekhez képest) olcsóbb berendezések alkalmazhatósága. Fontos tudni, hogy a keménységmérés elsősorban felületi, illetve felület közeli tulajdonságok mérésére alkalmas, így eredményeiről a tömbi anyagra érvényes következtetéseket csak akkor lehet levonni, ha az anyag homogénnek tekinthető. Ezzel a feltételezéssel együtt is azonban tisztában kell lenni azzal, hogy a keménységmérés alapján becsléssel számolt folyáshatár vagy szakítószilárdság sohasem fogadható el olyan biztonsággal, mint a szakítóvizsgálattal meghatározott értékek.

A keménységmérés lényege az, hogy egy edzett acélból, keményfémből vagy gyémántból készült, pontosan meghatározott geometriájú mérőszerszámot (behatolótestet) a mérendő anyag felületére merőlegesen ható terheléssel kell a felületbe nyomni, (az esetek többségében) előírt nagyságú erővel, mely ennek hatására nyomot hagy az anyagban. A szerszám által okozott lenyomat nagysága vagy mélysége és a terhelés mértéke alapján a keménységi mérőszámok táblázatokból, illetve a vizsgálóberendezés segítségével meghatározhatók. A keménységi mérőszámok lehetővé teszik, hogy összehasonlítással vagy becsléssel következtessünk az anyag szilárdságára.

## Brinell-keménység



acélgolyó

$$HB = \frac{F}{D\pi h}$$

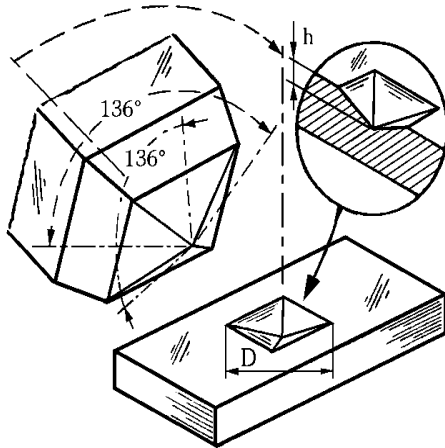
$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Az egyik legáltalánosabban elterjedt keménységmérő eljárás a Brinell-keménységmérés. A mérés elvégzésekor egy edzett acélból vagy keményfémből készített golyót kell  $F$  erővel a próbatest gondosan előkészített és síknak tekintett felületére nyomni. A mérőszerszám okozta lenyomatról feltételezzük, hogy az egy deformálatlan golyó okozta olyan gömbsüveg, melynek átmérője azonos a mérőszerszámmal. A Brinell-keménységmérés mérőszáma az  $F$  erőnek és a lenyomat felületének a hányadosa.  $D$  a golyóátmérő,  $d$  a lenyomatátmérő,  $h$  pedig a gömbsüveg magassága.

A Brinell-keménység átlagos értéket ad meg, homogén minták jellemzésére alkalmas. Elsősorban öntöttvasak, színes- és könnyűfémek, lágyacélok vizsgálatára ajánlott.

## Vickers-keménység



$$S = \frac{D^2}{1,8544}$$

$$HV = 18,192 \frac{F}{D_{\text{átl}}^2}$$

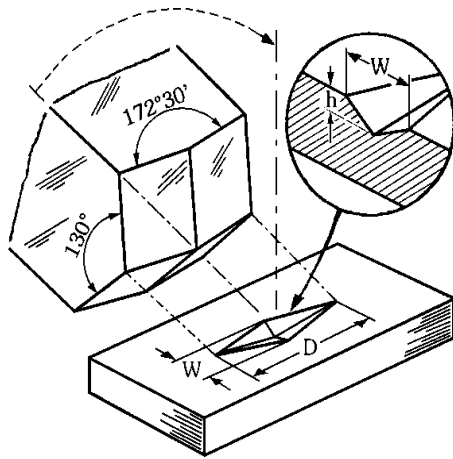
136 -os gyémántgúla

A Vickers-keménységmérés abban hasonlít a Brinell-eljáráshoz, hogy szintén a terhelőerőnek és a lenyomat felületének a hányadosát használják mérőszámként, azonban a Vickers-eljárás mérőszerszáma (behatolótestje) négyzet alapú egyenes gúla, melynek lapjai 136°-os szöget zárnak be egymással. A mérőgúla anyaga gyémánt. Ezzel a módszerrel csökken az a bizonytalanság, ami a golyólenyomat átmérőjének a mérési pontatlanságából ered, de az is, hogy az edzett szerszámból vagy keményfém-ből készített golyó nagy terheléseknél maga is deformálódik.

A gyakorlatban a lenyomat két átlója nem egyezik meg, ezért mindkét átlót le szokták mérni, és a továbbiakban a kettő átlagával számolnak.

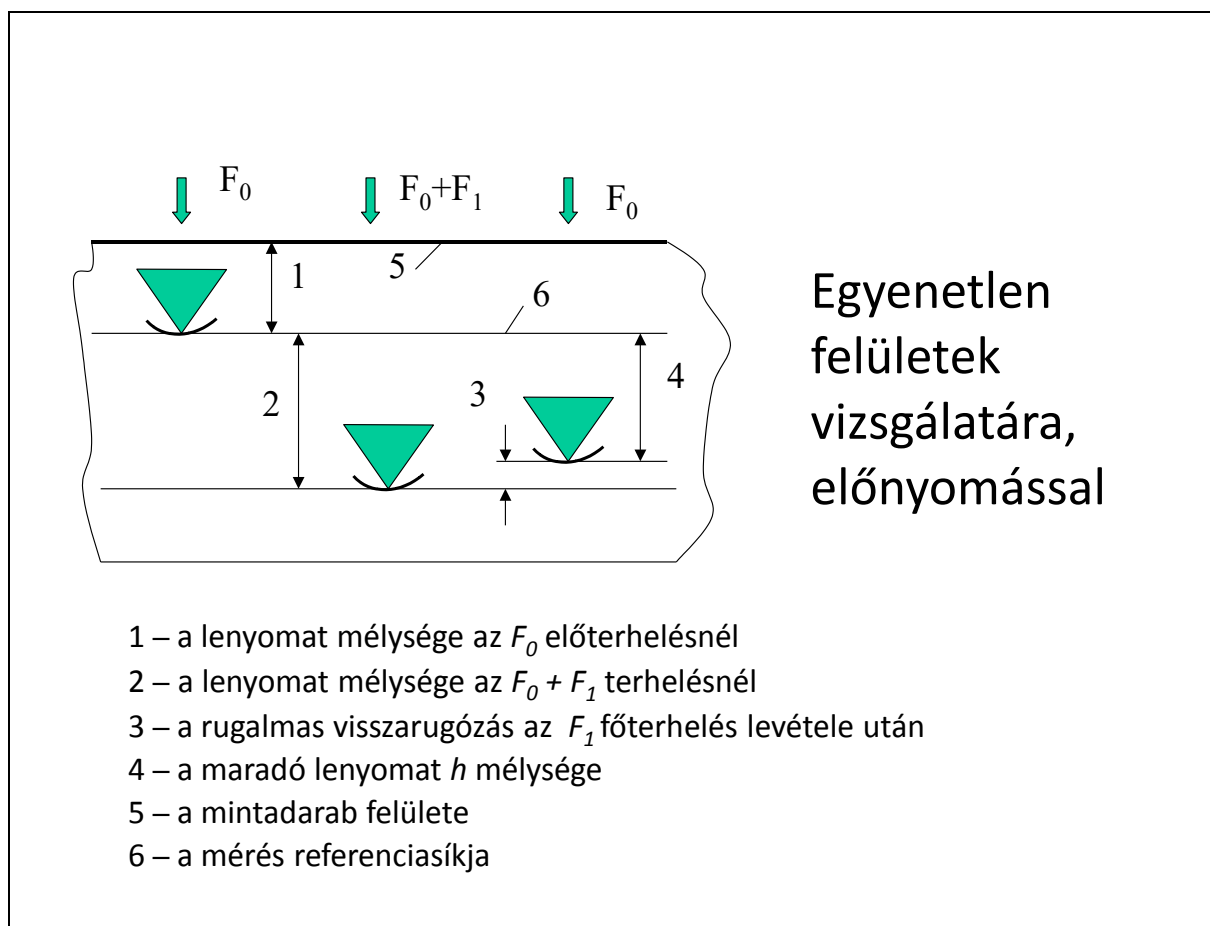
A Vickers-féle gyémántgúla mérőszerszám minden anyag mérésére alkalmas, beleértve az olyan kemény szerszámanyagokat is, mint a keményfémek vagy az edzett szerszámanyagok, de természetesen a lágy anyagok is jól mérhetők, mint az alumínium vagy az ólom. A Vickers-féle eljárással nagyon kis méretű objektumok (szemcsék, zárványok, második fázisok stb.) keménysége is mérhető, ha a terhelőerő nem nagyobb, mint 1000 g. Ebben az esetben mikrokeménység-mérésről beszélünk.

## Knoop-keménység



$$HK = \frac{14,229 \cdot F}{D^2}$$

A maximális terhelés 9,807 N. A gúla élei páronként 130°-kal, ill. 172,5°-kal hajlanak egymáshoz. Ennek megfelelően a lenyomat vetülete egy olyan rombusz, melynek hosszabbik átlója 7,11-szer nagyobb, mint a rövidebbé, a lenyomat mélysége pedig annak 1/28-ad része. A méréskor rendszerint csak a hosszabb átlót mérik, feltételezve, hogy a lenyomatnak a tengelye merőleges a mért anyag felületére. Az  $F$  erőt [N]-ban, a lenyomat átlóját [mm]-ben kell megadni.



Az eddigi módszerek mindegyikénél fontos volt az, hogy a vizsgált minta felülete egyenletes, tiszta, és a behatolószerszámra merőleges legyen, ellenkező esetben a mérések pontatlanok lesznek. A *Rockwell-keménység(ek)* megoldást kínálnak erre a problémára egyrészt azzal, hogy a keménységmérés két lépcsőben történik, másrészt azzal, hogy csak a lenyomat mélységét veszik számba. A két lépcsős mérésnek az az előnye, hogy az első, 98,1 N nagyságú előterhelés kiküszöböli az egyenetlenségeket, ugyanis a főterhelés benyomódását az előterhelés utáni felület szintjéhez mérik

## Rockwell-keménység

Szerszám:

- gyémántkúp (HRA, HRC)
- acélgolyó (HRB)

Mérőszám:

HRA=100-h/0,002

HRB=130-h/0,002

HRC=100-h/0,002

A Rockwell-keménység-mérés szerszáma lehet gyémántkúp (HRA és HRC) vagy acélgolyó (HRB). A keménységi mérőszám betűjelében a HR utal arra, hogy Rockwell-mérésről van szó, az utána következő betű a szerszám alakjára illetve az alkalmazott főterhelésre utal. Az említett mérőszámok meghatározása a következőképpen történik:

HRA=100-h/0,002 (a főterhelés 588,4N)

HRB=130-h/0,002 (a főterhelés 980,7N)

HRC=100-h/0,002 (a főterhelés 1471 N)

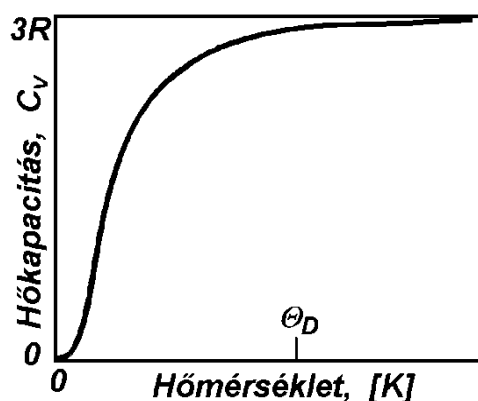
ahol  $h$  a fő- és az előterhelés közötti mélységkülönbséget jelenti (mm-ben megadva). A Rockwell-keménység mérése a legjobban elterjedt keménységmérési módszer, mert nem igényel felület-előkészítést, és mivel csak a lenyomat mélységét kell mérni, a berendezés skálázható, és az eredmény közvetlenül leolvasható.



## Termikus tulajdonságok

Hőkapacitás, fajhő

$$C = \frac{dQ}{dT}$$



### Termikus tulajdonságok

Hőkapacitás ( $C$ ) alatt azt az energiamennyiséget értjük, ami ahhoz kell, hogy az anyag hőmérsékletét 1 K-nel megemeljük. A képletben  $Q$  a hőenergia,  $T$  a hőmérséklet. A hőkapacitást rendszerint mólnyi mennyiségre adják meg, általában  $\text{J/mol}\cdot\text{K}$ -ben. A fajhő az egységnyi tömegre vett hőkapacitás, általában  $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ -ben. Valójában a hőátadás környezeti feltételeitől függően két lehetőség van ennek a jellemzőnek a mérésére. Egyik a hőkapacitás vagy fajhő állandó próbatesttérfogatra ( $C_V$ ), a másik állandó külső nyomás esetén ( $C_p$ ) történő meghatározása. A  $C_p$  mindig nagyobb, mint  $C_V$ ; azonban ez a különbség a legtöbb szilárd anyagnál kis hőmérsékleten és szobahőmérséklet körül nagyon kicsi, többnyire elhanyagolható.

A hőkapacitás hőmérsékletfüggését mutatja az ábra. Megfigyelhető, hogy a görbe 0 K-ről indul, gyorsan növekvő tendenciát mutat, majd az ún. Debye-hőmérséklet felett (ami anyagra jellemző) telítésbe megy. A telítés értéke kb.  $3R$ , ahol  $R$  az egyetemes gázállandó.

## Termikus tulajdonságok

Hőtágulás: adott  
hőmérséklet-  
változás hatására  
bekövetkező  
méretváltozás

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_l \cdot \Delta T$$

$$\alpha_l = \left( \frac{1}{l} \right) \cdot \left( \frac{\partial l}{\partial T} \right)$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \alpha_v \cdot \Delta T$$

Közismert tény, hogy a szilárd anyagok térfogata a hőmérséklet növelésekor megnövekszik. Ezt a jelenséget hőtágulásnak nevezzük. Ha csak egy irányt veszünk figyelembe, és az anyagot homogénnek és izotrópnek tekintjük, akkor a hosszváltozás mértéke  $\Delta l$ , ahol  $l_0$  a kiindulási hossz,  $\Delta l$  a hosszváltozás,  $\Delta T$  pedig a hőmérséklet-változás. Az  $\alpha$  mennyiséget lineáris hőtágulási együtthatónak nevezzük, és azt mutatja meg, hogy 1K hőmérsékletváltozás hatására mennyit változik az anyag hossza. A térfogatváltozás a hőmérséklet növekedésének hatására a fenti képlettel írható le. Belátható, hogy homogén és izotróp anyagokra  $\alpha_v = 3\alpha_l$ .

## Termikus tulajdonságok

- **Hővezetés:** a hő a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű helyre eljut

$$w = -\kappa \cdot \frac{dT}{dx}$$

$\kappa$ : hővezetési tényező

A hővezetés az a folyamat, melynek révén a hő a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű helyre eljut. A hővezetést a hőáramsűrűséggel ( $w$ ) jellemezhetjük.

A hővezetés tulajdonképpen mozgási energia továbbítása (hiszen a rácsrezgések amplitúdója növekszik a hőmérséklet növelésekor), melynek közvetítői az elektronok illetve a fononok (maga a rácsrezgés) lehetnek. Az elektronok járuléka sokkal jelentősebb, hiszen könnyebben mozognak, nagyobb a sebességük, és kevésbé szóródnak. Ezért van az, hogy a fémes anyagok általában jobb hővezetők, mint a szigetelők, hiszen bennük nagy mennyiségű szabad elektron található.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 7. Elektromos, mágneses és akusztikai tulajdonságok

Szerző: Dr. Mészáros István  
meszaros@eik.bme.hu

## Tartalom

7.1 Fémek és ötvözetek elektromos vezetési tulajdonságai.....	198
7.2 Mágneses tulajdonságok.....	210
7.3 Az anyagok akusztikai tulajdonságai .....	225

## 7.1 Fémek és ötvözetek elektromos vezetési tulajdonságai

Vezetési jelenségek (transzportfolyamatok) fenomenologikus leírása

$$j = \sigma \frac{dU}{dx} - \frac{1}{q} \sigma \frac{dW_F}{dx} - \sigma \cdot S \frac{dT}{dx}$$

$$j = \sigma \cdot \text{grad}U - \frac{1}{q} \sigma \cdot \text{grad}W_F - \sigma \cdot S \cdot \text{grad}T$$

### 7.1 Fémek és ötvözetek elektromos vezetési tulajdonságai

A fémek és ötvözetek közismerten jó elektromos és hővezető anyagok. E két tulajdonság gyakori egybeesése az elmozdulni képes ún. szabad elektronoknak az elektromos és hővezetés folyamatában betöltött szerepével függ össze. A szabad elektronok elektromos töltés ill. hőtranszport folyamatokban játszott hasonló szerepe miatt sokszor célszerű közösen tárgyalni e folyamatokat. A vezetési elektronok mozgásállapotát több hatás befolyásolhatja, a legismertebbek a következők; külső *elektromos tér (E), mágneses tér, anyagi minőségben (összetételben) történő változás, hőmérsékletkülönbség* stb. Az elektromos, ill. hővezetést leíró transzport egyenletekben megtalálhatjuk az ezekhez rendelhető tagokat és a megfelelő, anyagjellemzőnek tekinthető vezetési együtthatókat. A konvencionálisan elfogadott, alapvető vezetési együtthatók a következők:

s: fajlagos elektromos vezetőképesség (vagy reciproka  $\rho$  a fajlagos ellenállás),

S: Seebeck-tényező (ill.  $p = T S$  abszolút Peltier-együttható),

k: hővezetési tényező.

Az elektromos áramsűrűség számítására ismert  $j = s E = s dU/dx$  Ohm-törvény, ill. a hőáramsűrűség meghatározására használatos  $w = -k dT/dx$  Fourier hővezetési törvény az említett általános összefüggések speciális esetei, amelyek csak a külső elektromos tér ill. a hőmérséklet inhomogenitását veszik figyelembe. Érdeemes észrevenni, hogy a két fenomenologikus összefüggés analóg az anyagtranszportra vonatkozó Fick-I törvénnyel.

Az összefüggésekben alkalmazott jelölések:

j: áramsűrűség

U: feszültség

T: hőmérséklet

$W_F$ : Fermi-szint

$\sigma$ : vezetőképesség

S: Seebeck-tényező

## Elektromos vezetési tulajdonságok

- **Vezetőanyagok klasszikus csoportosítása**
- $\sigma$  (fajlagos vezetőképesség)
- Siemens/m, 1/Ohm m
  
- $\sigma < 10^{-8}$  S/m            fémes vezető
- $10^{-8} < \sigma < 10^6$  S/m    félvezető
- $\sigma > 10^6$  S/m            szigetelő

A klasszikus csoportosítás az anyagokat vezetőképességük alapján szigetelőkre, félvezetőkre és vezetőkre osztotta fel. E felosztás szerint a vezetők fajlagos vezetőképessége jobb, mint  $10^6$  siemens  $m^{-1}$ , a szigetelőké, rosszabb, mint  $10^{-8}$  siemens  $m^{-1}$ , a köztes tartományba tartozó anyagokat félvezetőknél nevezzük. A későbbi tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy ez a meghatározás – különösen a félvezetők esetén – nem megfelelően ragadja meg a vezetőképességükkel kapcsolatos sajátosságokat. A félvezetők vezetőképessége ugyanis, számos külső paramétertől (mint pl. a hőmérséklet, megvilágítás, külső elektromos/mágneses terek, részecske sugárzás, nyomás stb.) a fémekétől eltérően változik. Gondoljunk pl. arra a tényre, hogy a fémek ellenállása a hőmérséklettel közel egyenes arányban nő, ezzel szemben a félvezetőké exponenciálisan csökken.

## Elektromos vezetési tulajdonságok

**Elektromos vezetési folyamatban töltést továbbító (elmozdulni képes) részecskék:**

<b>Vezetők</b>	fémek	szabad elektron
	ötvözetek	szabad elektron
	elektrolitok	+ és - ionok
	plazma áll. gázok	+ és - ionok
<b>Félvezetők</b>	elemi	szabad elektronok, lyukak
	vegyület	szabad elektronok, lyukak
<b>Szigetelők</b>	kovalens kristályok	szabad elektronok, lyukak
	ionos kristályok	szabad elektronok, lyukak
	folyadékok	+ és - ionok
	gázok	+ és - ionok

Vezetési és a kötési sáv közötti ún. tiltott sáv szélessége:

- félvezetők esetén kisebb mint 2 eV,
- szigetelők esetén nagyobb mint 2 eV.

Fémes vezetők esetén a kötési és a vezetési sáv átfed, ezeknek az anyagoknak nincsen tiltott sávjuk.



## Vezetési mechanizmusok

### **Klasszikus** (Sommerfeld-féle, szabadelektron-modell)

Feltételezés: elektromok között nincs kölcsönhatás (ideális gáz)

Elektron mozgása:

Rendezetlen termikus mozgás + sodródás (drift)

### **Kvantummechanikai leírás**

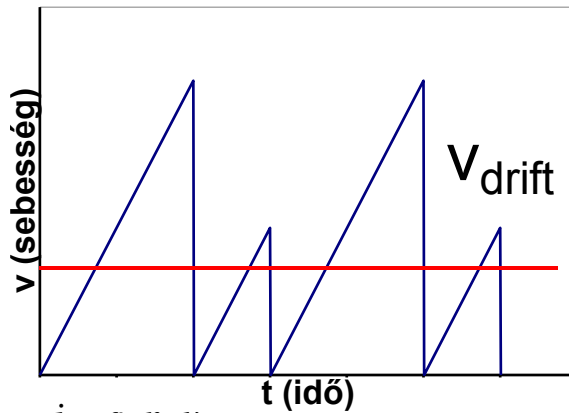
Elektronhoz rendelt síkhullám mozgása a rácperiodikus potenciáltérben. Vezető test: potenciálgödör.

A fémek vezetési mechanizmusainak leírására alkalmazott legegyszerűbb modell a *klasszikus elektron elmélet*. Ami szerint, a vezetésben részt vevő elektronok egymással kölcsönhatásban nem álló, saját térfogattal nem rendelkező részecskék, amik a molekuláris fizika ideális gázának részecskéihez hasonlóan rendezetlen hőmozgást végeznek a vezető anyagban. Ha a vezető belsejében elektromos teret hozunk létre, az elektronok a térerősséggel ellentétes irányban gyorsuló mozgást végeznek egészen addig, amíg egy ionnal ütközve annak összes többletenergijukat átadják. Ennek eredményeként, egy rendezetlen mozgásra szuperponált, a térerősség irányával ellentétes, azzal arányos translációs mozgást, tehát elektromos áramot kapunk. A külső elektromos tér által létesített rendezett mozgás átlagsebességét sodródási vagy drift-sebességnek ( $v_d$ ) nevezzük. A drift-sebesség és a külső tér nagysága ( $E$ ) között az ún. szabad töltéshordozó mozgékonyosság ( $\mu$ ) teremti meg a kapcsolatot, azaz  $v_d = \mu E$ . A klasszikus vezetési modell segítségével levezethetjük az Ohm-törvényt az egy vegyértékű fémekre és megmagyarázhatjuk a fémek alapvető vezetési tulajdonságait, azonban számos kérdésre (pl. több vegyértékű fémek és a félvezető anyagok tulajdonságai) nem adhatunk választ.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy (az előbbieken szereplő) klasszikus meghatározás – különösen a félvezetők esetén – nem megfelelően ragadja meg a vezetőképességükkel kapcsolatos sajátságokat. A félvezetők vezetőképessége ugyanis, számos külső paramétertől (mint pl. a hőmérséklet, megvilágítás, külső elektromos/mágneses terek, részecskesugárzás, nyomás stb.) a fémekétől eltérően változik. Gondoljunk pl. arra a tényre, hogy a fémek ellenállása a hőmérséklettel közel egyenes arányban nő, ezzel szemben a félvezetőké exponenciálisan csökken. A szilárd testek sávmélete szerint a szigetelők és a félvezetők elektronjai két kvázifolytonos energiatartományban; az ún. kötési és a vezetési sávban tartózkodhatnak. Az e két sávot elválasztó tartományban nincsenek az elektronok számára megengedett energianívók. Így ebben az ún. tiltott sávban (gap) elektron nem tartózkodhat. Megállapodás szerint általában a 2 eV-nál kisebb tiltott sávú anyagokat félvezetőknek, a 2 eV-nál szélesebb

tiltott sávú anyagokat, pedig szigetelőknek tekintjük. A fémes vezetők esetén úgy tekinthetjük, hogy a vezetési és kötési sávok átlapolódnak, így tehát tiltott sávjuk nincsen.

## A szabadelektron-modell



$\tau$ : átl. élettartam

$\lambda$ : átl. szabad úthossz

$$j = q \cdot n \cdot v_d$$

$$v_d = \frac{q \cdot E}{m} \tau$$

$$j = \frac{n \cdot q^2 \cdot \tau}{m} E = \sigma \cdot E$$

$$v_d = \mu \cdot E$$

Ahol:

$j$ : áramsűrűség

$q$ : az elektron töltése

$n$ : szabadelektron-koncentráció (egységnyi térfogatban lévő elektronok száma)

$v_d$ : sodródási vagy drift sebesség

$E$ : a külső elektromos tér nagysága

$\tau$ : átlagos élettartam (az ütközések között eltelő átlagos időtartam)

$\sigma$ : elektromos vezetőképesség

$\mu$ : elektronmozgékonyosság

## Fémek fajlagos ellenállását befolyásoló tényezők

- termikus rácsrezgések
- termikusan aktivált ponthibák
- diszlokációk (alakítás)
- felületszerű hibák (szemcseméret)
- térfogati hibák (kiválások, új fázis)
- rácstorzulás (szilárd oldatos ötvözés)
- ...

A különféle fizikai és technológiai tényezők hatásának hozzávetőleges előrelátásában segítséget nyújt néhány alapelv és félempirikus szabály, amiket a következőkben ismertetünk. Ezek a szabályok csupán közelítőleg érvényesek és nem minden esetre teljesülnek, ezért pontos számításra nem mindig alkalmasak.

Tökéletesen szabályos fémkristályban a vezetésben részt vevő elektronok akadálytalanul, impulzus- és energiavesztesség nélkül mozoghatnak. Az ideális fémkristályt 0 K hőmérsékleten tehát tökéletes vezetőnek képzeljük. Az ellenállás okozója a kristályrácsban jelen lévő szabálytalanságok, kristályhibák, amiken az elektronok impulzus- és energiavesztességgel járó szóródást szenvednek. A fajlagos ellenállás arányos a szóródás valószínűségével, azaz a hibasűrűséggel.

A rácsrendezetlenségek minden esetben számottevően növelik az elektromos ellenállást.

## Matthiesen-szabály

$$\rho(T, c, \varepsilon) = \rho_1(T) + \rho_2(c) + \rho_3(\varepsilon) + \dots$$

Az alábbi rácsrendezetlenségek számottevően növelik az elektromos ellenállást: a rács ionjainak termikus rezgései, ponthibák (idegen atomok, termikusan generált hibák), vonalszerű rácshibák (diszlokációk), felületszerű rácshibák (kristályfelület, kristallithatár, idegen fázis határa stb.)

Sok esetben néhány célszerűen megválasztott, egymástól függetlennek tekinthető tényező eredőjeként felírható a teljes ellenállás. Ezt a szeparálhatóságot Matthiesen-szabályként ismerjük.

Az összefüggésben alkalmazott jelölések:

$\rho$ : fajlagos ellenállás

$T$ : hőmérséklet

$c$ : ötvöző tartalom (koncentráció)

$\varepsilon$ : a képlékeny alakíthatóság mértéke

## A fajlagos ellenállás hőmérsékletfüggése

Fémes vezetők esetén

$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2 + \dots + \mu\Delta T^n)$$

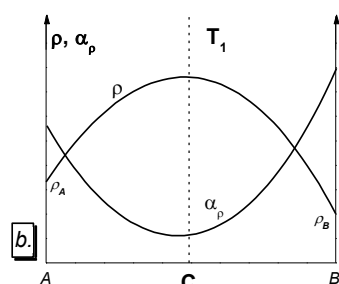
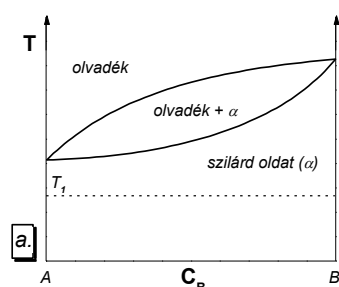
$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha\Delta T)$$

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

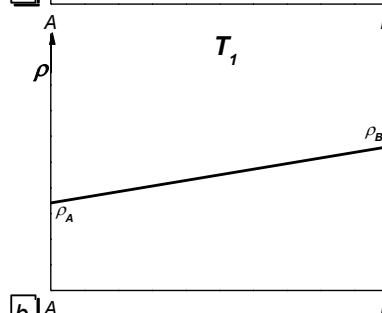
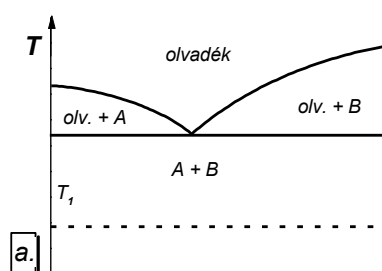
A termikus tag zérus felé tart, ha a hőmérséklet abszolút zérus fokhoz közeledik. Alacsony hőmérsékleten (-250 °C – -50 °C) a termikus tag viselkedése bonyolult, azonban közepes hőmérsékleten viszonylag lassan változik a hőmérséklettel és gyakran megengedhető a lineáris közelítés viszonylag széles hőmérséklet tartományban.

A legtöbb fém olvadásakor a fajlagos ellenállás ugrásszerűen változik (két-háromszorosára növekszik). Ez a hirtelen változás a szerkezeti rendezettség ugrásszerű csökkenésének tulajdonítható.

## Ötvözés hatása a fajlagos ellenállásra



$$\Delta\rho_{\text{ötv}} = Ac(1-c)$$



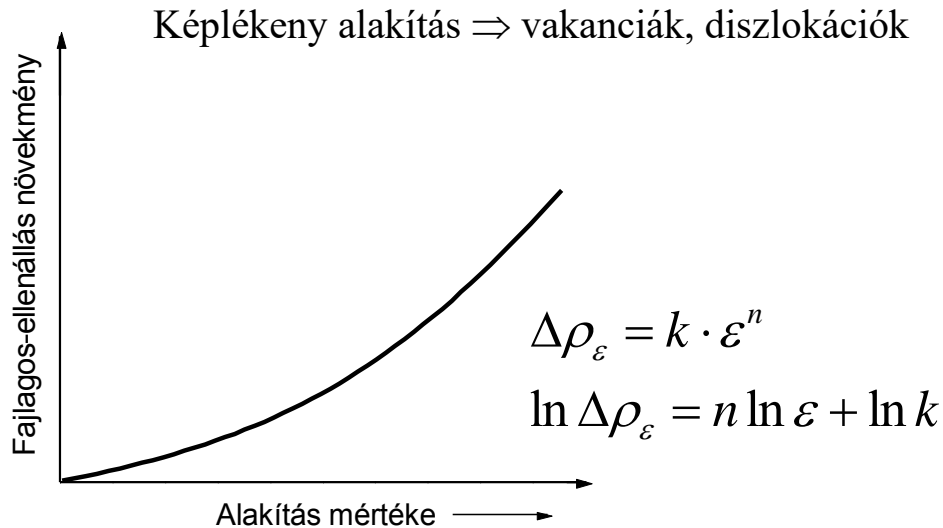
$$\rho_{\text{ötv}} = \rho_A V_A + \rho_B V_B$$

Az idegen atomok hatása igen különböző lehet aszerint, hogy ezek az ötvöző vagy szennyező atomok milyen fázisban vannak jelen a fémekben. Két szélső esetet érdemes megkülönböztetni. Ha két fém minden összetételben szilárd oldatot alkot egymással és a különböző atomok véletlenszerű rendezetlenséggel foglalják el a különböző rácspontokat, akkor bármilyen idegen atom jelenléte jelentősen növeli a fajlagos ellenállást a tiszta féméhez képest. A koncentráció függvényében a fajlagos ellenállás jellegzetes maximumos görbét ad. A maximum közelében a fajlagos ellenállás többszöröse a tiszta fémének. Ugyanitt a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjének minimuma van. Ez a tény különösen a precíziós ellenállás-ötvözetek szempontjából fontos.

Általában az említett maximumos görbe jól közelíthető parabolával. Így az egy vegyértékű fémekre érvényes Nordheim-szabály értelmében, a fajlagos ellenállás hőmérséklettől független része:  $\Delta\rho = Ac(1-c)$  összefüggés szerint változik a koncentrációval. Ahol: A a fém párra jellemző konstans, c pedig a "B" fém atomszázalékban megadott koncentrációja.

Ha két fém szilárd állapotban egyáltalán nem oldódik egymásba, a heterogén szövétű ötvözet fajlagos ellenállása közelítőleg lineárisan változik a két fázis relatív térfogat arányával. Az ötvözés ilyenkor lényegesen kisebb mértékben befolyásolja a fajlagos ellenállást, mint oldáskor.

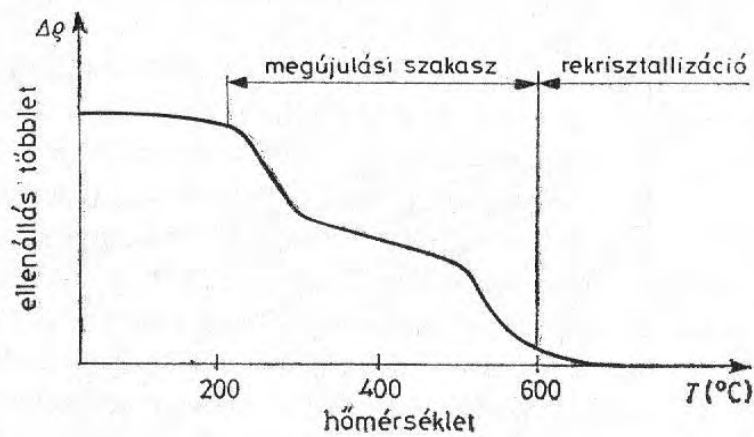
## Képlékeny alakítás, hőkezelés hatása



Képlékeny hideg alakváltozáskor (pl. a vezetékhuza! megnyújtásakor) is változik a fajlagos ellenállás. (Nem tévesztendő össze a geometria változásából származó ellenállásváltozással.) A fajlagos ellenállás növekedésének oka, hogy a képlékeny alakítás hatására növekszik a kristályban lévő rácsrendezetlenségek száma. Ez döntően a ponthibák és a diszlokációk számának változását jelenti. A tapasztalat szerint a rácsrendezetlenségek sűrűségének növekedéséből származó fajlagos ellenállás járulék általában nem nagy (néhány százalék), azonban néhány gyakorlati esetben ez nem kívánatos. Ilyenkor a rácsrendezetlenségek számát csökkentő hőkezeléssel (megújulás ill. újrakristályosodás) visszaállítják az anyagban az alacsony hibasűrűségű állapotot.



## Hőkezelés hatása



10.33. ábra

A Ni megújulása

A tapasztalat szerint a rácsrendezetlenségek sűrűségének növekedéséből származó fajlagos ellenállás járuléka általában nem nagy (néhány százalék), azonban néhány gyakorlati esetben ez nem kívánatos. Ilyenkor a rácsrendezetlenségek számát csökkentő hőkezeléssel (megújulás ill. újrakristályosodás) visszaállítják az anyagban az alacsony hibasűrűségű állapotot.

## 7.2 Mágneses tulajdonságok

### A mágneses tér és az anyag kölcsönhatása

$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

$$\bar{B} = \mu_0 \mu_r \bar{H} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M})$$

$$\bar{M} = \kappa \bar{H} = \frac{1}{V} \sum \bar{P}_i$$

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$B \left[ \frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

$$H \left[ \frac{A}{m} \right]$$

$\mu$ : mágneses **permeabilitás**

$\kappa$ : mágneses **szuszeptibilitás** (érzékenység)

### 7.2 Mágneses tulajdonságok

Mágneses tér hatására minden anyagban mágneses polarizáció lép fel, aminek hatására a minta mágneses dipólussá válik. Ez egyrészt a mintában mágneses momentumok indukálódásával, másrészt, ha a minta eleve tartalmaz (spontán) mágneses momentumokat, ezek a külső tér hatására történő rendeződésével történik. A minta makroszkópos mágneses momentuma a térfogatban lévő mágneses momentumok ( $P_i$ ) eredője. Ennek térfogategységre vonatkoztatott értékét hívjuk a minta mágnesezettségének ( $M$ ). A  $\kappa$  mágneses szuszeptibilitást ill. a  $\mu_r$  relatív permeabilitást használjuk az anyagok mágneses tulajdonságainak jellemzésére. A mágneses indukció ( $B$ ), a mágneses térerősség ( $H$ ) és a bevezetett anyagjellemzők közötti kapcsolatot mutatják a fenti összefüggések.

## Mágneses anyagok csoportosítása

### Gyengén mágneses anyagok

**Diamágneses** (lezárt elektronhéj)  $\kappa < 0$

Univerzális tulajdonság

Diamágneses viselkedésű: Si, Cu, Zn, Ag, Cd,  
Au...

**Paramágneses** (legalább egy páratlan elektron)  $\kappa > 0$

Paramágneses viselkedésű: Mg, Al, Ti, W...

A diamágneses anyagoknak elemi mágneses momentumuk nincs, ill. az elektronok mágneses momentumai teljesen kompenzálják egymást. Külső mágneses tér hatására, bennük az elektronpályák deformációja révén, mágneses momentum indukálódik. Az indukciótörvény szerint, az indukált momentum a külső térrel ellentétes irányú, s nagysága lineáris függvénye a térnek. Tehát a diamágneses anyagok szuszceptibilitása negatív, mágneses tér- és hőmérséklet-független. A vázolt polarizációs mechanizmus minden anyagban létrejön, de csak akkor észlelhető, ha más erősebb mágneses hatás el nem nyomja.

A paramágneses anyagok rendelkeznek elemi mágneses momentumokkal, de ezek a hőmozgás miatt, statisztikusan rendezetlen irányeloszlást mutatnak, emiatt a makroszkopikus mágnesezettségük zérus. Külső mágneses tér hatására a momentumok, a termikus mozgás ellenében, igyekeznek beállni a térirányba. Tehát szuszceptibilitásuk pozitív és hőmérsékletfüggő. Tiszta paramágneses anyagok szuszceptibilitása a gyakorlatban elérhető mágnesterek esetén térfüggetleneknek tekinthetők, de már kis mennyiségű ferromágneses kiválás hatására térfüggővé válik és hiszterézis típusú görbét ad.

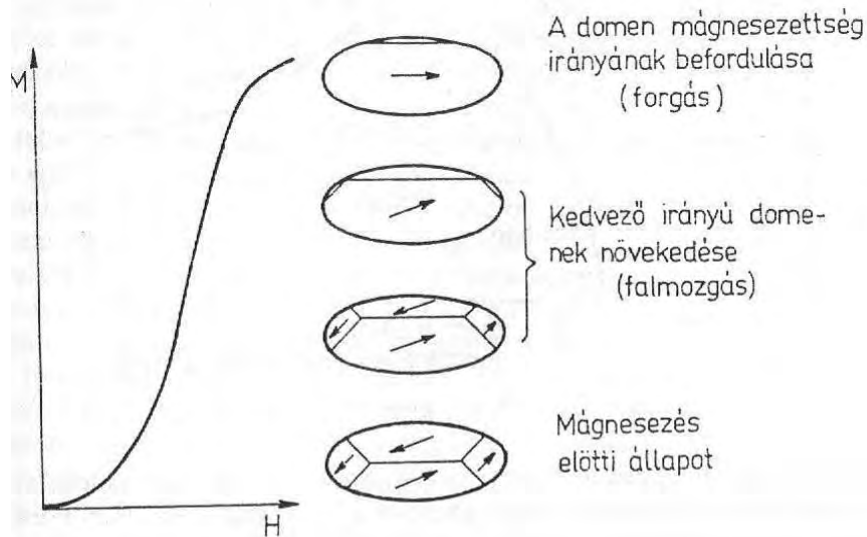
## Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

Ezeknél az anyagoknál a 3d, 4f héj telítetlen.  
Mágneses doménszerkezetük van.

- **Ferro** ↑↑↑↑ (Fe, Co, Ni, Gd...), ötvözetek
- **Antiferro** ↑↓↑↓ (Cr, Mn)
- **Ferri** ↑↓↑↓ ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CrO}_2$ , ErO ...)

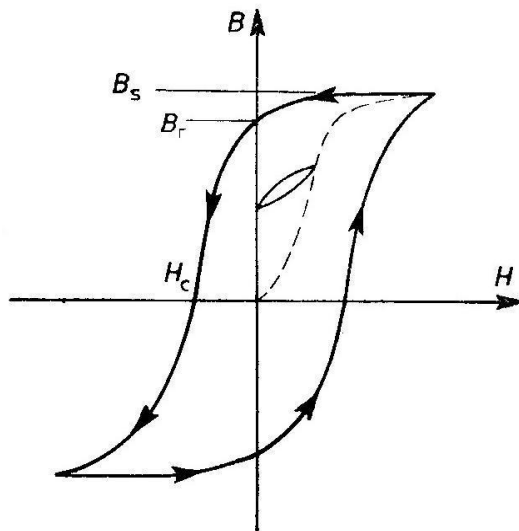
Ezek a ténylegesen mágnesesnek, közismerten mágneseknek nevezett anyagok, találunk közöttük fémeket, ötvözeteket és kerámiákat. Spontán mágneses momentummal rendelkeznek, s egy jellegzetes hőmérséklet alatt, az ezen momentumok közti csatolás a momentumokat a kristály tengelyeihez képest valamilyen rendbe sorakoztatja egy-egy adott tartományon belül, tehát doménszerkezetűek. Az atomi mágneses momentumok parallel beállása esetén ferromágneses, a szomszédos momentumok antiparallel beállása esetén antiferromágneses anyagokról beszélünk. Az antiferromágneses rend speciális megvalósulási formája az ún. ferrimágneses elrendeződés. Itt az elemi momentumok ellentett beállításúak ugyan, de abszolút értékben különböznek.

## Az átmágneseződési folyamat kinetikája



A rendezett mágneses szerkezetű anyagok eredő mágneses momentuma és így mágnesezettsége jelentősen növekszik a külső mágnesező tér hatására, azaz az anyag felmágneseződik. A felmágneseződési folyamat két részfolyamatra bontható: kis tér tartományban, hozzávetőlegesen a mágnesezési görbe inflexiós pontjáig, a mágnesezőtér irányába orientált domének térfogatának növekedése a kedvezőtlen irányúak rovására, majd a nagyobb külső terek esetén a mágnesezettség irányának fokozatos befordulása a mágnesező tér irányába. Az előbbi folyamatot domenfal mozgási, az utóbbit momentumforgási tartománynak hívjuk.

## A legfontosabb klasszikus mágneses jellemzők



Mágneses  
hiszterézisgörbe

Telítési indukció ( $B_s$ )

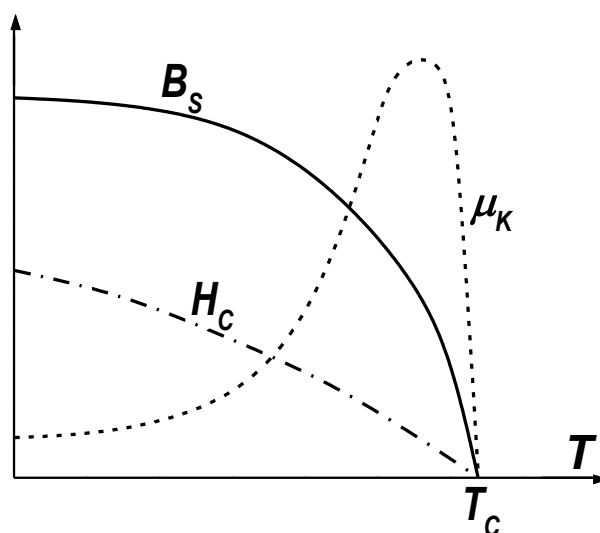
Remanens indukció ( $B_r$ )

Koercitív erő ( $H_c$ )

A ferro- és ferrimágneses anyagok legfontosabb, klasszikus jellemzője a mágneses hiszterézisgörbe ill. a belőle származtató jellemzők.

Ha egy lemágnesezett állapotú ferro- vagy ferrimágneses mintát külső mágneses térbe helyezünk, akkor a tér növelésével a  $B$  kezdetben lassan nő, majd hirtelen emelkedni kezd. A görbe végül ismét ellaposodik, és fokozatosan éri el a  $B_s$  telítési értéket. A  $H$  további növekedésével a  $B$  csak nagyon kismértékű növekedést mutat. A  $H$  csökkenésével – szemben a dia- és paramágnesekkel – a mágnesezési görbe nem követi az eredeti (nyilakkal jelölt) szaggatott görbét. Amint a  $H$  nullára csökken, az indukció értéke csak a  $B_r$  ún. remanens indukciót éri el. A külső tér irányát ellenkező értelműre kell változtatni, és  $H_c$ -ig, a koercitív térnek nevezett értékig kell növelni ahhoz, hogy az indukció teljesen eltűnjék. Ha ebben az irányban tovább növelik a térerősséget, újra elérhető a telítés. A térerősség (abszolút értékének) újbóli csökkenésével egy, az előbbihez hasonló görbe adódik. A telítés, a remanencia és a koercitív tér értéke ugyanaz, mint az előző esetben volt, feltéve, hogy a telítettségig mágneseztük az anyagot. A kisebb hurok egy olyan mágnesezési ciklusra jellemző, melynél az anyagot nem mágnesezték telítésig. Azt a jelenséget, hogy a mágnesezési görbe nem veszi fel ugyanazokat az értékeket a fel- és lemágnesezésnél, hiszterézisnek nevezik. Egy teljes ciklushoz tartozó hiszterézishurok azzal az energiamennyiséggel arányos területet zár közre, mely egy ilyen ciklus során felszabadul hő formájában.

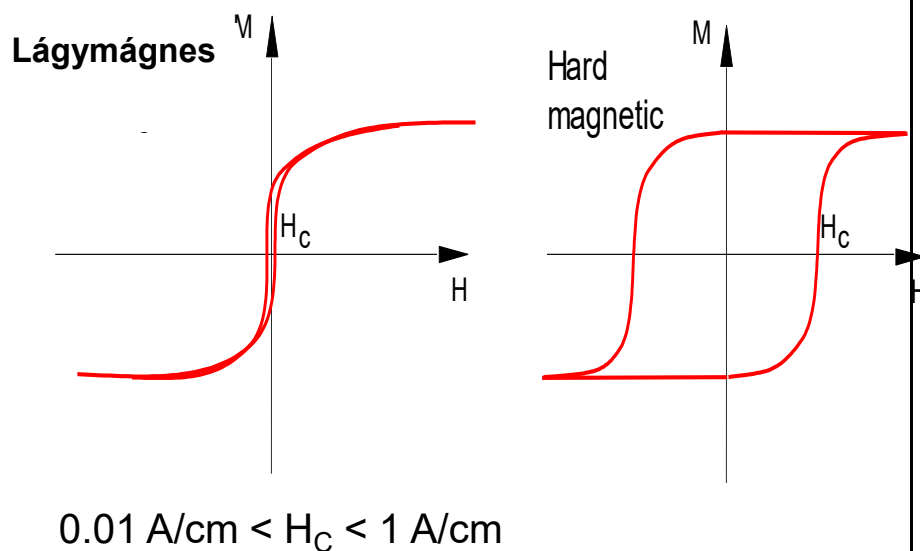
## Ferromágneses anyagok tulajdonságainak hőmérsékletfüggése



Curie-hőmérséklet: Ferro-, paramágneses átalakulás

A ferro- és ferrimágneses anyagok makroszkópikus mágneses jellemzőinek mindegyike erős hőmérsékletfüggést mutat. Általános törvényszerűség fémes mágneseknél, hogy a telítési indukció ( $B_s$ ), a hőmérséklettel monoton és annál erősebben csökken, minél jobban megközelítjük a Curie-hőmérsékletet. A koercitív tér változása szintén monoton csökkenő (arányosnak tekinthető az anizotropia változásával).

## Lágymágneses anyagok fontosabb típusai



Műszaki szempontból a mágneses anyagokat lágy- ill. keménymágneses csoportokra osztjuk.

Lágymágneseknek nevezzük az olyan ferri- vagy ferromágneses anyagokat, amelynek kis koercitív térrel ( $<1 \text{ A/cm}$ ) rendelkeznek. A lágymágneses anyagok kiválasztásánál alapvető anyagi jellemzők: a koercitív erő ( $H_c$ ), a telítési és remanens indukció ( $B_s$  és  $B_r$ ), a permeabilitás ( $\mu$ ), a fajlagos villamos ellenállás, valamint az alakíthatósági tulajdonságok. Általában a  $B_s$ ,  $B_r$ ,  $\mu$  jellemzők minél nagyobb és a  $H_c$  minél kisebb értéke a kívánatos.

Ha az átmágnesezés folyamatát – a doménfal-eltolódást és forgást- könnyebbé tesszük, akkor kisebb  $H_c$ -t tudunk elérni. Ennek a feltételnek a homogén egyfázisú, kevés rácshibát tartalmazó szilárdoldatok tesznek eleget. A szilárdoldat kialakítás adja meg az egységnyi mennyiségű ötvözőre vonatkoztatott, legnagyobb fajlagos villamos ellenállás növekedést is. A  $B_s$  csak koncentrációfüggő, tehát növeléséhez a térfogategységenkénti, minél nagyobb momentumot szolgáltatató atomok számát kell emelni. A nagy permeabilitás eléréséhez kis anizotrópiájú és kis magnetostrikciójú anyagot kell előállítani. Az ipari gyakorlatban leggyakrabban használt lágymágneses anyagok a FeSi ötvözetek, a permalloy néven ismert FeNi ötvözetek és a ferrimágneses kerámiák, azaz a köbös-ferritek.



## **Fe-Si ötvözetek (transzformátor ill. dinamólemezek)**

A transzformátor, ill. dinamólemezek szilíciumtartalma tipikusan 3–5 % közötti. A Si-ötvözés csökkenti a mágneses anizotrópiát és a magnetostrikciót, valamint növeli az ötvözet fajlagos ellenállását. Azonban a Si-tartalom növelésének határt szab a képlékenységi mutatók erős romlása.

## Fe-Ni ötvözetek (permalloyok)

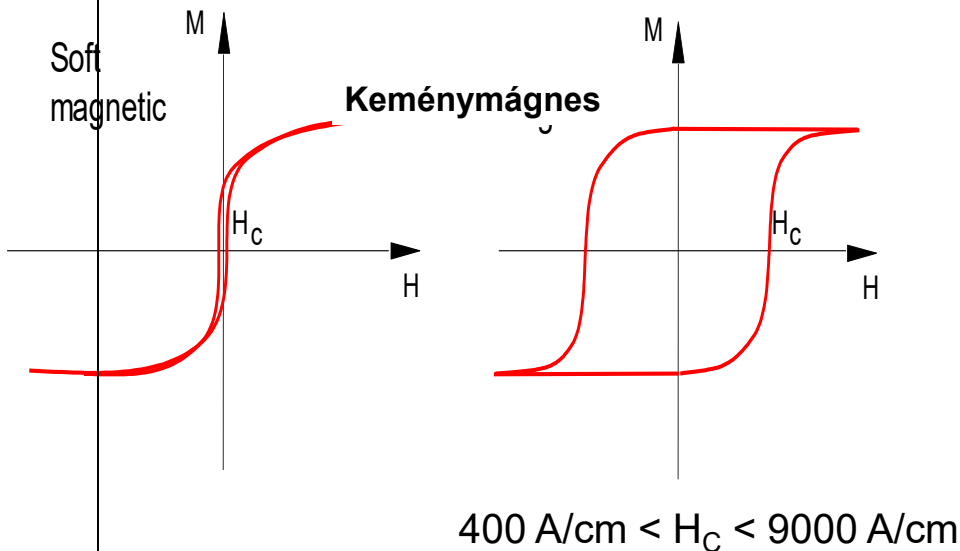
Jellemzően 50–75% Ni tartalmú, nagy permeabilitású ötvözetek. Ideális hőkezeltési állapotban az ötvözet anizotrópiaállandója közel zérus, magnetostrikciója pedig kicsiny. Hátrányos tulajdonsága a permalloy típusú ötvözeteknek, hogy a telítési indukciójuk alacsony (közel mintegy fele a Fe-Si ötvözetekének), a Ni meglehetősen drága, valamint speciális hőkezelést igényel.

Mindkét említett ötvözet típus csak megfelelő hőkezelés után rendelkezik jó lágymágneses tulajdonságokkal, sőt a permalloy fajták annyira érzékenyek a képlékeny átalakításra, hogy hőkezelés nélkül gyakorlatilag nem használhatók fel. A permalloyok hőkezelésének további célja – a képlékeny alakítás hatásának eltüntetésén túl – a kedvezőtlen lágymágneses tulajdonságú, közel FeNi<sub>3</sub> összetételű rendezett rácsú szilárd oldat kialakulásának megakadályozása.

## Lágyferritek (kübös ferritek)

Kerámia jellegű anyagok, alkalmazásukat rendkívül nagy fajlagos ellenállásuk indokolja. Jellegzetes típusai a mangán-cink-ferrit és a nikkel-cink-ferrit. Előnyösen használhatóak nagy frekvenciás alkalmazásokban kis örvényáramú veszteségük miatt. A tárgyalt fémes ötvözetekhez viszonyítva, mágneses jellemzőik lényegesen gyengébbek. Továbbá alacsony Curie-hőmérsékletük miatt érzékenyebben reagálnak a hőmérséklet változására.

## Keménymágneses anyagok fontosabb típusai



Keménymágneseknek (állandómágneseknek) nevezzük a nagy koercitív térrel ( $>400 \text{ A/cm}$ ) rendelkező anyagokat. Kiválasztásuknál a legfontosabb jellemzők a koercitív tér ( $H_c$ ), a remanens indukció ( $B_r$ ), a max. energiaszorzat  $(BH)_{\text{max}}$ , valamint az alakíthatóság ill. megmunkálhatóság. A technológia számára legfontosabb feladat a  $H_c$  növelése. Tehát olyan anyagot kell létrehozni, amelyben az átmágnesezési folyamatot különböző hatások megnehezítik. A domenfaleltolódást ugyanazokkal a módszerekkel lehet gátolni, amelyekkel a mechanikai keménység vagy a mechanikai szilárdsági tulajdonságok növelhetők (innen ered a „kemény”-mágneses elnevezés), például második fázis kiválasztásával, rácshibasűrűség növelésével stb. További lehetőség az olyan szövetszerkezet kialakítása, amiben nem jöhetnek létre domenfalak, következtetésképpen faleltolódás sem. A momentumok átfordulását is megnehezíti, ha nagy kristályanizotrópiájú anyagot (hexagonális, tetragonális) választunk, amiben kevés a könnyűmágnesezési irány.

A műszaki gyakorlatban leggyakrabban előforduló keménymágneses anyagok az Alnico típusú ötvözetcsalád, a hexagonális szerkezetű ferritek és a ritkaföldfém mágnesek (SmCo ill. FeNd).

A keménymágnesek készülnek izotróp ill. anizotróp változatban is. Az izotróp mágnesek bármilyen irányba mágnesezhetőek és közel azonos mágneses jellemzőket mutatnak a különböző irányokban. Az anizotróp mágneseknek van egy kitüntetett, ún. könnyűmágnesezési iránya, amiben sokkal kedvezőbb jellemzői vannak, mint többi irányban.

## Alnico mágnesek

Az Alnico mágnesek vasalapú, alumíniumot, nikkelt és kobaltot tartalmazó ötvözetek. Előállításuk hagyományos öntészeti vagy porkohászati eljárással történik.

Többnyire izotróp mágnesek azonban, megfelelő gyártástechnológiával (pl. irányított hőelvonás) anizotróp változatban is gyárthatók. Az Alnico ötvözetek jellemzően nagy remanens indukciójú és viszonylag kis koercitív terű mágnesek. Kiemelkedő tulajdonságuk azonban, hogy magas hőmérsékleten is használhatóak, megengedett maximális környezeti hőmérsékletük tipikusan 550 °C.

## Ferritek (hexagonális ferritek)

Ezeket a mágneseket fizikai tulajdonságaik alapján gyakran említik kerámiamágnesekként is. Két jellegzetes típusa ismert, a bárium-ferrit és vele lényegében azonos mágneses tulajdonságú stroncium-ferrit. Az olcsó és korlátlanul rendelkezésre álló alapanyagoknak köszönhetően áruk a legalacsonyabb. Ugyanakkor a kedvező mágneses jellemző miatt a legjobb ár/érték arányt mutatják.

A ferritmágnesek a nagy kristályanizotrópiájának köszönhetően nagy koercitív térrel rendelkeznek, azonban remanens indukciójuk alacsony. Megengedett maximális környezeti hőmérsékletük jellemzően 250 °C. Nagyon kemények, ezért csak gyémántszerszámmal köszörülhetőek. Rendkívül ellenállóak a korrózióval, savakkal, sókkal, olajokkal és gázokkal szemben. A legnagyobb mennyiségben alkalmazott keménymágneses anyag ipari és háztartási alkalmazásokban.

## Szamárium-kobalt mágnesek

A hagyományos komponensek (vas, kobalt) mellett ritkaföldfémek, samáriumot is tartalmazó ötvözetcsalád. A korábbi mágneses anyagokkal összehasonlítva sokkal kedvezőbb paraméterekkel rendelkeznek. A porkohászati gyártástechnológia során a samárium-kobalt mágnesekben nagy kristályanisotropiájú, hexagonális rácsú  $\text{SmCo}_5$  ill.  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  intermetallikus vegyületfázisok jönnek létre, ami nagy koercitív teret és energiaszorzatot eredményez.

A samárium nagyon korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre, ezért a kiváló mágneses tulajdonságok ellenére a viszonylag magas ár korlátozza a samárium-kobalt mágnesek széles körű felhasználását. Megengedett maximális üzemeltetési hőmérsékletük  $250\text{ }^\circ\text{C}$ . Nagy keménységük következtében a legtörekenyebb mágnesek. Normál környezeti körülmények között nem korrodálnak, ezért külön galvanikus védelmet nem igényelnek.

## FeBNd mágnesek

Két fémtani fázist tartalmaznak; a  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  összetételű intermetallikus fázis tetragonális rácsú és ferromágneses tulajdonságú, a Nd alapú szilárd oldat paramágneses. Előnyük a samárium-kobalt mágnesekkel szemben a jobb mágneses tulajdonságuk és a jóval alacsonyabb áruk. A FeBNd mágnesek a SmCo mágneseknél nagyobb koercitív terűek, energiaszorzatuk pedig közel másfélszerese azoknak. A legnagyobb problémát a korrózió és a viszonylag alacsony maximális megengedett alkalmazási hőmérséklet jelenti.

A vas-bór-neodímium mágneseket 1980-ban fedezték fel. A samárium-kobalt mágnesekkel együtt a ritkaföldfém mágnesek csoportjába tartoznak. Gyártási technológiájuk is sok hasonlóságot mutat. A gyártás két fő lépése az izosztatikus sajtolás és a szinterelés. A kész mágnesek két fémtani fázist tartalmaznak; a  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  összetételű intermetallikus fázis tetragonális rácsú és ferromágneses tulajdonságú, a Nd alapú szilárd oldat paramágneses. Előnyük a samárium-kobalt mágnesekkel szemben a jobb mágneses tulajdonságuk és a jóval alacsonyabb áruk. A vas-bór-neodímium mágnesek a samárium-kobalt mágneseknél is nagyobb koercitív terűek, energiaszorzatuk pedig közel másfélszerese azoknak. A legnagyobb problémát a korrózió és a viszonylag alacsony maximális megengedett alkalmazási hőmérséklet jelenti. Normál környezeti körülmények között korrodálnak, ezért rendszerint galvanikus felületi védőréteget kell alkalmazni. Maximális üzemeltetési hőmérsékletük típustól függően 80-180 °C, ami jelentősen korlátozza az alkalmazhatóságukat. Ridegek és nagyon kemények. Megmunkálásuk csak gyémántszerszámmal való köszörüléssel lehetséges. A felhasználás során figyelmet kell fordítani törékenységükre.



### 7.3 Az anyagok akusztikai tulajdonságai

A szilárd testben terjedő hanghullám, hangrezgés az anyag rácsrezgése. E fejezetben a fémek és ötvözetek számos akusztikai tulajdonsága közül azokat tárgyaljuk, amelyek az ultrahangos anyagvizsgálat szempontjából alapvetőek.

#### 7.3 Az anyagok akusztikai tulajdonságai

Az ultrahangos anyagvizsgálatban használatos frekvencia tartománya 250 kHz – 15 MHz között van. Az ultrahang terjedési sebessége ( $v$ ) homogén anyagon belül állandó és főként az anyag rugalmas jellemzőitől és sűrűségétől függ. A hanghullámoknak terjedési típusuk szerint többféle fajtájuk van, mi ezek közül csak a longitudinális és a transzverzális hullámokkal foglalkozunk.

## Hanghullámok terjedési sebessége szilárd anyagokban

- A longitudinális hullám terjedési sebessége:

$$v_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

- A transzverzális hullám terjedési sebessége:

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\nu)}}$$

E – a rugalmassági modulus

$\rho$  – a sűrűség

$\nu$  – a Poisson-szám

Gázokban és folyadékokban csak longitudinális hullámok, szilárd testekben valamennyi hullámfajta keletkezhet.

Az anyagrészecskék rezgésének és terjedésének azonos iránya esetén, *longitudinális* hullámok keletkeznek. Ilyen esetben az anyagrészecskék tovaterjedése közben sűrűbb és ritkább helyek keletkeznek. A hullám hosszát ez esetben két sűrűsödési vagy két ritkult hely egymástól mért távolsága adja. A következő ábrán látható lengéskép áll elő, ha az anyagrészecskék rezgésének és terjedésének irányai egymásra merőlegesek. Ezek a *transzverzális* hullámok. Ez esetben a rezgés tovaterjedésének haladási iránya szinuszvonalnak megfelelő mozgású.

A mozgás úgy képzelhető el, mintha a részecskék mozgása egy periodikusan változó nyíróerő hatására menne végbe. Ezért nevezik a hullámokat nyíróhullámoknak. A hullámhossz ez esetben két hullámhegy vagy két hullámvölgy egymástól való távolsága. Ilyen hullámok gázokban és folyadékokban nem keletkezhetnek. (A hullámterjedési módokról további információt található a tankönyv 8.4 fejezetében.)

A hullámok erősíthetik, ill. ki is olthatják egymást. Az interferencia két vagy több azonos frekvenciájú hullám találkozásakor fellépő jelenség. A találkozás során hullám szuperpozíció következik be. Az egy irányban haladó hullámok  $0^\circ$  fáziskülönbség esetén erősítik,  $180^\circ$  fáziskülönbség esetén gyengítik egymást. Ellentétes irányban haladó két azonos frekvenciájú és amplitúdójú hullám állóhullámot hoz létre. Ennek ismérve, hogy fél hullámhossznyi távolságokban nyugalomban levő csomópontok, és a maximális kitérés esetén duzzadó pontok váltják egymást.

Az ultrahang terjedési sebessége az ötvözetekben tipikusan 3000–7000 m/s közötti.

A hanghullámok esetében a frekvencia ( $f$ ), a hullámhosszúság ( $\lambda$ ) és terjedési sebesség ( $v$ ) között összefüggés van:

$$v = \lambda \cdot f$$

Egy meghatározott anyagnál a hangsebesség adott, tehát a hullámhosszúságot csak a frekvenciával befolyásolhatjuk.

Amint már említettük, a mechanikai hullámok az anyag részecskéinek rezgéséből jönnek létre. Az anyagrészecskék rezgése az anyagban különféleképpen terjedhet. Ennek megfelelően különböző hullámfajták keletkezhetnek. Gyakorlati alkalmazásuk szempontjából a következők lényegesek: longitudinális vagy nyomáshullám, transzverzális vagy nyíráshullám, felületi, lemezhullám.

## A témakörhöz kapcsolódó áttekintő kérdések

### Ismertesse az alábbiakat:

- Kontakt potenciál, Peltier-effektus, Zeebeck-effektus
- Szabadelektron-modell
- A fajlagos ellenállás hőmérsékletfüggése
- Az ötvözés hatása a fajlagos ellenállásra
- A képlékeny alakítás hatása a fajlagos ellenállásra
- Dia- és paramágneses anyagok
- Ferro- és ferrimágneses anyagok doménszerkezete
- Mágneses hiszterézisgörbe és a belőle származtatható jellemzők
- Lágy- és keménymágneses anyagok
- Hanghullám terjedési módok szilárd testekben

## A témakör fontosabb kifejezései angol nyelven

- Contact potential
- Free electron model
- Conductivity, resistivity
- Dia-, para-, ferro- and ferrimagnetic materials
- Coercivity, remnant induction, saturation induction, permeability, hysteresis loss
- Soft and hard magnetic materials
- Rear Earth magnets (SmCo, FeBNd)
- Acoustic wave propagation modes



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 8. Az anyagvizsgálat alapjai

Szerző: Dr. Mészáros István [meszaros@eik.bme.hu](mailto:meszaros@eik.bme.hu)  
Dr. Berecz Tibor [berez@eik.bme.hu](mailto:berecz@eik.bme.hu)

## Tartalom

Roncsolásos anyagvizsgálati eljárások .....	232
A mechanikai anyagvizsgálati eljárások.....	233
Roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások.....	264

## Roncsolásos anyagvizsgálati eljárások

A roncsolásos anyagvizsgálati eljárások alkalmazásával valamilyen anyag- vagy technológiai jellemzőt vagy mérőszámot határozunk meg oly módon, hogy az a vizsgált munkadarab olyan mértékű károsodásával jár, amely miatt az nem töltheti be azt a funkciót, amelyre tervezték.



## A mechanikai anyagvizsgálati eljárások

A különféle anyagvizsgálati eljárásokat az igénybevétel időbeli lefolyása alapján a következő fő csoportokba lehet sorolni:

- statikus vizsgálatok, amelyeknél az igénybevétel mértéke a vizsgálat során állandó, vagy csak kis mértékben változik a törést előidéző értékig;
- dinamikus vizsgálatok, amelyeknél az igénybevétel változása gyors, pillanatszerű;
- fárasztó vizsgálatok, amelyeknél az igénybevétel hosszú időn keresztül, periodikusan ismétlődik.

### A mechanikai anyagvizsgálati eljárások

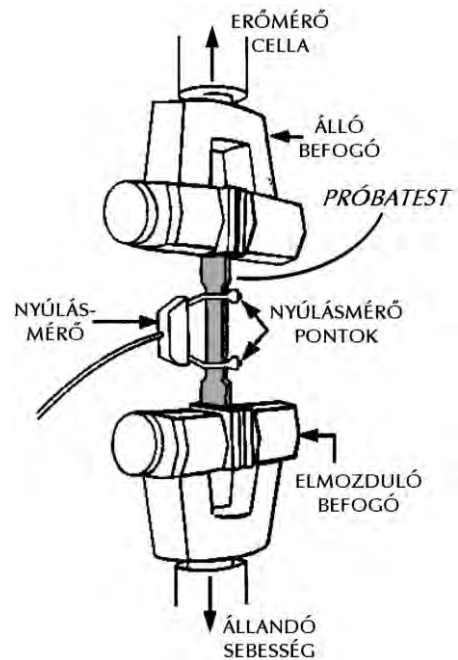
A mechanikai anyagvizsgálati eljárások célja, hogy olyan mérőszámokat határozzunk meg, amelyek felhasználhatók további méretezési vagy technológiai számításokhoz. A kinyerhető mérőszámok egy részének van fizikai jelentése, más mérőszámoknak azonban nincs: ezek csak összehasonlításra szolgálnak. Az előbbieket szilárdsági, az utóbbiakat technológiai vizsgálatoknak nevezzük.

Azonban a különféle anyagvizsgálati eljárásokból nyert mérőszámokat három állapot tényező befolyásolja (többek között): ezek a hőmérséklet, a feszültségi állapot jellege és az igénybevétel időbeli lefolyása. Ezért az egyes vizsgálati eljárásokból nyert mérőszámok csak akkor összehasonlíthatók, ha azokat azonos, szigorúan rögzített (vagyis megismételhető) körülmények között végzik.

## Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálat célja, hogy a próbatest anyagának a húzó igénybevétellel szembeni ellenálló képességét meghatározzuk.

A szakítóvizsgálat során a szabvány szerint előírt alakra munkált próbatestet egyenletes sebességgel húzzák tengelyirányban, egészen annak elszakadásáig.



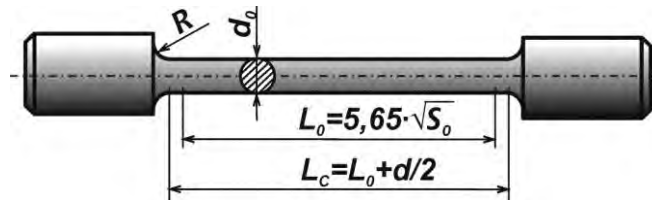
A szakítóvizsgálat az egyik leggyakoribb anyagvizsgálati eljárás: ennek oka, hogy viszonylag egyszerű kivitelezni és több, méretezéshez közvetlenül felhasználható mérőszám nyerhető ki belőle.

## A próbatest

A szakítókísérlet próbateste lehet kör- vagy négyszögkeresztmetszetű: az előbbit hengeres, az utóbbit a lemez alakú félkész termékből munkálják ki.

A próbatesteknek három fő részük van, ezek: a fej, a nyak (az átmeneti rész) és a kísérleti rész.

A kísérleti részen kell kijelölni a mérőhosszúságot: ez hengeres próbatest esetén 10- vagy 5-szöröse az átmérőnek (hasáb alakú próbatest esetén a keresztmetszettel egyenlő területű kör átmérőjével számolunk) és legalább 10–20 mm-rel rövidebb, mint a kísérleti rész.



## A Hooke-törvény

A legtöbb szakítógép regisztrálni tudja a húzóerőt a mérőhossz változásának függvényében: így kapjuk a szakítódiagramot.

A szakítódiagramok alakja utal a próbatest anyagának jellegére.

Minden szakítódiagram egy lineáris szakasszal kezdődik, amelyen belül rugalmas az alakváltozás, amit a Hooke-törvény fejez ki:

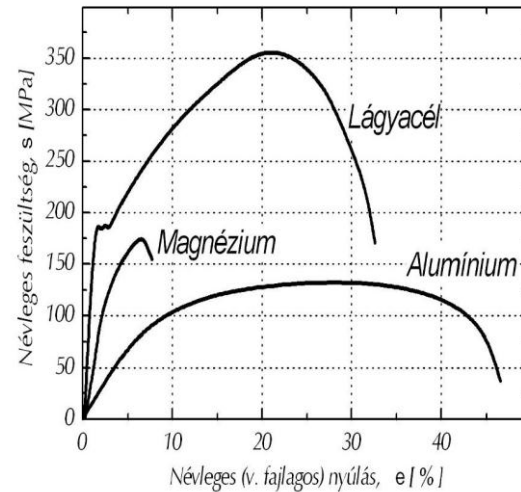
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \left( = \frac{F}{A} \cdot \frac{l_0}{\Delta l} \right); \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$

amelyben E a kérdéses anyag rugalmassági vagy Young-modulusa,  $\Delta l$  pedig az  $l_0$  kiindulási hosszal és A keresztmetszettel rendelkező minta megnyúlása F erő hatására.

## A szakítódiagram

A szakítódiagramok alakja (vagyis a különféle anyagok viselkedése a szakítóvizsgálatok során) nagyrészt a következő tényezőktől függ:

- az anyag kémiai összetétele;
- az anyag kristályszerkezete:
  - a térben középpontos köbös rácsszerkezetű fémekre (pl. Fe, Cr, Mo, V, W) jellemző a határozott folyáshatár;
  - a felületen középpontos köbös fémek (pl. Al, Cu) szakítódiagramja nem mutat folyási jelenséget, képlékeny viselkedést mutatnak;
  - a legsűrűbb illeszkedésű hexagonális (Mg) és a hexagonális szerkezetű fémek (Zn, Cd) kis mértékű maradó nyúlást mutatnak.
- az alakítás sebessége: nagyobb alakítási sebesség mellett határozottabban megjelenik a folyáshatár;
- a vizsgálat hőmérséklete: a hőmérséklet növelésével eltűnik a folyáshatár.



A rideg anyagok (pl. öntöttvas) a rugalmas alakváltozás tartományán belül szakadnak el (a szakítódiagramjuk egy nagy meredekségű egyenes). A képlékeny és a szívós anyagok maradó alakváltozásra képesek, a képlékeny anyagok (pl. alumínium, réz) azonban az alakváltozás során nem keményednek (a szakítódiagramjuk „lapos”), míg a szívós anyagok (pl. lágyacél) igen (a szakítódiagramjuk „púpos”). A szakítódiagram területe a szakadáshoz szükséges munkavégzéssel egyenlő.

A szakítóvizsgálat révén nyert mechanikai jellemzőket ún. mérnöki és valódi rendszerben szokás megadni. A mérnöki rendszerben a kiindulási átmérőre, a valódi rendszerben pedig a tényleges, pillanatnyi átmérőre vonatkoztatunk.

## A folyáshatár

A maradó alakváltozás megindulásához szükséges feszültséget folyáshatárnak nevezzük.

Mivel a folyáshatáron az erő gyakran ingadozik egy kisebb ( $F_{eL}$ ) és nagyobb érték ( $F_{eH}$ ) között, ezért ezeket az erőket a kiindulási keresztmetszetre ( $S_0$ ) vonatkoztatva kapjuk az alsó és felső folyáshatárt:

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}; \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right] \quad R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}; \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

Az egyezményes folyáshatár:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0}; \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

Ha nem mutatható ki egyértelmű folyáshatár, akkor az ún. egyezményes folyáshatárt alkalmazzuk, amit a 0,2% maradó alakváltozáshoz tartozó erőből ( $F_{p0,2}$ ) származtatunk (azt a kiindulási keresztmetszetre vonatkoztatjuk).

## A szakítószilárdság

A szakítás során kifejtett legnagyobb erőt a kiindulási keresztmetszetre vonatkoztatva kapjuk a szakítószilárdságot:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}; \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

Szokás még számítani a szakadási vagy törési szilárdságot:

$$R_u = \frac{F_u}{S_u}; \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

## Megnyúlások

A szakadásig bekövetkezett teljes maradó nyúlást a következő összefüggéssel számíthatjuk:

$$A = \frac{\Delta L_u}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100; [\%]$$

Egy eredetileg  $L_0$  hosszúságú mérőhossz alakváltozása a mérnöki rendszerben, miután a hossza  $L$  hosszúságúra változott:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_{L_0}^L d\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1 = \\ &= \frac{S_0}{S} - 1 = \frac{d_0^2}{d^2} - 1; [-] \end{aligned}$$

A valódi rendszerben a hosszváltozást a megváltozott hosszra vonatkoztatjuk\*:

$$\varphi = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{S_0}{S} = 2 \ln \frac{d_0}{d}; [-]$$

\*Mivel térfogatállandóságot feltételezve:  $L_0 \cdot S_0 = L \cdot S$  (ami azonban szigorúan véve nem áll).



## A kontrakció

A maximális húzóerő elérése után a próbatest keresztmetszete egy helyen gyorsan elkezd csökkenni: a jelenséget kontrakciónak nevezzük.

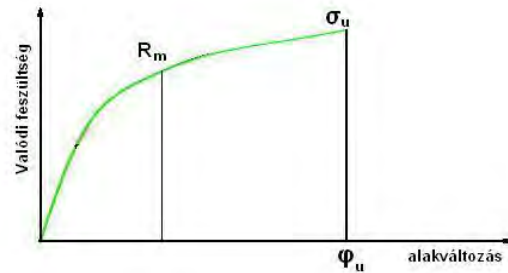
Szakadás után a legkisebb keresztmetszetben bekövetkezett fajlagos keresztmetszet-csökkenést (vagy kontrakciót) a következőképpen számítjuk:

$$Z = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_u^2}{d_0^2} \cdot 100; [\%]$$

ahol  $S_0$  a keresztmetszet eredeti (vizsgálat előtti) nagysága,  $S_u$  pedig a vizsgálat utáni nagysága.

## A fajlagos törési munka

A fajlagos törési munka a következőképpen értelmezhető (vagyis a feszültség-alakváltozás diagramok görbe alatti területével szemléltethető):



$$W = \int_0^{\varepsilon_u} \sigma_{\text{mémöki}} d\varepsilon = \int_0^{\varphi_u} \sigma_{\text{valódi}} d\varphi; \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right]$$

A fajlagos törési munka a fenti ábra alapján közelítőleg az alábbiak szerint is kiszámítható:

$$W \approx \frac{R_m + \sigma_u}{2} \cdot \varphi_u; \left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right]$$

## Zömítővizsgálat

A zömítés során huzal- vagy rúdanyagból darabolt félkész termékből állítunk elő alkatrészt úgy, hogy közben a félkész-termék keresztmetszete annak teljes vagy résztérfogatában megnövekedik.

A kiindulási huzal- vagy rúdanyag keresztmetszete a leggyakrabban hengeres, de lehet négyzet vagy hatszög.

A zömítés történhet hidegen vagy melegen: az előbbit hideg-, az utóbbit meleg zömítésnek nevezzük.

Jellemző módon zömítéssel készülnek például a csapágygolyók -görgők, csavaranyák (teljes térfogatra vonatkozó zömítéssel), valamint a csavarok, szegecsek, szegek (résztérfogatra kiterjedő zömítéssel).

A zömítő vizsgálat során a hengeres próbatestet a hossz tengelye irányában összenyomják.

## A zömítővizsgálat mérőszámai

A zömíthetőség mérőszáma a próbatest kiinduló ( $h_0$ ), és a palástfelületen kialakuló első repedés, szakadás megjelenéséig elért ( $h_1$ ) magasságából a következők szerint számíthatjuk:

$$x = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100; [\%] \quad n = \frac{h_1}{h_0}; [-]$$

Minél nagyobb a repedés megjelenéséig tapasztalható magasságcsökkenés, annál jobb a vizsgált anyag zömíthetősége.

A próbatestek kiindulási átmérője  $d_0 = 3 \dots 30$  mm, a kiindulási magasság és átmérő viszonya  $h_0/d_0$  acél esetén 2, egyéb fémek esetén pedig 1,5 (erre a veszélyes mértékű kihajlás elkerülése érdekében van szükség).

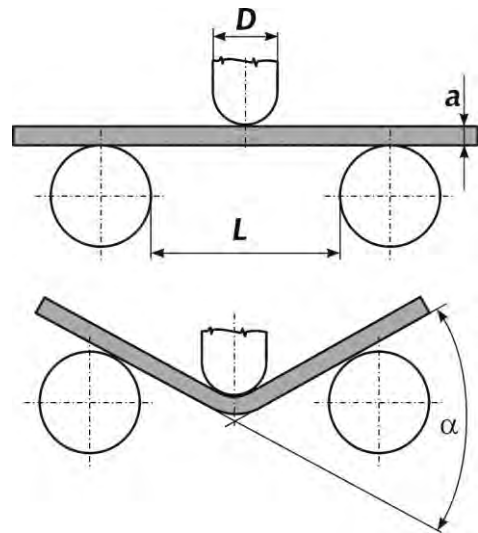
## Hajlítóvizsgálat

A hajlítóvizsgálatot rendszerint egyetemes anyagvizsgáló gépen hajtják végre úgy, hogy egy  $l$  hosszúságú támaszközön feltámaszkodó rudat a támaszköz közepén megterhelik.

A hajlítóvizsgálat során a nyomóerőt regisztrálják a behajlás függvényében.

A hajlítószilárdságot (vagyis azt a legnagyobb húzófeszültséget, amelynél a próbatest eltörik) a következőképpen határozhatjuk meg:

$$M_{\text{hszil}} = \frac{M_{\text{h max}}}{K} = \frac{F_{\text{max}} l}{4K}; \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$



A hajlítóvizsgálatot elsősorban rideg anyagok (például öntöttvas) törésig, ritkábban pedig szívós anyagok rugalmassági határig történő vizsgálatához alkalmazzák. Ennek okai: egyrészt a vonatkozó szilárdsági összefüggések csak a tisztán rugalmas tartományban érvényesek, másrészt a hajlítóvizsgálat a rideg anyagokról pontosabb anyagvizsgálati jellemzőket ad (a hajlítóvizsgálatnál a próbatest behajlása sokkal nagyobb, mint a szakítóvizsgálat esetén a megnyúlása), harmadrészt pedig a szóban forgó anyagféleségek törése főleg hajlítás során következik be.

A képletben  $l$  a próbatest támaszköze,  $K$  a próbatest keresztmetszeti tényezője és  $F_{\text{max}}$  a törésnél mért erő nagysága (figyelem:  $l \neq L$ !!!). A hajlító- és szakítószilárdság között nincs pontos kapcsolat: általában a hajlítószilárdság 1,8...2,3-szor akkora, mint a szakítószilárdság.

## Nyíróvizsgálat

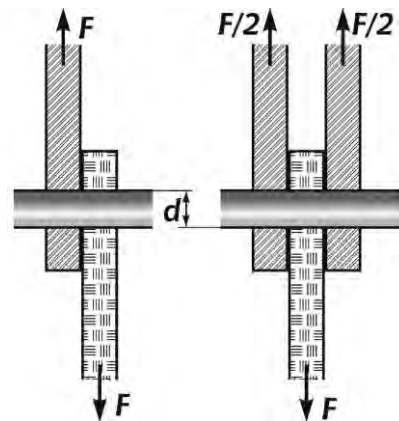
Nyíróvizsgálattal az anyag nyírószilárdságát határozzuk meg.

Ennek elsősorban olyan szerkezeti elemeknél van jelentősége, amelyeknél a nyírás a meghatározó mechanikai igénybevétel: mint pl. szegecsek, valamint bizonyos hegesztett kötések esetében.

A gyakorlatban tiszta nyírást nem lehet megvalósítani: bizonyos mértékű hajlítónyomaték mindig fellép.

A nyíróvizsgálat lehet egyszerű vagy kettős: az előbbi esetben egy darab, míg az utóbbi esetben két darab nyírt felülettel kell számolni. Leggyakrabban kettős nyírást végeznek hengeres próbatestenen.

A nyírószilárdságot ( $\tau_{\text{nysz}}$ ) általánosan a következőképpen számíthatjuk ki (ahol  $F_{\text{ny}}$  a nyíróerő és  $A$  pedig a nyírt felület(ek) nagysága):



$$\tau_{\text{nysz}} = \frac{F_{\text{ny}}}{A}; \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$

## Csavaróvizsgálat

Csavaróvizsgálattal azt határozzuk meg, hogy valamely anyagból készített, legtöbbször hengeres próbatest adott csavarónyomaték hatására milyen mértékben csavarodik el. A csavaróvizsgálatot külön e célra szerkesztett berendezéssel végezzük.

A vizsgálat során az  $l$  hosszúságú próbatestet az egyik végén rögzítjük, a másikon pedig csavarónyomatékkal ( $M_{cs}$ ) terheli, és közben mérjük az elcsavarodását ( $\varphi$ ).

A csavaróvizsgálatból meghatározható a próbatest anyagának torziós rugalmassági modulusa (jele:  $G$ , anyagállandó) és csavarószilárdsága ( $\tau_{cssz}$ ). ( $I_p$  a próbatest keresztmetszetének poláris inercianyomatéka.)

$$G = \frac{M_{cs} l}{I_p \varphi}; \left[ \frac{N}{m^2} = Pa \right] \qquad \tau_{cssz} = \varphi G; \left[ \frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

## Keménységmérés

Keménységnek nevezzük valamely anyagnak egy nálánál jóval keményebb beléje hatoló testtel szemben kifejtett ellenállását.

A keménységmérések előnyei, hogy viszonylag egyszerűek, gyorsak, továbbá a vizsgálandó munkadarab felszínének igen kis részére terjednek ki (gyakorlatilag roncsolásmentesek). A gyakorlatban a legelterjedtebb statikus\* (vagy szűrő) keménységmérési eljárások a következők: a Brinell-, a Vickers- és a Rockwell-eljárások.

Ezen keménységmérési eljárások közös jellemzője, hogy meghatározott feltételek (erő, nyomószerszám) mellett kell őket végrehajtani, és a számértékeik között nem állítható fel pontos kapcsolat.

\* Léteznek dinamikus és karcoló keménységmérési eljárások is.

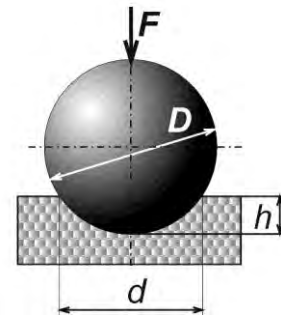


## A Brinell-keménység

A Brinell-féle keménységmérési eljárásnál egy  $D$  átmérőjű edzett acélgolyót nyomunk  $F$  [N] erővel a munkadarabba, és mérjük a lenyomat  $d$  átmérőjét.

A munkadarab keménységét a nyomóerő és a lenyomat felszínének (vagyis egy gömbsüvegnek) a hányadosa adja:

$$HB = \frac{0,102F}{D\pi h} = \frac{0,204F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



A Brinell-keménység számértéke nagyban függ a vizsgálat körülményeitől, többek között: 1) a golyó átmérőjének és a munkadarab vastagságának viszonyától; 2) azonos anyag és golyóátmérő mellett más terhelőerő esetén a keménység számértéke is más lesz; 3) azonos anyag és terhelőerő mellett a keménység számértéke függ a golyóátmérőtől; 4) a terhelőerő fenntartásának időtartamától.

## Golyóátmérők és terhelőerők

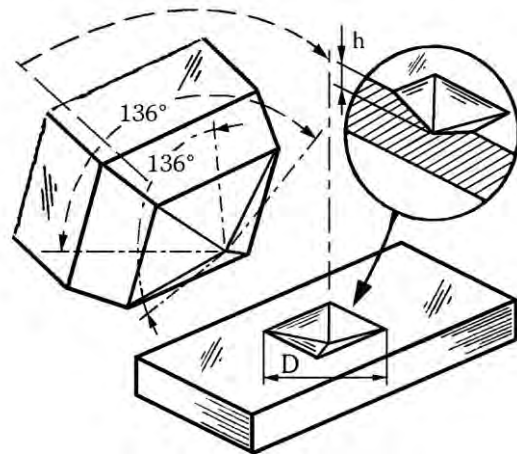
A golyó átmérője, D (mm)	A munkadarab vastagsága (mm)	A terhelőerő nagysága, F (kp)			
		$30D^2$	$10D^2$	$5D^2$	$2,5D^2$
		100...450 HB (pl. acél, öntöttvas)	35...100 HB (pl. Al-ötvözetek, réz, bronz, sárgaréz)	10...35 HB (pl. réz-, Al-Zn-ötvözetek)	10 HB (pl. Pb-, Sn-ötvözetek)
10	6	3000	1000	500	250
5	3...6	750	250	125	62,5
2,5	3	187,5	62,5	31,5	15,6

Forrás: Dr. Zorkóczy Béla: Metallográfia és anyagvizsgálat;  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1968., 400. oldal

## A Vickers-keménység

Nagyrészt a Brinell-féle keménységmérés hátrányainak\* kiküszöbölésére alkották meg a Vickers-féle keménységmérést, ahol a nyomótest egy 136°-os csúcsszögű négyzet alapú gyémántgúla.

Mind a nyomószerszám, mind a terhelőerő (F, [N]) nagysága olyan kicsi, hogy alig észrevehető nyomot hagy a munkadarab felszínén, ezért például vékony nitridált vagy cementált kérgék keménysége is vizsgálható általa.



$$HV = \frac{0,102F}{A} = 2 \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right) \frac{0,102F}{D^2} \approx 0,1891 \frac{F}{D^2}$$

\*A Brinell-féle keménységmérés fő hátrányai, hogy a számértéke több tényezőtől függ és legfeljebb 400...450 HB keménységű anyagokig használható (mivel ezen keménységérték felett a golyó benyomódásával kell számolni).

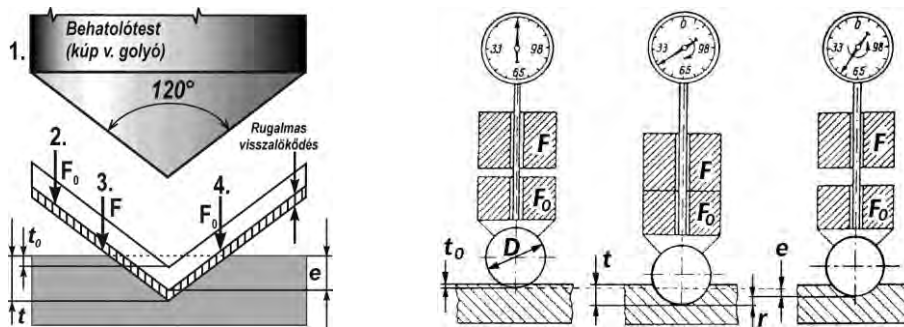
A Vickers-féle keménységméréseknél a terhelőerő nagyságát 5...1200 N választhatjuk meg a vizsgálandó munkadarab vastagságának figyelembevételével: az legalább tízszerese legyen a benyomódás mélységének, vagyis képlettel:  $h=1,945F/HV$ .

## A Rockwell-keménység

A Vickers-féle keménységmérés egyetlen hátránya, hogy nem elég gyors ahhoz, hogy sorozatgyártási körülmények között lehessen alkalmazni.

Erre a célra fejlesztették ki a Rockwell-féle keménységmérést. Ennél a nyomószerszám egy  $120^\circ$ -os kúpszögű gyémántkúp (HRC), vagy pedig egy 1,59 mm (=1/16 angol hüvelyk) átmérőjű edzett acélgolyó (HRB), viszont az előzőekkel ellentétben a keménység számértékét a benyomódás mélységéből ( $e$ , mm) határozzuk meg (a gyakorlatban azonban egy megfelelően kalibrált mérőóráról közvetlenül leolvasható):

$$\text{HRB} = 130 - (e/0,002) \quad \text{illetve} \quad \text{HRC} = 100 - (e/0,002)$$



A Rockwell-féle keménységmérés során először bizonyos ideig egy ún. előterhelést ( $F_0$ ) alkalmaznak a felületi egyenetlenségek hatásának legyőzésére (az előterhelés okozta benyomódás mértéke az ábrán  $t_0$ ). Az előterhelés után következik a főterhelés ( $F$ ), amely  $t$  mértékű benyomódást okoz. A főterhelés levétele után a mérőszerszám kissé „visszarugózik”, és a mért „maradó” benyomódási mélység ( $e$ ) fogja adni a keménységértéket.

## Charpy-féle ütővizsgálat

A Charpy-féle ütővizsgálattal (ütve hajlítással) a próbatest anyagának ütésszerű igénybevétellel szembeni viselkedését vizsgálhatjuk (a Charpy-féle ütőművet/ingát használják ütve szakításra is).

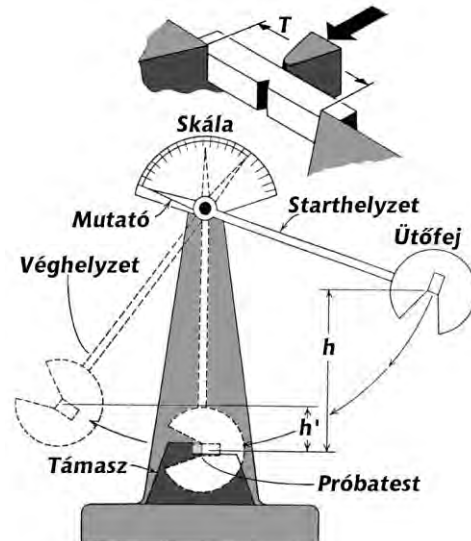
Fontos, hogy az általa adott mérőszámnak (fajlagos ütőmunka) nincs fizikai jelentése, így méretezéshez közvetlenül nem használható fel: a különböző anyagú, ám azonos geometriájú próbatestek összehasonlítására azonban igen jól felhasználható (utal az anyagok szívósságára).

## Az ütőmű

A fajlagos ütőmunka nagysága függ az ütés sebességétől (vagyis magától az ütőműtől), valamint – és aminek nagy a jelentősége – a próbatest hőmérsékletétől: kisebb hőmérsékleteken kisebb, nagyobb hőmérsékleteken nagyobb.

Ha tehát különböző hőmérsékleteken vizsgálunk egyazon anyagot, akkor abból megállapíthatjuk az elridegedésének hőmérsékletét.

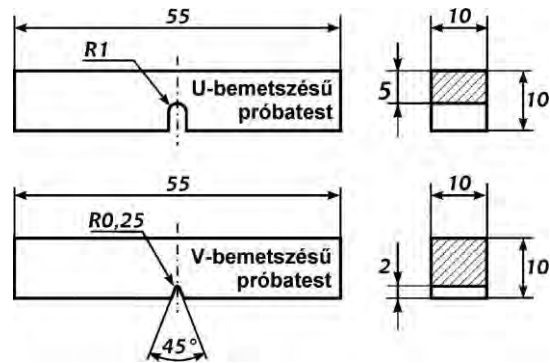
Igen jól felhasználható a szívósságot befolyásoló hőkezelések eredményességének ellenőrzésére.



## A próbatest

A vizsgálati eljárás során a közepén bemetszett, szabványos próbatest\* az ütőmű kosával egy ütéssel eltörjük.

A töréshez felhasznált munkát a kos tömegéből ( $m$ ), valamint a kiindulási ( $h$ ) és ütés utáni magasságából ( $h'$ ) számítjuk\*\*:



$$KV = mg(h - h'); [J]$$

\* Manapság nagyon ritkán használnak U-bemetszésű próbatestet.

\*\* Régebben a törési munkát a törési felületre ( $A$ ) vonatkoztatták.

## Ismétlődő terhelések hatása

Az ismétlődő terhelések hatásainak vizsgálata azért indokolt, mert a műszaki gyakorlatban az anyag folyáshatára alatt terhelt alkatrészek tönkremenetele mintegy 90%-ban a fáradásra vezethető vissza.

A fáradás okozta törés rendszerint egy hosszabb idő elteltével és az alkatrészen különösebben nem látható változás nélkül következik be. Fáradást az időben változó és hosszú időn keresztül ismétlődő terhelések okoznak.

Bár a gyakorlatban a legtöbb alkatrész, szerkezet időben változó igénybevételnek van kitéve, fáradásos töréshez leginkább a következő tényezők vezetnek:

- hirtelen ébredő, egyszeri túlzott terhelés;
- a terhelőfeszültség gyakori és nagy ingadozása;
- az ismétlődő igénybevételek túl nagy száma.

A fáradás okozta törés kialakulását a következő tényezők is befolyásolják:

- feszültséggyűjtő helyek jelenléte;
- a hőmérséklet ingadozása;
- a korrózió;
- az anyagban ébredő feszültségek nagysága és azok eloszlása;
- a többtengelyű feszültségi állapot.

A fáradás okozta töréssel nagyobb számban először a vasút hőskorában, a 19. sz. második felében találtak. Azt tapasztalták, hogy a vasúti kerékpártengelyek bizonyos idő elteltével eltörtek, holott megfelelő biztonsággal méretezték őket.



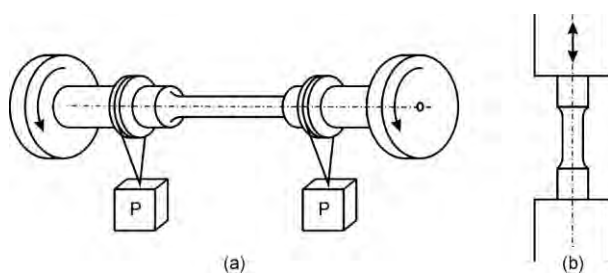
## Fárasztóvizsgálat

A kifáradásra hajlamos anyagok jellemzőit laboratóriumokban határozzák meg, amihez olyan speciális berendezéseket használnak, amelyekkel a terhelés nagysága és időbeli változása változtatható és mérhető.

A fárasztóvizsgálatok legfőbb csoportjai a következők: a forgó-hajlító (a) és húzó-nyomó fárasztóvizsgálatok (b) tartoznak.\*

A forgó-hajlító fárasztóvizsgálatok során forgás közben terhelik a próbatestet, és a kifáradásra jellemző ciklusszámot (vagyis a tönkremenetelig megtett fordulatok számát) mérik. Könnyen belátható, hogy forgás közben a próbatest szálai (a semleges szál kivételével) ismétlődően húzott és nyomott állapotba kerülnek, vagyis a keresztmetszetekben a hajlítófeszültség szinuszosan változik (a hajlítónyomaték nagyságának és a semleges száltól való távolságnak megfelelően).

A húzó-nyomó fárasztóvizsgálatok során a próbatestet egy szakítóvizsgálathoz hasonló berendezéssel húzzák illetve nyomják, miközben annak a terhelésre merőleges keresztmetszetében időben változik a feszültség. Szükség esetén a feszültség helytől függő változását bemetszésekkel lehet elérni.



\* Használnak még hajlítgató és csavargató fárasztóvizsgálatokat, valamint adott alkatrészre speciálisan jellemző összetettebb terhelés okozta fárasztóvizsgálatokat.

## Tartós terhelések nagy hőmérsékleten

A kúszás vagy tartósfolyás az a jelenség, amikor valamely fémből vagy ötvözetből készült elemnél, az adott fémre jellemző elég nagy hőmérsékleten ( $T \geq 0,4T_{\text{olvadáspont}}[\text{K}]$ ) állandó terhelés hatására kismértékű, folyamatos alakváltozás következik be.

Közönséges hőmérsékleteken a jelenség rendszerint nem tapasztalható, mert a folyáshatárnál kisebb terhelés hatására rugalmas alakváltozás jön létre, amely egy adott értéknél megáll.

Ha a terhelés képes képlékeny alakváltozást létrehozni, akkor a keresztmetszet-csökkenés miatt megnő abban a valódi feszültség, ami tovább növelné az alakváltozás mértékét, ha a minta az alakváltozás hatására nem keményedne – ez a keményedés az esetek többségében képes megállítani az alakváltozást. Határozott folyáshatárú fémekben ezért kúszás nem jelentkezhet.

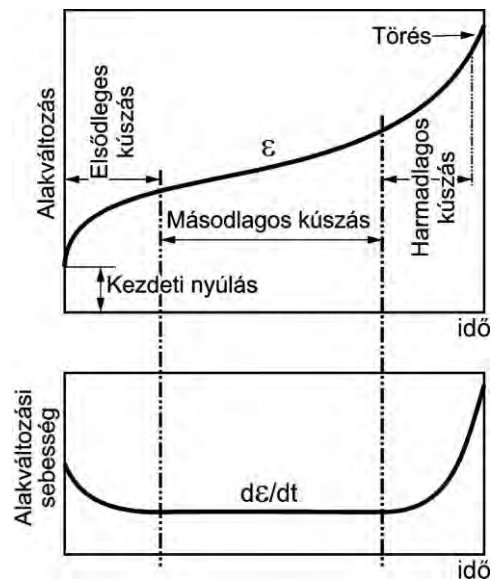
Nagyobb hőmérsékleteken azonban az anyagok szövetszerkezetében olyan változások léphetnek fel (pl. újrakristályosodás), amelynek hatására az alakváltozás állandósulhat. A kúszás jelenségét először a nagy hőmérsékletnek és belső nyomásnak kitett, acélból készült kazáncsőveken észlelték először – azonban a jelenséggel más fémeknél és más hőmérsékleteknél is számolni kell.

## A kúszás általános görbéje

A kúszás I. (vagy kezdeti és legrövidebb) szakaszában (az állandó terhelés hatására) kezdetben nagy nyúlássebesség figyelhető meg, amely alatt növekszik a diszlokációsűrűség és ezzel a keménység, ám ezekkel egyidejűleg jelentkezik a megújulás illetve újrakristályosodás.

A kúszás II. (vagy állandósult, és időben leghosszabb) szakaszára állandósul a nyúlás sebessége, mivel a keményedés egyensúlyba kerül a megújulás illetve az újrakristályosodás során jelentkező lágyulással.

A III. (vagy törési) szakasz a kontrakció megjelenésével kezdődik, és az emiatt bekövetkező keresztmetszet-csökkenés (valódi feszültségnövekedés) hatására a nyúlás sebessége elkezd növekedni – egészen a törésig, amely többször csak 1% maradó nyúlás után következik be.



A II. szakasz a hőmérséklettől és a terhelés mértékétől függően több évig is eltarthat. A II. szakaszban jelennek meg a kiválások: ezek kezdetben finomak, diszperzek, így növelik az anyag kúszással szembeni ellenállását. Később azonban összeállnak, durvulnak, amivel már csökkentik az anyag kúszással szembeni ellenállását: mivel a kevesebb, de nagyobb szegregátumok kisebb ellenállást jelentenek a diszlokációk számára.

A III. szakasz végén a törés azért következik be, mert egyes szemcsehatárokon apró üregek jelennek meg. Ezek elkezdnek növekedni, míg egymásba érnek, és a szemcsehatárok mentén törés következik be.

A fentiek alapján az anyagok kúszásállóságát alapvetően kétféle módon lehet növelni:

- az újrakristályosodási hőmérséklet növelésével (olyan ötvözők alkalmazásával, amelyek növelik azt),
- a diszlokációk mozgásának akadályozásával (kemény, nem oldódó kiválások létrehozásával az alapanyagban).

## A kúszás vizsgálata

A kúszást vizsgáló berendezések három fő részből állnak, ezek a következők: az állandó terhelést biztosító berendezés, az állandó hőmérsékletet biztosító kemence, valamint a nyúlást mérő és regisztráló berendezés.

A kúszásvizsgálatok rendszerint automatizáltak: vagyis a kúszási diagram felvétele folyamatos. Azonban lehetnek esetek, amikor megszakításos vizsgálatot kell alkalmazni: vagyis a próbatestet tehermentesítik, kiveszik, hogy lemérjék a nyúlást – ilyenkor értelemszerűen a vizsgálati időbe csak a terhelés alatti, kemencében eltöltött időt szabad beleszámítani.

A kúszásvizsgálati próbatestek hasonlóak, mint a szakítóvizsgálatnál alkalmazott próbatestek: tehát ők is rendelkeznek két végükön a befogásra szolgáló fejjel, átmeneti résszel és vizsgálati hosszal, amelynek olyan kialakításúnak kell lenni, amely lehetővé teszi a nyúlásmérő eszköz biztos elhelyezését.

A próbatestek szelvénye legtöbbször kör, de alkalmaznak téglalap (lapos) és kis átmérőjű csőből készült „lapos-ívelt” próbatesteket is. Mivel a kúszásvizsgálatok hosszú időt igényelnek, ezért a hatékonyság növelése érdekében általában egy alkalommal több mintát helyeznek el a kemencében – akár több „fűzérben”.

## A kúszásvizsgálat mérőszámai

A kúszási diagram alapján egyrészt meghatározható az, hogy adott hőmérsékleten és terhelés mellett a próbatest mennyi idő alatt ért el valamekkora mértékű maradó alakváltozást; másrészt pedig az, hogy a próbatest mennyi idő alatt tört el.

Az ilyen jellegű eredmények azonban méretezéshez kevésbé használhatók fel, ezért a kúszásvizsgálatok során az alábbi jellemzőket határozzák meg:

- kúszási vagy kúszószilárdság (esetleg idő- vagy időleges szilárdság), ami az a feszültség (MPa), amellyel  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) hőmérsékleten  $t$  (óra) ideig terhelve a próbatestet, az annak törését okozza; jelölése:  $R_{m\ t/T}$ .
- kúszáshatár, ami az a feszültség (MPa), amellyel  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) hőmérsékleten  $t$  (óra) ideig terhelve a próbatestet, az annak adott mértékű  $\varepsilon$  (%) maradó megnyúlását okozza; jelölése:  $R_{p\varepsilon/t/T}$ .
- A kúszásvizsgálatok eredményeiből a szakítóvizsgálatnál ismertetett módon számítható még fajlagos szakadási nyúlás és kontrakció. A kúszásvizsgálatok elvégzése nagy körültekintést igényel, mivel egy vizsgálat hosszú ideig tart és gyakorlatilag nem lehet megismételni.

## A témakörhöz kapcsolódó áttekintő kérdések

- Ismertesse a szakítóvizsgálat elrendezését és a belőle származtatható mérőszámokat!
- Ismertesse a zömítő-, hajlító-, nyíró- és csavaróvizsgálattal kapcsolatos fontosabb tudnivalókat (elrendezés, mérőszám, alkalmazhatóság)!
- Ismertesse a statikus keménységmérési eljárásokkal (Brinell, Vickers, Rockwell) kapcsolatos fontosabb tudnivalókat (nyomótest, mérőszám, alkalmazhatóság)!
- Ismertesse a Charpy-féle ütővizsgálat elrendezését, a belőle származtatható mérőszámot és a jellemező alkalmazási területét!
- Ismertesse a fázisvizsgálatok típusait!
- Ismertesse a kúszásvizsgálat berendezésének főbb részeit, a vizsgálat lebonyolításának fontosabb tudnivalóit és a vizsgálatból származtatható mérőszámokat!

## **A témakör fontosabb kifejezései angol nyelven**

- Tensile testing, Hooke's law, stress-strain curve, yield strength, ultimate tensile strength,
- Indentation hardness test,
- Bending, shearing test,
- Charpy impact test, pendulum axe,
- fatigue test,
- Creep test,

## Roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások

A roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások alkalmazásának célja, hogy a munkadarab valamilyen felszíni, felszín közeli, vagy a mélyben levő anyaghibáját (annak helyzetét, kiterjedését) a vizsgált munkadarab károsodása nélkül határozzuk meg: vagyis a vizsgálat után a munkadarab betöltheti azt a funkciót, amelyre tervezték.



## Üzemeltetés közben kialakuló anyaghibák

- Kifáradás okozta repedések
- Korróziós és feszültségkorróziós repedések
- Kúszásos károsodások.

A hibák megjelenési formájukat tekintve lehetnek *felületszerűek* (repedések, rálapolódások, rétegeségi hibák stb.), valamint *térfogati hibák* (üregek, gáz-, és salakzárványok stb.). A felsorolt hibák közül a közel gömb alakú gázzárványok a legkevésbé veszélyesek. Veszélyesebbek a szabálytalan alakú salak- és egyéb nemfémes anyagokból álló zárványok. A repedések, amelyek éles bemetszéseket jelentenek. Ezek a legveszélyesebbek, így repedést teherhordó szerkezetekben egyáltalán nem engednek meg.

*Az anyaghibák keletkezésük alapján az alábbi két csoportra oszthatók. Beszélhetünk gyártástechnológiai- ill. üzemeltetési hibákról.*

A gyártástechnológiai hibák az alkatrészek különböző gyártási fázisai során keletkezhetnek egészen az alapanyaggyártástól a késztermék utolsó technológiai folyamatáig. Egyaránt lehetnek síkszerű és térfogati hibák is. Ilyenek a különböző öntési, meleg-, és hidegalakítási, hőkezelési, hegesztési, köszörlési stb. hibák.

Az üzemeltetés során keletkezett hibák általában anyaghibára (esetleg elcserélt anyagminőségre, anyagkeveredésre) illetve túlterhelésre vezethetőek vissza. Az így keletkezett hibák túlnyomórészt repedések.

## Technológiai eredetű anyaghibák

- Öntési és hegesztési hibák (zsugorodási repedések, repedések, gáz-, ill. salakzárványok)
- Képlékeny alakítás okozta hibák (rálapolódások, felszakadások)
- Hőkezeléskor kialakuló hibák (edzési repedések)
- Forgácsolás során képződő hibák (köszörülési repedés).

A roncsolásmentes anyagvizsgálat hagyományos szerepe repedések, zárványok illetve egyéb olyan *anyaghibák kimutatása*, amelyek a berendezés vagy szerkezet használhatóságát és biztonságát veszélyeztetik. Mindemellett terjednek azok a vizsgálati módszerek, amelyek a termékek *mechanikai és egyéb tulajdonságainak meghatározására* szolgálnak. A vizsgálatokat általában a termék végellenőrzésére alkalmazzák, bár a már említett szigorú követelmények miatt egyre jobban beépülnek a gyártási folyamat mind több fázisába, az alkalmazott gyártástechnológia optimalizálása, valamint a hibás darabok kiszűrése érdekében. Az egyes alkatrészekben végzett vizsgálatokkal a tervezők, a technológusok betekintést kaphatnak a megmunkálási folyamatok hatásmechanizmusába, ellenőrizhetik az üzemeltetés során előálló igénybevétel következményeit, amely alapján javíthatnak a gyártmány minőségén, csökkentve ezzel a fejlesztések költségeit. A roncsolásmentes anyagvizsgálat tehát ma már nemcsak a minőségbiztosítás eszköze, hanem segíti a fejlesztési tevékenységet is.

Fejezetünkben az ún. *defektoszkópiái*, azaz hibakereső vizsgálatokkal foglalkozunk, melyek célja a belső és felületi anyaghibák (rejtett hibák) kimutatása. Az ilyen rejtett hibák az anyag tulajdonságait és felhasználhatóságát nagymértékben befolyásolják, sőt adott esetben a szerkezet rendeltetésszerű felhasználására alkalmatlanná tehetik.

## Legfontosabb hagyományos roncsolásmentes vizsgálati eljárások

- Szemrevételezéses (szabad szemmel, mikroszkóppal, endoszkóppal) (VT)
- Festékpenetrációs vizsgálat (PT)
- Ultrahangos vizsgálat (UT)
- Radiográfiai vizsgálatok (RT)
  - Röntgenvizsgálat (átvilágító, diffrakciós)
  - Izotópos vizsgálat
- Mágneses repedésvizsgálat (MT)
- Örvényáramú vizsgálat (ET)
- Tömörségvizsgálat (LT)

A roncsolásmentes anyagvizsgálat hagyományos szerepe repedések, zárványok illetve egyéb olyan *anyaghibák kimutatása*, amelyek a berendezés vagy szerkezet használhatóságát és biztonságát veszélyeztetik. Mindemellett terjednek azok a vizsgálati módszerek, amelyek a termékek *mechanikai és egyéb tulajdonságainak meghatározására* szolgálnak. A vizsgálatokat általában a termék végellenőrzésére alkalmazzák, bár a már említett szigorú követelmények miatt egyre jobban beépülnek a gyártási folyamat mind több fázisába, az alkalmazott gyártástechnológia optimalizálása, valamint a hibás darabok kiszűrése érdekében. Az egyes alkatrészekeken végzett vizsgálatokkal a tervezők, a technológusok betekintést kaphatnak a megmunkálási folyamatok hatásmechanizmusába, ellenőrizhetik az üzemeltetés során előálló igénybevétel következményeit, amely alapján javíthatnak a gyártmány minőségén, csökkentve ezzel a fejlesztések költségeit. A roncsolásmentes anyagvizsgálat tehát ma már nemcsak a minőségbiztosítás eszköze, hanem segíti a fejlesztési tevékenységet is.

Az eltérő fizikai elven működő roncsolásmentes vizsgálati módszerek nem egyformán használhatók a hibák detektálásra vagy anyagtulajdonságok jellemzésére, ezért azok teljesítőképességét, alkalmazási lehetőségeit mindig szem előtt kell tartani. A különböző eljárások sokoldalúan használhatók, de mindegyiknek meg vannak a maga korlátai.

## A hibakimutatók lehetőségei

Alapelv:

A hiba hatására – annak környezetében – megváltozik az anyag valamely fizikai (optikai, mágneses, villamos stb.) jellemzője.

Olyan információhordozót (pl. mechanikai rezgések, elektromágneses sugárzások) kell választani, amelynek változásából egyértelműen lehet következtetni a hiba jellemzőire.

A roncsolásmentes vizsgálatok jelentős része kis-, és nagyfrekvenciás mechanikai rezgések (akusztikus és ultrahangos módszerek), valamint különböző hullámhosszúságú elektromágneses sugárzások (röntgen- és gammasugarak) felhasználásán alapulnak. További módszerek a vizsgált anyag villamos és mágneses tulajdonságainak és szerkezetének kapcsolatát használják ki. Kiegészül a sor még a folyadékbehatolásos (penetrációs) és a vizuális vizsgálattal.

## A vizsgálati módszer kiválasztásának szempontjai

- a vizsgált darab anyaga, mérete, geometriája,
- a feltételezhető hiba helye, mérete,
- a kimutatás pontossága,
- a dokumentálhatóság

A vizsgálati eljárás kiválasztásának számos szempontja lehet. Meghatározó a vizsgálandó anyag fizikai és kémiai tulajdonsága, alakja, mérete, felületi kiképzése. További megfontolást igényel az a körülmény, hogy a vizsgálat elvégezhető-e közvetlenül a tárgyon, vagy pedig csak attól bizonyos távolságban. Előfordulhat olyan eset is, hogy a tárgynak csak egyik oldala megközelíthető, míg a másik oldal beépítési vagy egyéb okból nem hozzáférhető. Figyelembe kell venni azt is, hogy helyszínen kell-e vizsgálni, gyártósorban vagy laboratóriumban, kis, illetve nagy sorozatban. A hibakereső vizsgálatok megválasztásának fontos szempontja a kimutatni kívánt hiba jellege, alakja, mérete is.

## Vizuális (szemrevételezéses) vizsgálatok

Mérési elv: látható fényben a hibák érzékelése.

Alkalmazhatóság: csak felületre kijutó hibák (repedések, porozitások, felületi hibák, felszakadások, beszívódások stb.) kimutatására alkalmas.

Előnyök/hátrányok: gyors, egyszerű, olcsó, szakértelmet nem igényel de szubjektív, nehezen dokumentálható.

A felületi hibák kimutatására alkalmas legegyszerűbb vizsgálati módszer. A szemrevételezéses vizsgálatot gyakran más vizsgálati módszerekkel kombinálva ill. azok kiegészítőjeként alkalmazzuk.

A vizsgálat során a darab felületét szabad szemmel vagy segédeszközzel tanulmányozzuk az esetleges folytonossági hiányok (repedések, felnyílt üregek stb.) ill. felületi hibák (kopási-, kavitációs-, korróziós nyomok stb.) kimutatása céljából. Ennek megfelelően beszélhetünk közvetlen vagy közvetett szemrevételezéses vizsgálatról. A vizsgálati darab felületének azon helyeit, amelyek az emberi szem által jól láthatóak, közvetlen szemrevételezéssel ellenőrizzük. Amennyiben a feltételezett hiba helye nem vagy rosszul látható akkor közvetett vagy endoszkópos vizsgálatot végzünk.

A vizsgálat során alapvető fontosságú a felület megfelelő megvilágítása. Szabadban végzett vizsgálatoknál a természetes megvilágítás, fedett helyen mesterséges megvilágítást kell alkalmazni, amely nem lehet vakító, szórt fényt ad és kell érnie legalább 500 lux fényerőt. A hibakimutathatóság érdekében lényeges a fém tiszta, lerakódásoktól mentes vizsgálati felület biztosítása.

Az eljárás kevésbé érzékeny a kisméretű összezáródott repedések kimutatására és a csekély mértékű geometriai eltérések detektálására. Érzékeny a viszonylag nagyobb méretű térfogatos hibák és az elnyílt repedés jellegű hibák, valamint a durvább geometriai eltérések kimutatására. A hibakimutathatóság korlátja az emberi szem, illetve az alkalmazott segédeszköz felbontó képessége.

A felhasználható segédeszközök a következők lehetnek:

Közvetlen hozzáférést biztosító eszközök: tolómérő, mikrométer, szögmérők, varratmérő, idomszerrek, egyszerű és binokuláris nagyítók, mikroszkópok, fémmikroszkópok, projektorok, fényképezőgép. Közvetett hozzáférést biztosító eszközök: tükrök, merev száras endoszkópok, üvegszálas endoszkópok, chip-kamerával egybeépített üvegszálas endoszkópok.

A szemrevételezéses vizsgálat sokszor alapvető fontosságú információkat ad, fotók készítésével jól dokumentálható és a további vizsgálatok kijelölésében segítséget ad. Azonban a vizsgálat kiértékelé-

se kétségtelenül részben szubjektív. A hibakimutatás és a hibák megítélése az ellenőrzést végző személy szakmai tapasztalatától, pillanatnyi értékelő képességétől is függ.

## Folyadékbehatolósos (penetrációs) eljárások

**Mérési elv:** a kis felületi feszültségű (kapillár – aktív) folyadék behatol a felületre nyitott repedésbe, majd kiszivárog onnan és kirajzolja a hiba alakját (a repedés mélysége és szélessége nem mérhető)

**Alkalmazhatóság:** csak felületre kijutó hibák, repedések kimutatására

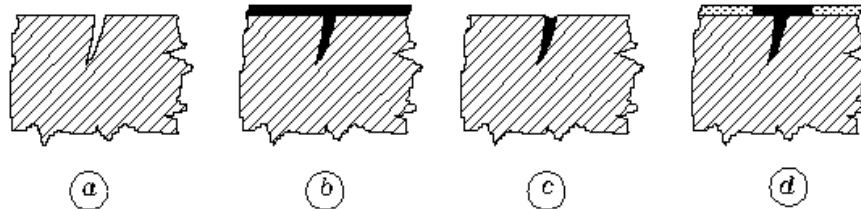
**Kivitelezés:** felület tisztítás, jelzőfolyadék-felvitel, feleslegeltávolítás, előhívó anyag felvitele, hibakimutatás.

A folyadékbehatolósos (ún. *penetrációs*) módszer egyike a legrégebbi roncsolás nélküli vizsgálati eljárásoknak. A vizsgálati eljárás alapja, hogy ha a folyadékok a kapilláris hatás alapján, a felületen lévő folytonossági hiányokba behatolnak, hajlamosak arra, hogy hosszabb rövidebb idő után azokból kiszivárogjanak. A hatás fokozható nagy szívóhatású kontrasztanyag felvitelével, amely a behatolt folyadék anyagot vagy annak egy részét a felületre hozza, és a kiszivárgást gyorsítja.

A penetrációs vizsgálat repedések, gyűrődések, pórusosság roncsolás nélküli kimutatására alkalmas. Feltétel, hogy a hibás helyek a felületre érjenek vagy azzal közvetlen kapcsolatban legyenek. A módszer előnye elsősorban abban nyilvánul meg, hogy nem mágnesezhető anyagok (műanyag, üveg stb.) vizsgálatára is alkalmas, nincs különleges helyigénye, nem igényel költséges beruházást, bárhol helyszínen is elvégezhető.



## Folyadékbehatolási vizsgálat menete



- a. a felület előkészítése
- b. a penetrálfolyadék felvitele
- c. a felesleges folyadék eltávolítása
- d. előhívás, értékelés

A vizsgálati eljárás lényegében az alábbi műveletekből áll:

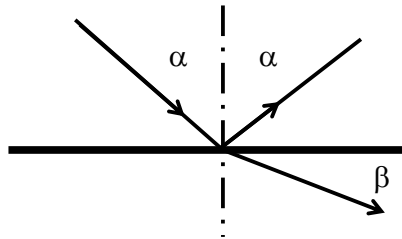
- A felület előzetes tisztítása, zsírtalanítása.
- A jelzőfolyadék felvitele az előzőleg megtisztított és megszáritott felületre (penetrálás). Ez után kellő időt hagyunk arra, hogy a felületre kiérő valamennyi folytonossági hiányba a folyadék behatoljon.
- A jelzőfolyadék feleslegének eltávolítása a felületről.
- Az előhívóanyag felvitele a felületre, ezáltal a hiányokba, repedésekbe behatolt jelzőfolyadékot a felületre hozzuk.
- Szabad szemmel vagy nagyítószerrel megvizsgáljuk a felületet, kiértékelés.

Az alkalmazott *jelzőfolyadékok* lehetnek fluoreszkálóak, színezettek (általában piros), illetve kombináltak. Jelzőfolyadékon olyan folyadékot kell érteni, amely fizikai tulajdonságai alapján szűk résekbe vagy szilárd testek repedéseibe behatol (akár egy fáradásos repedésbe is, melynek szélessége 0,002 mm is lehet). Eltávolításuk a folyadék típusától függően történhet folyékony oldószerrel, gázhalmazállapotú oldószerrel, vízzel vagy vízben oldható oldószerrel.

Az *előhívó* általában fehér kontrasztanyag, amely lehet por vagy szuszpenzió. Az előhívó kontrasztanyagának nagy szívóhatásúnak kell lennie, hogy a vizsgálati darab folytonossági hiányaiba behatolt jelzőfolyadék egy részét ismét a felületre hozza.

## Ultrahangos vizsgálat

Mérési elv: a vizsgált anyagban terjedő nyomáshullámok útjába kerülő hibák megváltoztatják a hullámterjedés viszonyait



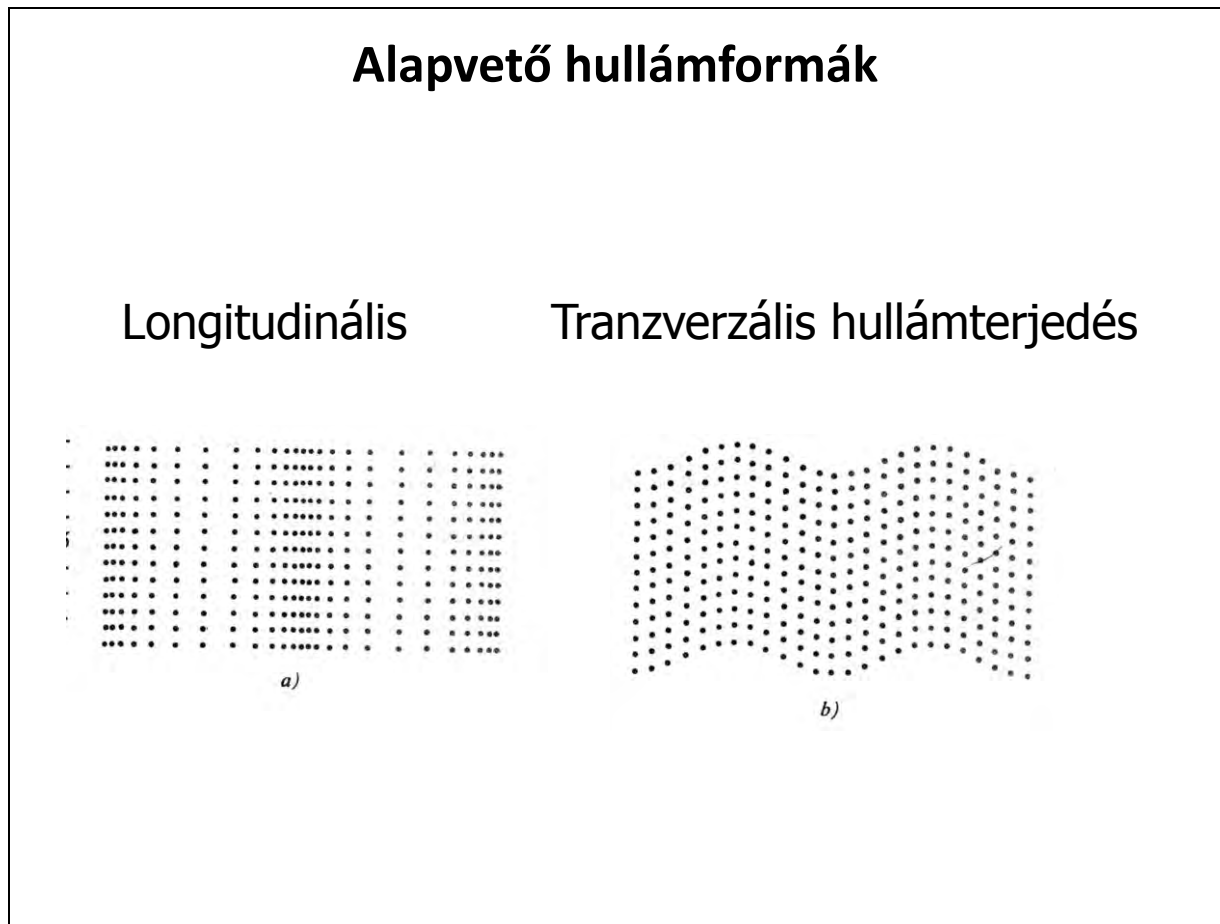
Alkalmazhatóság: felületszerű (kétdimenziós) hibák

– repedések, rétegződés – kimutatására előnyös, térfogati hibák kimutatása nehezebb.

Az ultrahangvizsgálat nyomáshullámok terjedését és a közeg határfelületeiről való visszaverődését használja fel belső folytonossági hiányok repedések, zárványok stb. felderítésére. A vizsgált tárgyba juttatott ultrahanghullámok számára a darabban lévő folytonossági hiányok olyan nagy akadályt jelentenek, hogy azok felületéről részben vagy egészben visszaverődnek. Ez a magyarázata, hogy a röntgenvizsgálattal ellentétben a hangnyalábra merőleges irányban elhelyezkedő legvékonyabb repedés is érzékelhető.

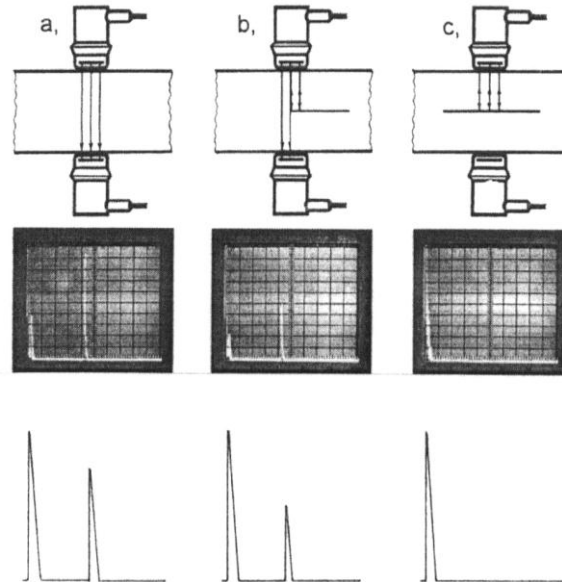
Az ultrahangok a mechanikai rezgések csoportjába tartoznak, frekvenciájuk a hallható hang frekvenciájánál nagyobb (16 kHz – 100 MHz). A korszerű ultrahangos berendezéseknél, az anyagvizsgálatnál alkalmazott frekvencia 0.25 – 14 MHz között van. Az ultrahang keltésének különböző módszerei vannak, az anyagvizsgálatban általában az ún. piezoelektromos és az elektrostriációs rezgéskeltőket használják.

A létrehozott ultrahangok igen jól terjednek a fémekben, a longitudinális hullám sebessége például acélban mintegy 5920 m/s. A vizsgáló hullámhosszúság ismerete lényeges, ugyanis az ultrahangos vizsgálattal csak a legalább  $\lambda/2$  esetleg ideális esetben  $\lambda/3$  nagyságú hibák mutathatók ki.



Az általában piezoelektromos kristállyal létrehozott rezgést megfelelő csatoló közeg (víz, olaj stb.) közvetítésével átadjuk a vizsgálandó tárgynak, melyben a longitudinális ultrahanghullámok majdnem párhuzamos irányban terjednek. Az ultrahanghullámok minden olyan felületről visszaverődnek, amelyek különböző ún. akusztikai keménységű közegeket határolnak. Ilyen a vizsgálati darab hátfala vagy a darabban lévő folytonossági hiányok (hibák). A vizsgált anyagon áthaladó vagy visszaverődő hullámokat *vevőfejjel* foghatjuk fel, melynek elrendezése azonos az ultrahangrezgéseket keltő *adófejjel*. A vevőfej kristálya az anyagtól átvett mechanikus rezgéseket nagyfrekvenciás elektromos rezgésekké alakítja, amelyek elektronikus erősítő útján egy katódsugárcsőbe vezetve érzékelhetőek illetve láthatóvá tehetőek. Az akusztikai rezgések az anyagban longitudinális ill. transzverzális módusban terjedhetnek.

## Az átsugárzásos módszer

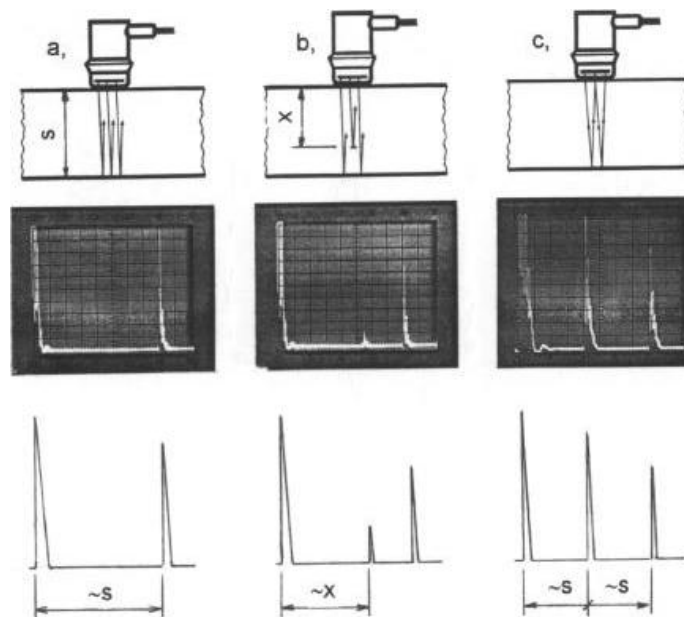


Az ultrahangvizsgálatoknak az alábbi két alapvető eljárása fejlődött ki, az átsugárzásos, ill. az impulzus-visszhang módszer.

Az átsugárzásos módszernél az ultrahang keltése és érzékelése külön vizsgálófejekkel történik (külön adófej, külön vevőfej). Ez esetben feltétlenül szükséges, hogy a vizsgált tárgy mindkét oldalról hozzáférhető legyen. A darab egyik oldalán helyezkedik el az adófej, vele szemben a vevőfej. Az ultrahang hullámokat keltő adófejből a vizsgált anyagba belépő ultrahanghullámok a berendezés katódsugárcsővének képernyőjén egy bemenő jelet adnak (adójel). A tárgyból akadálytalan áthaladás után kilépő hullámok a vevőfejbe belépve ott ismét villamos rezgésekké alakulnak és egy végjelet (vevőjel) adnak a képernyőn.

Ha a tárgyban haladó ultrahanghullámok útjába valamilyen hiba kerül, amely a hullámok egy részét visszaveri, akkor a képernyőn jelentkező végjel kisebb lesz, mert a vevőfej kevesebb ultrahang energiát kap. Ha a hiba olyan nagy, hogy az ultrahangnyaláb útját teljesen elállja, akkor a vevőfej nem kapva energiát, a végjel eltűnik. Ezt a vizsgálati módszert csak akkor alkalmazhatjuk, ha a vizsgálandó darab mindkét oldaláról hozzáférhető. További feltétel a két fej mozgatásának, valamint a darab határoló felületeinek párhuzamossága. Az eljárás további nagy hátránya, hogy a hiba darabon belüli helyzete (hibamélység) nem állapítható meg.

## Az impulzus-visszhang eljárás



Az *impulzus-visszhang eljárás* esetén a besugárzás az anyag egyik felületéről történik, és ugyanoda érkezik vissza. A besugárzás és a visszhangérzékelés történhet ugyanazzal a vizsgálófejjel (közös adó-vevő üzemmód), de történhet külön adó/vevő vizsgálófejjel is. Az ultrahangimpulzus kétszer teszi meg az anyagvastagságnak megfelelő utat, mivel a darab ellentétes oldala, azaz a hátfal hozza létre a visszhangot. Mivel az *adójel* és az ún. *hátfal-visszhangjel* közötti idő adott anyag esetén csak a falvastagságtól függ, a készülékek képernyőjén a két jel közötti távolság arányos a vizsgált anyag vastagságával. A képernyő vízszintes tengelye tehát az anyag hosszkitérését jelenti. Mivel a hátfalvisszhang helyzete a képernyőn tetszőlegesen állítható, gyakorlatilag bármilyen léptékre beállítható az ernyő vízszintes tengelye. Amennyiben a vizsgált darabban hiba található, a hibáról visszaverődő ultrahangok egy ún. *hibajel* hoznak létre. A hibajel elhelyezkedéséből a hiba pozíciója a darabon belül (hibamélység) megállapítható.

Az eljárás elvéből következik, hogy hibakeresés mellett kiválóan alkalmazható falvastagságok meghatározására is (csövek, tartályok stb. esetén).

Ma erre már speciálisan kialakított készülékeket alkalmaznak (*falvastagságmérők*), amelyek azonnal számszerűen kiírják az eredményt. Ezek a műszerek nagyon egyszerűen működnek, hiszen tulajdonképpen az ultrahang kibocsátásától a hang megérkezéséig eltelt időt mérik. A terjedési sebesség ismeretében az ultrahang által megtett út (falvastagság) számítható.

## Mágneses repedésvizsgálat (mágnesezhető-poros vizsgálat)

Mérési elv: a hibák az anyagban létrehozott mágneses tér erővonalait eltérítik, az így kialakuló szórt fluxust a felületre felvitt ferromágneses por sűrűsödése jelzi.

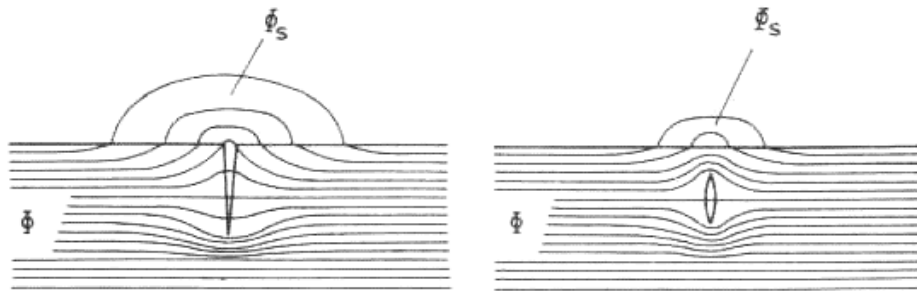
Alkalmazhatóság: csak ferromágneses anyagok felületi vagy felület közeli hibáihoz

Előnyök / hátrányok: egyszerűség, nagy érzékenység (0,001 mm széles hibakimutatás), de korlátozott az anyagminőség és lemágnesezést igényel a vizsgálat után.

A mágneses vizsgálat alapja, hogy a ferromágneses anyagokon átmenő mágneses fluxust az útjukba eső folytonossági hiányok eltérítik. A hibahelyeket kitöltő levegő, gáz vagy zárvány mágneses permeabilitása lényegesen kisebb a vizsgált anyagéhoz képest, ezért az erővonalak ezeken a helyeken nem tudnak átjutni, hanem megkerülik azokat. Ha a folytonossági hiány a felületen vagy a felület közelében van, az a fluxust a levegőbe is kikényszerítheti (*szórt fluxus*). Ilyenkor a felületre vitt ferromágneses por az eltérítés (a hiba) helyén feldúsul, és a folytonossági hiány láthatóvá válik.

A szórt fluxus kialakulásának feltétele, hogy a hiba a mágneses fluxus irányára merőleges legyen. A mágneses fluxussal párhuzamosan elhelyezkedő hibák ugyanis nem létesítenek szórt fluxust, így ezek a hibák nem kimutathatók. A hibák biztonságos kimutatásának érdekében az alkatrészeket mindig két egymásra merőleges irányban kell mágnesezni.

## A mágneses repedésvizsgálat elve



A hibák kimutatására használt vizsgálóanyagoktól függően megkülönböztetünk *száraz-* és *nedves-eljárást*. A szárazeljárás esetén vizsgálóanyagpor (pl.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  azaz magnetit), nedves eljárás esetén a vizsgálóport hordozó folyadékban (pl. olaj) szuszpendálják. Mind a száraz-, mind a nedves-eljárás elvégezhető színes vagy fluoreszkáló anyagokkal is. Fluoreszkáló anyaggal történő vizsgálatkor ultraviolet sugárzással kell a jelzőfolyadékban lévő anyagot gerjeszteni, hogy az látható fényt adjon.

A mágneses módszerrel történő vizsgálat után a vizsgált tárgy a mágnesezés hatásosságától függően mágneses marad. Ez bizonyos esetekben zavaró lehet (pl. fogaskerekeknél a felületre tapadó fém-szemcsék berágódásokat okozhatnak stb.), így a maradék mágnességet a vizsgálat után el kell tüntetni. A lemágnesezés történhet ellenmágnesezéssel (ellentétes mágneses tér létesítésével), vagy változó irányú és folyton csökkenő mértékű mágnesezéssel.

A mágneses vizsgálat megfelelő mágneses térben igen érzékeny módszer (akár 0,001 mm széles repedés is kimutatható). Hátránya azonban, hogy csak a felszíni, vagy a felszínhez közeli hibákat lehet kimutatni, továbbá csak ferromágneses anyagok esetén alkalmazható.

## Örvényáramos hibakereső vizsgálat

**Mérési elv:** örvényáramok mágneses tere és az örvényáramot keltő primer mágneses tér kölcsönhatása a hibák következtében megváltozik.

**Érzékeny:** a permeabilitás és/vagy vezetőképesség változására

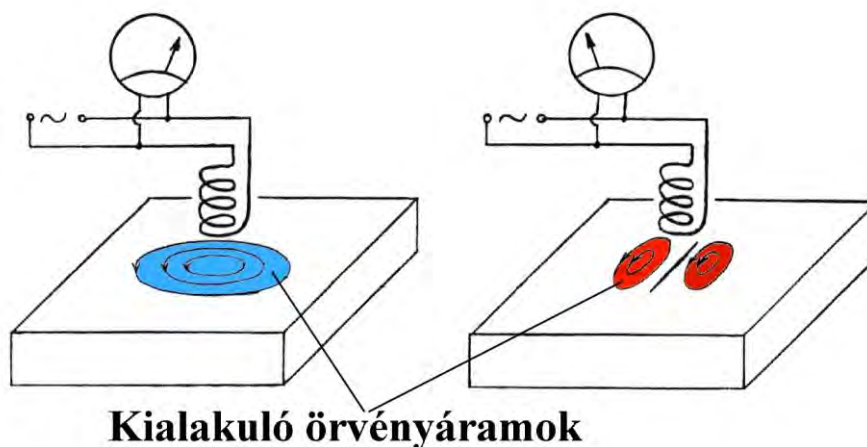
**Alkalmazhatóság:** csak villamosan vezető anyagoknál a felületi és felület közeli hibák kimutatására, valamint az anyagjellemzők változásának érzékelésére

**Kivitelezés:** gyűrűtekerces és tapintó tekerces megoldások.

Az örvényáramos vizsgálat az elektromágneses indukción alapszik. A vizsgálat elve az, hogy egy változó árammal táplált tekercs ún. primer mágneses tere a vizsgálati darabban (amelynek elektromosan vezetőnek kell lenni) örvényáramokat indukál. Ezek az örvényáramok szintén gerjesztenek egy szekunder mágneses teret, amely a tekercs primer terével ellentétes és arra szuperponálódik. A darabban létrejövő örvényáramokat és az általuk létrehozott szekunder mágneses teret – egy adott primer tér mellett – a vizsgálati darab elektromos vezetőképessége, mágneses permeabilitása, geometriai adatai, anyaghibái, és az alkalmazott frekvencia határozza meg. Az elektromos és mágneses tulajdonságok, viszont befolyásolja az anyag összetétele, keménysége, hőkezelttségi állapota, így e jellemzők detektálása is a módszerrel is elvégezhető. Az említett két mágneses erőteret által keltett eredő erőteret érzékelni, illetve mérni lehet, és ennek változásaiból következtetni az anyag hibáira vagy tulajdonságaira. Az örvényáramok visszahatásaként ugyanis megváltozik a gerjesztő tekercsben folyó áram nagysága és a gerjesztő jelgenerátor feszültségéhez képesti fázishelyzete. A változás érzékelésére több megoldás létezik, a legáltalánosabb az ún. impedancia- (fázis-) diagramok kiértékelése.



## Az örvényáramos anyagvizsgálat elve



Az örvényáramos mérési elrendezések egyik alapelrendezése az ún. gyűrűtekerces megoldás, amelynél a minta áthalad a vizsgálótekercsen. Az ún. tapintótekerces megoldásnál a tekercs a darabon kívül helyezkedik el. Ekkor a vizsgálat a tekercs szórt terében, míg az előző esetben a tekercs főfluxusában történik.

Az örvényáramos vizsgálatok egyik legnagyobb előnye, hogy az alkatrész és a vizsgálóeszköz nem kell, hogy egymással érintkezzen, ezáltal a vizsgált darab nem igényel különös felület-előkészítést, és utólag sem kell tisztítani. További előny a jó automatizálhatóság, melynek következtében az eredmények gyorsan és pontosan kiértékelhetőek, a vizsgálati sebesség nagy, így tömegszerű vizsgálatoknál is alkalmazható.

Meg kell jegyezni azonban, hogy a vizsgálat csak a felület közeli tartományokról ad információt (az alkalmazott frekvencia függvényében maximum pár milliméter mélységig). A detektált jel számos paramétertől függ, így számos zavaró effektus léphet fel. Emiatt az optimális mérési paraméterek (szondatípus, frekvencia stb.) megválasztása és az eredmények kiértékelése sok esetben kvalifikált szakembert igényel.

Összefoglalva a vizsgálatokkal, csak azokat a tulajdonságokat vagy hibákat tudjuk kimutatni, illetve mérni, amelyek egy hibátlan etalonhoz képest valamilyen vezetőképesség- vagy mágnesespermeabilitás-változást eredményeznek vagy az örvényáramok eloszlását módosítják.

## **Radiográfiai vizsgálatok**

### **Röntgen- és izotópos vizsgálat**

**Mérési elv:**

Az alkalmazott röntgen-, gamma- vagy neutronsugárzás intenzitása a vizsgált tárgyon áthaladva az átsugárzott vastagságtól függően megváltozik.

**Alkalmazhatóság:**

Térfogati (háromdimenziós) anyaghibák (üregek, zárványok) kimutatása egyszerűbb, síkszerű hibák (pl. repedés) kimutatása nehezebb. Ha biztosak akarunk lenni, hogy nincs síkszerű hiba, akkor ultrahangvizsgálatot is alkalmazni kell.

**RADIOSZKÓPIA**

**RADIOGRÁFIA**

Az ún. durvaszerkezeti radiológiai vizsgálatok (röntgen- és izotópvizsgálatok) a roncsolásmentes hibakereső anyagvizsgálatok egyik legfontosabb és ezért legelterjedtebb területe. Alapvető feladatuk az anyagban lévő belső inhomogenitások (anyaghibák) feltárása.

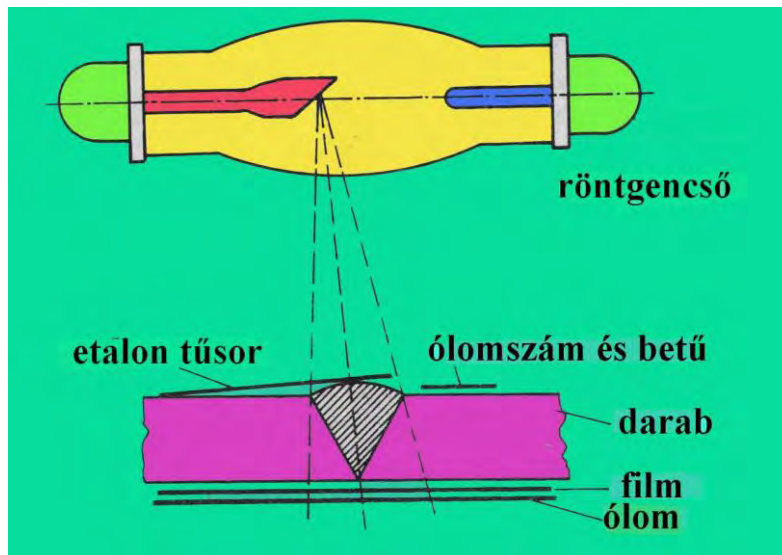
A vizsgálatok közös alapja az, hogy az alkalmazott röntgen- vagy gamma-sugárzás intenzitása a vizsgált tárgyon áthaladva az átsugárzott anyagvastagságtól függően változik (csökken). Az intenzitás változás érzékelésének módja szerint különböző radiológiai módszerek léteznek.

**Radiográfia:** A legelterjedtebb eljárás, az iparban használt röntgenvizsgálatok több mint 90%-át adja. A tárgy belső, szemmel nem látható hibáit fényérzékeny filmre készített felvétellel tesszük láthatóvá. Így az alkalmazott sugárzás fotokémiai hatását használjuk fel a felvétel elkészítéséhez.

**Radioszkópia:** Ennél a módszernél az anyag belső képe fluoreszkáló ernyőn jelenik meg és közvetlenül szemmel érzékelhető. A módszer ipari alkalmazási területe a könnyűfémek és kisebb falvastagságú acélok vizsgálata. A vizsgálatról közvetlenül bizonylatolható kép nem marad, ezért a radiográfiával szemben háttérbe szorul.

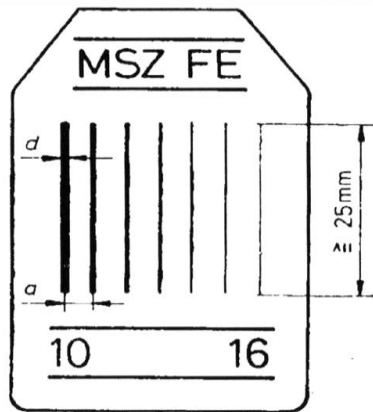
**Radiometria:** Ez esetben a radioaktív sugárzás intenzitásváltozását sugárázmérő készülékkel (pl. Geiger–Müller-féle csővel) mérik úgy, hogy a vizsgálandó anyag felületét pontról pontra letapogatják a sugárázmérő érzékelőjével. Ezt a módszert az ipari gyakorlatban ritkán alkalmazzák.

## A röntgenvizsgálat elve és végrehajtása



A hibakimutatás alapja, hogy a sugárzás intenzitása levegővel, gázzal vagy nemfémes zárványokkal telt üregeken át kevésbé csökken, mint a tömör anyagban. Ezt az intenzitáskülönbséget a már említett módszerekkel (radiográfia stb.) érzékelnünk tudjuk. A kisebb mértékben gyengített sugárzás természetesen a filmet jobban megvilágítja, azaz a hiba helyén, a filmen erősebb feketedést okoz. Így jönnek létre a fényérzékeny filmen azok a feketedési különbségek, amelyekből a belső anyaghiba alakját és körülbelüli nagyságát is megállapíthatjuk.

## Etalon huzalsor az átvilágító röntgenvizsgálat ellenőrzéséhez



- A hibaméret meghatározására
- Szabványos R10-es számsor:
- 1 : 3,2 mm            2 : 2,5
- 3 : 2,0                4 : 1,6
- 5 : 1,25               6 : 1,0
- 7 : 0,8                8 : 0,64
- 9 : 0,5                10: 0,4
- 11: 0,32              12: 0,25
- 13: 0,2                14: 0,16
- 15: 0,125             16: 0,1

A kimutatható hibaméret és egyben a képminőség megítélésére leggyakrabban az ún. huzalsorozatot szokás alkalmazni. A huzalsorozatok gumi- vagy műanyag tokba vannak beágyazva, a huzalok anyaga a vizsgált anyaggal megegyezik. Egy-egy sorozat hét huzalt tartalmaz, amelyek átmérője csökkenő sorrendben követik egymást. Különböző méretű huzalsorozatok léteznek, amelyek közül a vizsgált anyag vastagságának függvényében kell választani. A tokot a felvétel tárgyára a filmmel ellentétes oldalon kell elhelyezni és vele együtt lefényképezni. A felvételen látható legkisebb huzal átmérője alapján a kérdéses felvételt minősíteni lehet. A felvételen kivehető legkisebb hiba mérete a még látható legvékonyabb huzal átmérőjének felel meg. A filmek utólagos azonosíthatósága érdekében a huzalsorok mellett ólom számok illetve betűk is elhelyezhetők. A felvételen ezek a jelölések láthatóak lesznek.

## A röntgenvizsgálat előnyei és korlátai

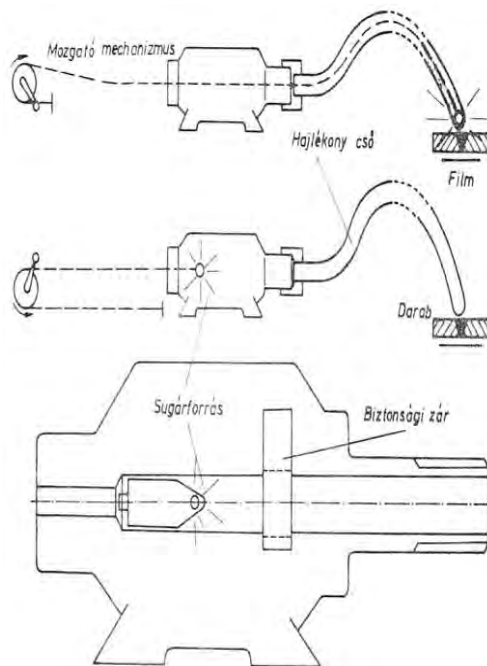
### A vizsgálat előnyei:

- 3D-hibák pontos felderítése,
- dokumentálhatóság,
- felületi előkészítés nem szükséges.

### A vizsgálat korlátai:

- fokozott biztonságtechnika,
- komoly berendezési háttér,
- lassúság,
- 2D-hibákra kevésbé alkalmas,
- korlátozott anyagvastagság.

## Izotópos vizsgálat



Alkalmazott izotópok:

Co-60

Ir-192

(Ce-137)

A vizsgálatot a röntgenvizsgálathoz hasonlóan végzik el.

A radiográfiai vizsgálatokhoz a röntgensugárzáson kívül egyre kiterjedtebb mértékben használják még a gamma-sugárzást is. Az ún. *izotópos vizsgálat* elveiben megegyezik a röntgenvizsgálatokkal. Ilyen gamma-sugárzás keletkezik természetes radioaktív anyagok pl. rádium stabilabb állapotba történő átmenete közben. Az izotópvizsgálatokhoz azonban mindig *mesterséges radioaktív anyagokat* használnak. Ilyen izotópokat úgy állítanak elő, hogy az elemet atomreaktorban neutronsugárzásba helyezik, amely során az atommag neutronokat vesz fel. Az így keletkezett izotóp instabil állapotba kerül, és a stabil állapotba történő törekvés közben fölös energiáját sugárzás alakjában adja le. Az anyagvizsgálatnál leggyakrabban használt izotópok a *Co-60* és az *Ir-192*. A különböző izotópokra jellemző az az idő, mialatt az energiájuk felére csökken (*felezési idő*). A *Co-60* esetében ez 5,3 év, az *Ir-192*-nél 74 nap. Ez azt jelenti, hogy az izotópok használat nélkül, pusztán tárolás alatt veszítenek energiájukból, amelyet felvételkedésükkor az expozíciós idő megállapításánál figyelembe kell venni.

## Az izotópos vizsgálat előnyei és korlátai

### Előnyök:

- kisebb helyszükséglet, könnyebb hordozhatóság,
- nagyobb az átsugárzó képesség,
- nem igényel külső energiaforrást,
- ún. panorámafelvevételek készítésére alkalmas

### Korlátok:

- nagyobb a külső illetve belső életlenség,
- hosszabb expozíciós idő,
- rosszabb hibafelismerhetőség,
- változó a sugárzás intenzitása (felezési idő),
- folytonos sugárzás (nem kikapcsolható).

Az izotópok által keltett gamma-sugárzás hullámhossza lényegesen kisebb, mint a röntgensugaraké (mintegy 1 pm), ez magyarázza rendkívüli áthatoló képességüket (kemény sugárzás). Ebből következően a vizsgálati technika abban különbözik a röntgenvizsgálattól, hogy nagy energiájú, kemény sugárzásra érzékeny filmeket használnak és hosszabb expozíciós időket alkalmaznak.

Mivel a vizsgálatához használt izotóp akkor is sugárzik, amikor vizsgálatot nem végzünk (tárolás, szállítás, mozgatás stb.), így annak szállítása, kezelése fokozott figyelmet és sugárvédelmet követel.

## A témakörhöz kapcsolódó áttekintő kérdések

**Ismertesse az alábbiakat:**

- Anyaghibák típusai és eredetük
- Roncsolásmentes anyagvizsgálatok elve és a módszer kiválasztásának szempontjai
- A leggyakrabban alkalmazott hibakereső NDT/NDE vizsgálatok típusai
- A folyadékbehatolásos vizsgálat menete
- Mágneses repedésvizsgálat menete és a kimutatható hibák jellege
- Az ultrahangos anyagvizsgálat elve és mérési elrendezései
- Az örvényáramú hibakereső anyagvizsgálat elve és alkalmazhatósága
- Az átvilágító röntgenvizsgálat végrehajtása és felbontóképességének ellenőrzése
- Az izotópos és az átvilágító röntgenvizsgálat összehasonlítása



## **A témakör fontosabb kifejezései angol nyelven**

- Material defects
- Deterioration processes
- Non-destructive testing (NDT)
- Non-destructive evaluation (NDE)
- Visual testing (VT)
- Penetration testing (PT)
- Magnetic particle testing (MT), Flux-leakage testing
- Eddy-current testing
- Radiographic testing
- X-ray investigation
- Leakage testing
- Ultrasonic testing



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 9. Fontosabb fémek és ötvözeteik előállítás

Szerző: Dr. Szakál Zoltán  
[szakal.zoltan@gek.szie.hu](mailto:szakal.zoltan@gek.szie.hu)

**Tartalom**

Fémek ötvözetei, előállítása .....	292
Fémek használata, előállítása .....	293
A fémkohászat főbb folyamatai .....	294
Az alumínium .....	300
A réz .....	304
Nyersvas gyártása .....	306

## Fémek ötvözetek, előállítása

A fémkohászat főbb folyamatai

Alumínium gyártása

Réz gyártása

Nyersvasgyártás

Acélgyártás

Kristályosítás

## Fémek használata, előállítása

- i. e. 7000 – a réz és arany olvasztása;
- i. e. 3000 – az ón, ólom, ezüst előállítása;
- i. e. 1200 – első mesterségesen előállított vastermék;
- 1500 – nyersvas, előállítása 3–5% szénttartalommal;
- 1700 – lemezhengerlés;
- 1856 – Bessemer-acélgyártás;
- 1910 – elektroacél-gyártás villamos ívkemencében;
- 1912 – első rozsdamentes Cr-Ni acél előállítása;
- 1920 – titán színtfém előállítása;

## A fémkohászat főbb folyamatai

Egyes fémek a természetben szén állapotban is megtalálhatók (Au, Ag, Pt, Cu) úgynevezett telérekben.

A fémek jó része a környezet elemeivel szívesen lép kémiai reakcióba pl. oxigénnel ( $O_2$ ), szén-dioxiddal ( $CO_2$ ), kénnel (S), halogénnel (Cl). Így képeznek ásványokat. Az ásványok kőzetekbe ágyazva képzik az érceket. Ezek a fémek előállításának alapanyagai.

### A fémek előállításának folyamata:

• Érc-előkészítés

• Nyers fém kinyerése

• A nyers fém finomítása

• Kristályosítás

## A fémkohászat főbb folyamatai

### • Érc előkészítés

- Nyers fém kinyerése
- A nyers fém finomítása
- Kristályosítás

Az ércelőkészítés célja, hogy minél kevesebb meddő anyag kerüljön be a metallurgiai folyamatba, valamint a fémkinyeréshez minél kedvezőbb állapotú és méretű legyen az érc.

Ezt biztosítja:

- dúsítás, pörkölés,
- aprítás,
- darabosítás.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Ércelőkészítés

### • Nyers fém kinyerése

- A nyers fém finomítása
- Kristályosítás

Az érckoncentrátumok vegyületeiből a fémeket kivonásos, úgynevezett extraktív metallurgiai eljárásokkal állítják elő.

Ezek két fő csoportba oszthatók:

- **elektrometallurgiai,**
- **pirometallurgiai eljárások.**

Az **elektrometallurgiai** eljárások során a fémet vegyületeiből az elektromos energia felhasználásával, elektrolízissel különítjük el a többi alkotótól. Ilyen kohászati eljárással állítják elő például a timföldből az alumíniumot.

A **pirometallurgiai eljárások** során az érckoncentrátum fémoxidjait magas hőfokon redukálják, megolvasztják más, a folyamatot elősegítő anyagok jelenlétében. Ilyen kohászati eljárással állítják elő például vasércből a nyersvasat.

Az így előállított fémek tartalmaznak egyéb anyagokat, szennyezőket, ezért ezeket még tovább finomítják.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítés
- Nyers fém kinyerése

### • A nyers fém finomítása

- Kristályosítás

### A kemencén kívüli finomító eljárások (üstmetallurgia)

A finomítás az öntőüstben történik csapolás után, így nem csökkenti a kemence teljesítményét. Célja az ötvözés, fémfürdőben oldott gázok és a lebegő szilárd szennyezők mennyiségének csökkentése.

Az üstmetallurgiai műveletek köre széles, közülük a leggyakoribbak:

- ötvözés, a gáztartalom csökkentése kicsapással,

- kezelés szintetikus salakkal,

- gázátfúvatás,

- vákuumozás.



## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítése
- Nyers fém kinyerése

### A nyers fém finomítása

- Kristályosítás

### A kemencén kívüli finomító eljárások (üstmetallurgia)

A finomítás az öntőüstben történik csapolás után, így nem csökkenti a kemence teljesítményét. Célja az ötvözés, fémfürdőben oldott gázok, és a lebegő szilárd szennyezők mennyiségének csökkentését.

Az üstmetallurgiai műveletek köre széles, közülük a leggyakoribbak:

- ötvözés, a gáztartalom csökkentése kicsapással,
- kezelés szintetikus salakkal,
- gázátfúvatás,
- vákuumozás.

Az ötvöző az oldott gázzal oldhatatlan reakcióterméket képez és kicsapódik.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítése
- Nyers fém kinyerése

### A nyers fém finomítása

- Kristályosítás

### A kemencén kívüli finomító eljárások (üstmetallurgia)

A finomítás az öntőüstben történik csapolás után, így nem csökkenti a kemence teljesítményét. Célja az ötvözés, fémfürdőben oldott gázok, és a lebegő szilárd szennyezők mennyiségének csökkentését.

Az üstmetallurgiai műveletek köre széles, közülük a leggyakoribbak:

- ötvözés, a gáztartalom csökkentése kicsapással,
- kezelés szintetikus salakkal,
- gázátfúvatás,
- vákuumozás.

Szintetikusan előállított salakot visznek a fémfürdőbe, ami magába vonja FeO, FeS, MnS szennyezőket és felúszik a felszínre. Így kevesebb zárvány marad vissza.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítése
- Nyers fém kinyerése

### A nyers fém finomítása

- Kristályosítás

### A kemencén kívüli finomító eljárások (üstmetallurgia)

A finomítás az öntőüstben történik csapolás után, így nem csökkenti a kemence teljesítményét. Célja az ötvözés, fémfürdőben oldott gázok, és a lebegő szilárd szennyezők mennyiségének csökkentését.

Az üstmetallurgiai műveletek köre széles, közülük a leggyakoribbak:

- ötvözés, a gáztartalom csökkentése kicsapással,
- kezelés szintetikus salakkal,

• gázátfúvatás,

• vákuumozás.

Általában Ar gázt fúvatnak át a fémfürdőn. A gáz magával ragadja és a felszínre viszi a lebegő salakrészecskéket.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítése
- Nyers fém kinyerése

### A nyers fém finomítása

- Kristályosítás

### A kemencén kívüli finomító eljárások (üstmetallurgia)

A finomítás az öntőüstben történik csapolás után, így nem csökkenti a kemence teljesítményét. Célja az ötvözés, fémfürdőben oldott gázok, és a lebegő szilárd szennyezők mennyiségének csökkentését.

Az üstmetallurgiai műveletek köre széles, közülük a leggyakoribbak:

- ötvözés, a gáztartalom csökkentése kicsapással,
- kezelés szintetikus salakkal,

• gázátfúvatás,

• vákuumozás.

A vákuum alá helyezett fémfürdőben az oldott gázok, buborékok ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ) könnyebben feláramlanak, kiválnak a fémfürdőből.

## A fémkohászat főbb folyamatai

- Érc előkészítése
- Nyers fém kinyerése
- A nyers fém finomítása
- **Kristályosítás**

### Kristályosító eljárások

Az alkalmazott fém-előállítási, fémfinomítási eljárás után a kész adag folyékony állapotban található a gyártóberendezésben, illetve az öntőüstben. Ezekben nem szilárdulhat meg. A további felhasználás, feldolgozás előtt a kész adagnak meg kell szilárdulnia. További felhasználásra alkalmas nagyságú darabokat (bugákat) kell önteni belőle.

A kristályosítás legelterjedtebb módszerei:

• tuskóöntés,

• folyamatos öntés,

• öntve hengerlés,

• speciális eljárások (egykristály-növesztés, üvegfém-előállítás, fémporgyártás).

## Az alumínium

Az alumínium a könnyűfémek csoportjába tartozik. Ércé a bauxit.

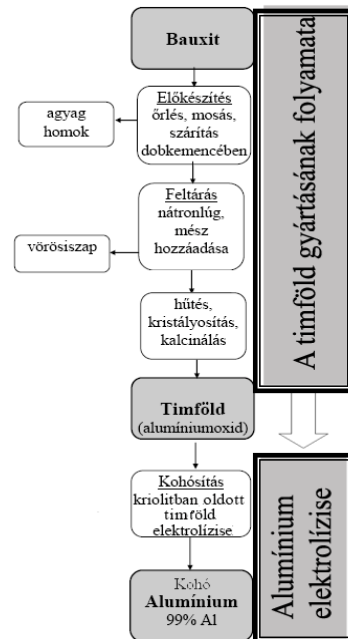
Az alumínium fontosabb fizikai tulajdonságai:

kis sűrűség	$\rho = 2,7 \text{ [}10^3 \text{ kg/m}^3\text{]},$
alacsony olvadáspont	$T_o = 660 \text{ [}^\circ\text{C]},$
kis folyáshatár	$R_{eH} = 20 \text{ [N/mm}^2\text{]},$
kis keménység	12 HBS,
rácsszerkezete	lapközepes köbös ( lkk ).

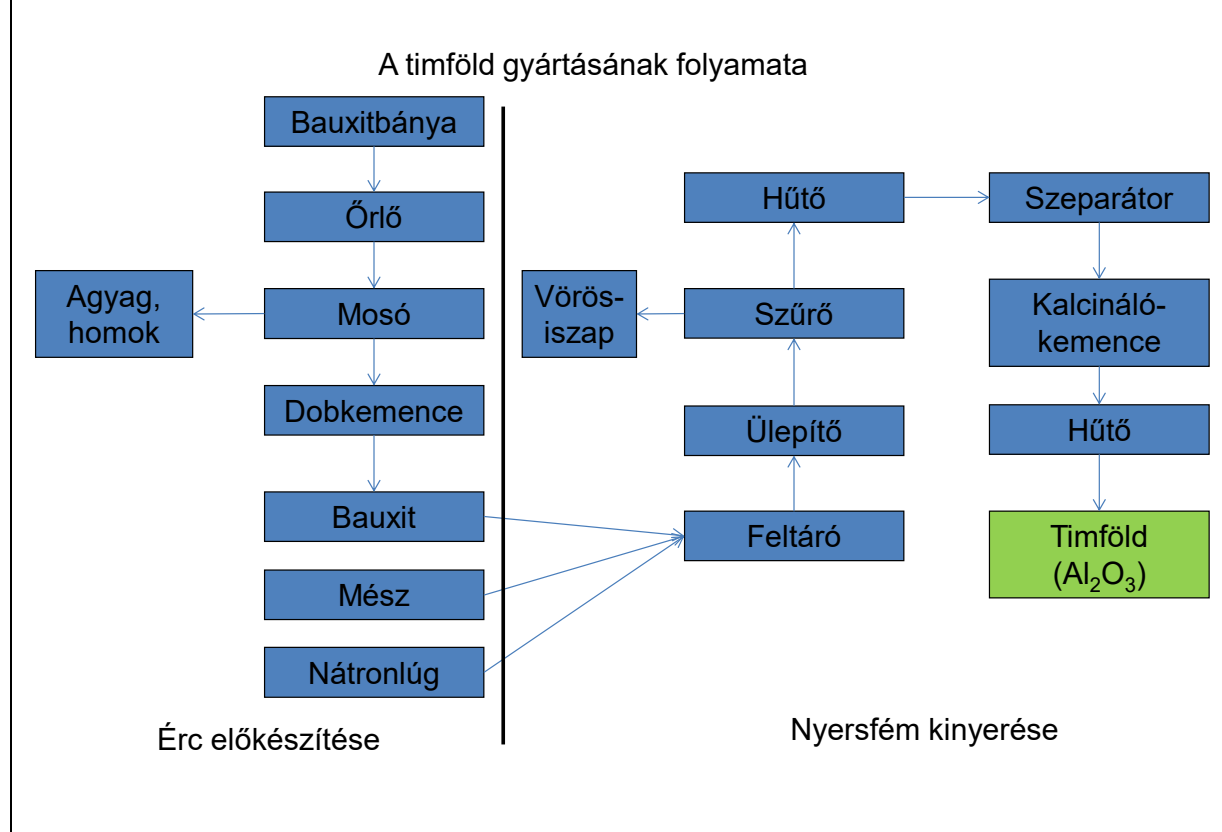
## Alumínium előállítása

A bauxitból tisztítás, nátronlúgos oldás után alumínium-hidroxidot, majd kalcinálás kiégetés útján **alumínium-oxidot**, más néven **timföldet** ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) állítanak elő, ami egy fehér színű, finom, porszerű anyag. Olvadáspontja igen magas, 2040 °C. Ezért elektrometallurgiai eljárással állítják belőle elő a kohóalumíniumot, ami kb 99% tisztaságú.

sor-sz.	A kohóalumíniumban található elemek	Az elemek mennyisége (tömeg %)
1	alumínium (Al)	98,6–99,3
2	vas (Fe)	0,2–0,6
3	szilícium (Si)	0,2–0,4
4	réz (Cu)	0,03–0,1
5	cink (Zn)	0,03–0,1
6	titán (Ti)	0,05–0,15

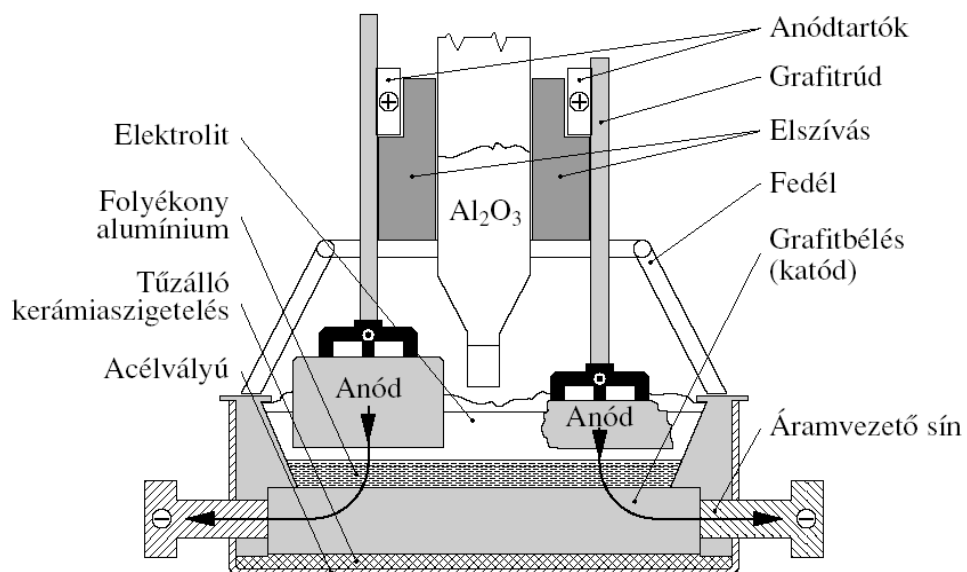


## Az alumínium gyártásának folyamata I.



## Az alumínium gyártásának folyamata II.

A timföld elektrolízise



## Alumínium előállítása

### Az alumínium finomítása (rafinálása)

A kohóalumíniumot az ipari felhasználáshoz finomítani, illetve ötvözni kell. A gyakorlatban akkor beszélünk színalumíniumról, ha 99,99%-os tisztaságot eléri (négykilences alumínium). Az elektronikában használnak ötkilences tisztaságút is, mivel a vezetőképesség a tisztaság fokozásával nő.

A még nagyobb tisztaságú (99,999%-os, ötkilences) fémek előállításának egyik leghatékonyabb módszere a **zónás átolvasztás**.

## A réz

A rezet főleg szulfidos érceiből állítják elő. Ilyen a kalkopirit, ami a réznek és a vasnak közös szulfidja ( $\text{CuFeS}_2$ ).

Az alumínium fontosabb fizikai tulajdonságai:

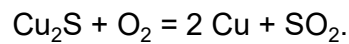
sűrűség	$\rho = 8,96 \text{ [} 10^3 \text{ kg/m}^3\text{]},$
olvadáspont	$T_o = 1083 \text{ [}^\circ\text{C]},$
szakítószilárdság	$R_m = 200 \text{ [N/mm}^2\text{]},$
keménység	60 HBS,
rácsszerkezete	lapközepes köbös ( tkk ).



## A réz előállítása

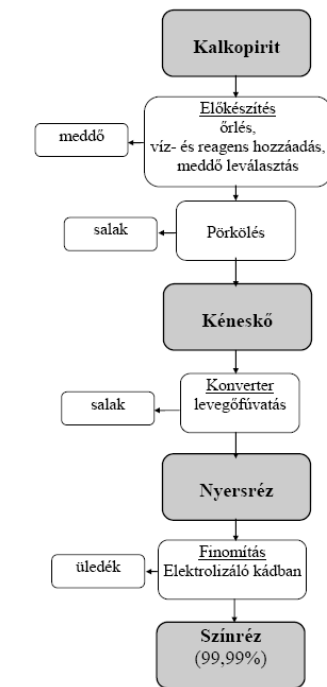
A kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) réztartalma mintegy 35%. Pörköléssel úgynevezett **kéneskövet** állítanak elő belőle, aminek a réztartalma meghaladja az 50%-ot.

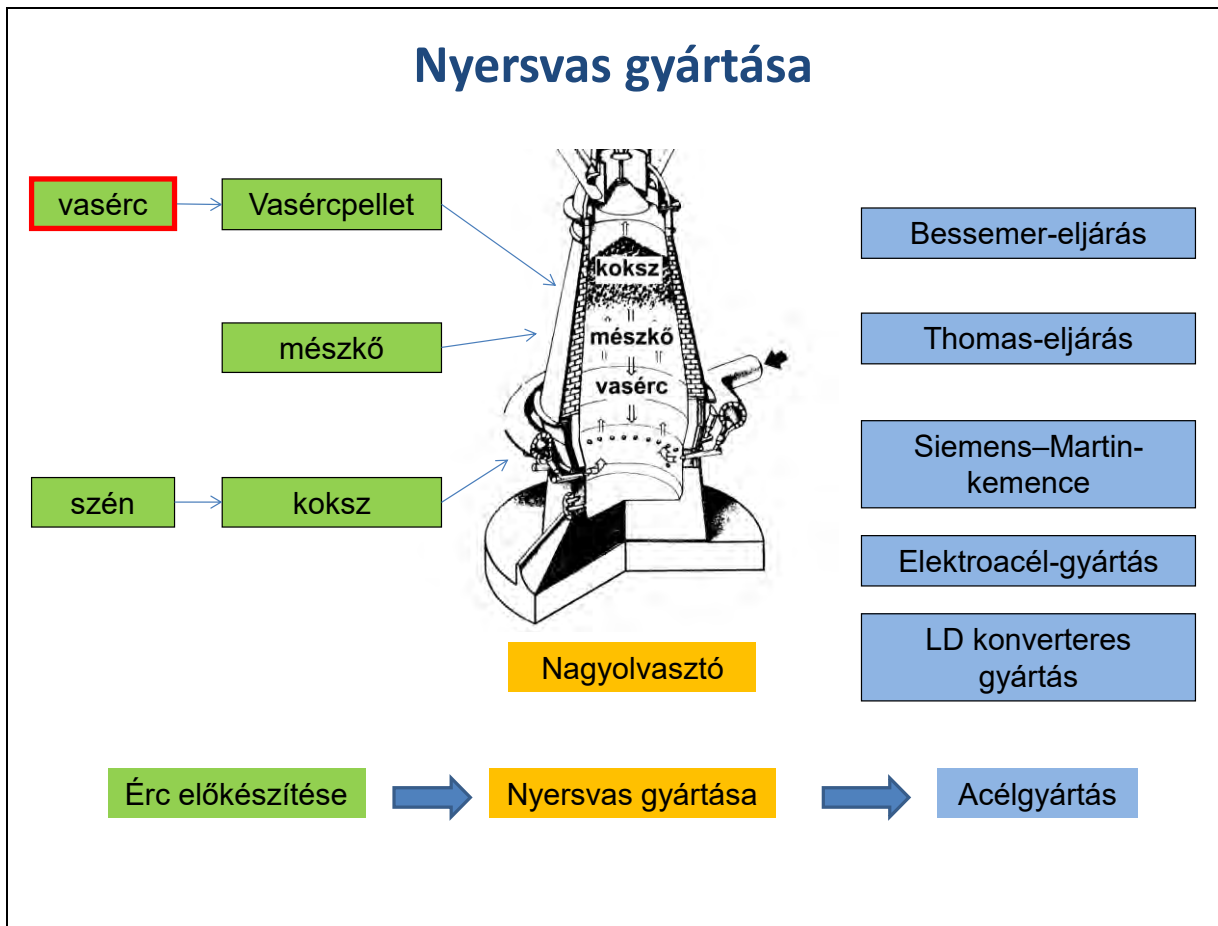
A kéneskő a rézet rézszulfid formájában tartalmazza. Mivel a kénnek az affinitása nagyobb az oxigénhez, mint a réznek, ezért vegyületéből a kén oxidálva kinyerhető:



A nyersréz réztartalma 98,5–99,5 %, a fennmaradó 0,5–1,5% a kén és oxigén.

A réz tisztítása, **oldható anódos eljárással**, elektrolizálókádákban történik.





## Nyersvasgyártás

**A nyersvasgyártáshoz szükség van:**

- alapanyagokra,
- segédanyagokra.

**Alapanyagok** azok, amelyek közvetlenül részt vesznek a kohósítás folyamatában. Ezek a következők:

vasérc,

kohókoksza,

salakképző anyagok.

**Segédanyagok** azok, amelyek közvetve vesznek részt a kohászati folyamatban, és segítik azt. Ezek a következők:

levegő

hűtővíz.

## Vasérc

Az érc vastartalma függ fajtájától, fellelésének helyétől. A vasérc gazdaságos feldolgozhatóságának alsó határa a 30% vastartalom. Feldolgozás során általában a meddőtartalmat csökkentve az ércet dúsítják, koncentrátumot hoznak létre.

Vasércfajtái

Az érc fajtája	A vastartalmú vegyület	Vastartalom (tömeg %)	Megjegyzés
Mágnésvasérc (magnetit)	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	50–70	oxidos érc
Vörösvasérc (hematit)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	40–65	oxidos érc
Barnavasérc (limonit)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	25–50	oxidos érc
Vaspát (sziderit)	$\text{FeCO}_3$	25–40	karbonátos érc

Érckoncentrátumok alkotói és azok mennyisége

Koncentrátum	Alkotók mennyisége (tömeg%)								
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	FeO	MnO	$\text{SiO}_2$	CaO	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	FeS	P
Pellet	84-97	0,5-2,0	0,1-0,2	1,5-6,5	0,5-1,0	0,5-2,0	0,3-1,5	0,02-0,04	0,005-0,01
Ércsugorítvány	60-68	10-15	0,1-0,4	6,0-12	8,0-12	1,5-4,0	1,5-2,0	0,04-0,08	0,02-0,04

## Kohókoks

Az vasérc (vasoxid) redukálószer az izzó szén. Mivel a szénnek a feladata a nyersvasgyártás során komplex, többféle követelményt kell kielégítenie. Fontos követelmény, hogy szennyezőtartalma minimális legyen. Erre a célra a jó minőségű feketeszénből, levegőtől elzárt hevítés útján nyert **koks** felel meg leginkább: nagy hőértéke, nagy szilárdsága, szivacsos szerkezetű, gázáteresztő tulajdonságú.

**A koks szerepe a kohászati eljárás során:**

- redukálja a vasoxidot,
- biztosítja a fémkinyeréshez szükséges hőmérsékletet,
- viseli az anyagoszlop súlyát,
- gázáteresztő, fellazítja az anyagoszlopot,
- oldódik a vasban, annak ötvözője.

A koks tulajdonságai

A feketeszen lepárlásának hőmérséklete [°C]	1 000 - 1 100
Fűtőérték [MJ/kg]	28 - 30
Széntartalom [%]	78 - 83

## Salakképző anyagok

A salakképző anyagokból keletkezik az ércek kohósításánál nélkülözhetetlen, szilikátokból, fémes és nemfémes oxidokból álló, egymással oldatokat képező anyag, amit **salaknak** nevezünk. A salak a nyersvasgyártás mellékterméke, a gyártás hőmérsékletén folyékony állapotban van. A salak a fémfördőnél kisebb sűrűségű, ezért annak felületén úszik.

### A salak szerepe:

- részt vesz a kohászati folyamatokban,
- a meddő leválasztását elősegíti,
- megakadályozza a nyersvas újraoxidációját.

### Salakképzők:

- mészkő ( $\text{CaCO}_3$ ),
- dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

### Salakképző anyagok

Összetevők	CaO	MgO	CO <sub>2</sub>	Egyéb
Mészkő [%]	53,5-54,5	0,8-1,0	43-44	0,5-2,7
Dolomit [%]	30-31,5	20-22	45-46	0,5-5

## Segédanyag (levegő)

Fontos segédanyag a **levegő**, mivel a kokszt égéséhez nagy mennyiségű **oxigénre** van szükség. A kohászati folyamatokhoz nagy nyomású, 900–1000 °C-ra előmelegített levegőre van szükség.

Az előmelegítés a kohó mellé épített hőcserélő tornyokban (cowper-tornyokban) történik a kohóból távozó torokgáz hőjének felhasználásával. Ma már előmelegítés helyett inkább a levegő **oxigéntartalmát 30-40%-ra dúsítják**.

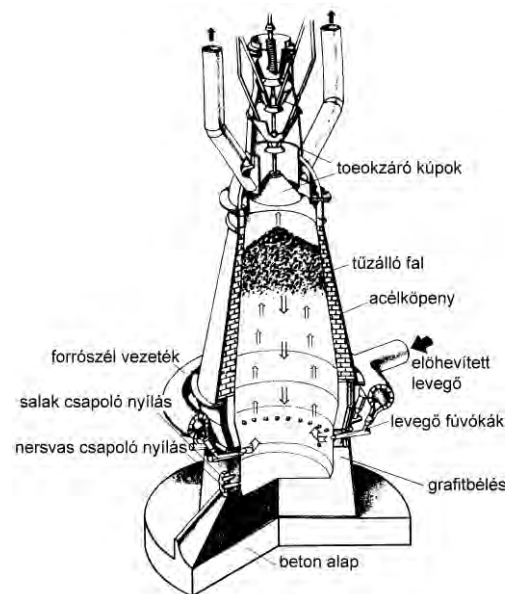
## Segédanyag (víz)

A hűtővíz feladata a kohó falzatának védelme a túlhevüléstől, megolvadástól. A kohó vízigénye nagy, az óránként felhasznált vízmennyiség megegyezik a kohó térfogatával. Minden tonna nyersvasra mintegy 27–30 m<sup>3</sup> hűtővizet kell biztosítani. A biztonságos vízellátás a kohó üzembiztonságának alapvető kérdése. A hűtővizet természetesen zárt rendszerben alkalmazzák és újra felhasználják.

## A nagyolvasztó

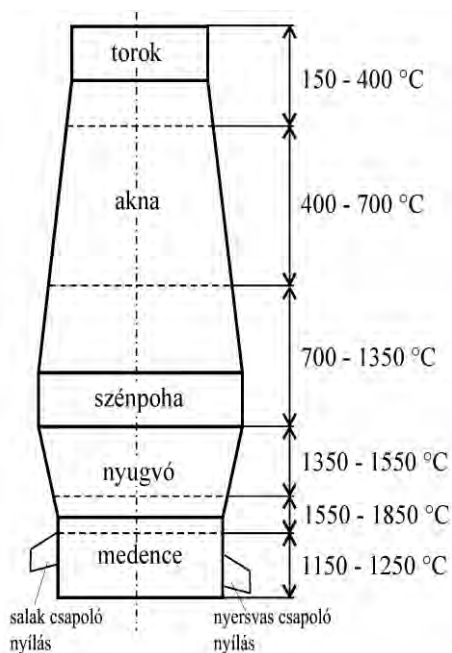
A nyersvasgyártás alapvető berendezése a **nagyolvasztó** (kohó), ami lényegében egy nagyméretű aknás kemence.

A nagyolvasztó jellemzői	Méretei
magassága [m]	> 40
átmérője [m]	> 10
térfogata [m <sup>3</sup> ]	1 000 (legnagyobb hazai)
köpeny a falazaton	acél
falazata	≈ 1 m vastag <i>samott</i> , a medence táján <i>grafit</i>
a falazat hűtése	a köpenyt csőkigyóban folyóvíz hűti



A nagyolvasztó metszeti képe

## A nagyolvasztó fő részei hőmérsékleti zónái



A **torok** a nagyolvasztó befogadó nyílása. Itt található a torokzáró és az adagolóújp.

**Aknában** a hőmérséklet 400-tól 700 °C-ig emelkedik, eltávozik a hidrátvíz, elbomlanak a karbonátok és már megkezdődik az indirekt redukció.

A **szénpohában** befejeződik a karbonátok bomlása, megkezdődik a vas és a szén oldódása a vasban. Megkezdődik a direkt redukció.

A **nyugvóban** már a kohóban található minden anyag, a kocsz kivételével, folyékony állapotban van. Befejeződik a direkt redukció.

A **medencében** gyűlik össze az olvadt nyersvas, felette a kisebb sűrűségű salak.

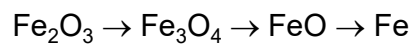
Itt találhatóak a csapolónyílások.

## A nyersvasgyártás metallurgiája

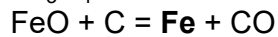
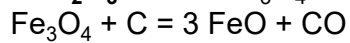
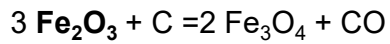
### Redukciós folyamatok

**Indirekt redukció** esetén a redukálószer a szén-monoxid (CO). Az aknában felfelé áramló szén-monoxid megkezdi a vas-oxid redukálását.

A vas-oxid teljes redukcióját (**direkt redukció**) az izzó szén végzi el. Direkt redukció esetén a koks karbonja közvetlenül redukálja a vas-oxidot. Ez a folyamat az akna alsó, magasabb hőmérsékletű részében, illetve a fúvósíkban játszódik le.



A vegyi folyamat a következő:



A keletkezett CO részt vesz az indirekt redukcióban.



## Acélgyártás

Az acél olyan vas-szén ötvözet, amelynek a széntartalma kisebb mint 2,06%. Az acélt nyersvasból lehet előállítani.

A nyersvas a kohó terméke, olyan vas-szén ötvözet, amelynek széntartalma 2,06% feletti. A gyakorlatban 3,5–4,5% között van általában.

Az acélgyártás során a nyersvas széntartalmának egy részét kiegészítik a gyártandó acél fajtájának megfelelő mértékben. Egyúttal törekednek a szennyezők mennyiségének, illetve hasznos elemekkel ötvözik az acélt.

### Acélgyártó eljárások:

Besszemer-eljárás

Thomas-eljárás

Simens Martin-eljárás

LD-eljárás

Elektroacél-gyártás

## Bessemer-eljárás

Az első szélfrissítéssel kísérleteket Bessemer végezte, 1856-ban. Eljárásának lényege, hogy a szükséges hőmennyiséget nem külső tüzeléssel, hanem a nyersvasban lévő elemek (Mn, Si, C) oxidációs hőjével biztosította. 1% Si kiégésekor a fűrdő hőmérséklete 200 °C-kal, 1% Mn kiégésekor 50 °C-kal, míg 1% C kiégése esetén (ha CO<sub>2</sub>-vé ég el) 100 °C-kal emelkedik.



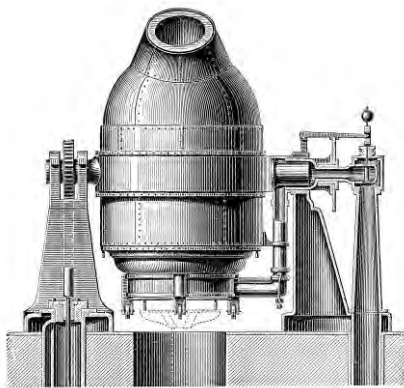
A savas bélésű konverter (a bélése samot) alsó részén 150–300, kb. 15 mm-es átmérőjű lyuk van, amelyeken levegőt lehet befúvatni. Csak tiszta, kis P- és S-tartalmú nyersvasat lehet benne feldolgozni, hulladék csupán 12–15%-ban adagolható a konverterbe.

## Thomas-eljárás

Az eljárás nagy P- és kis Si-tartalmú nyersvasak acéllá történő feldolgozására alkalmas.

Az eljáráshoz a bélésanyagot bázikusra (mészkő) cserélték. Ezzel az eljárással nagyobb foszfortartalmú nyersvas is feldolgozható. A foszfor egy részét a bélés kalciumfoszfát formájában megköti.

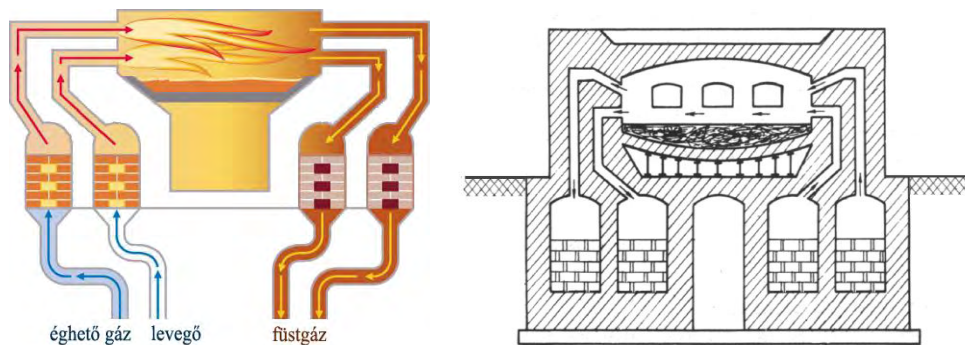
A Thomas-salak, nagy P-tartalma következtében, műtrágyaként hasznosítható.



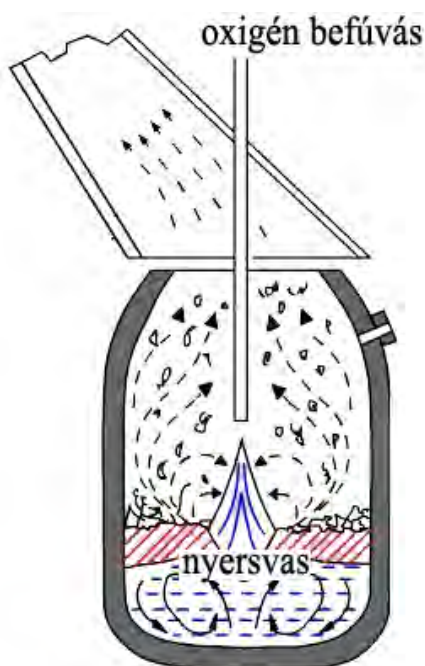
A Bessemer- és a Thomas-eljárás hibája egyaránt, hogy a nyersvason átfúvatott levegő nitrogénje (N) oldódik a fémfűrdőben. A később a feldolgozott acélban az oldott nitrogén vegyület képez a vassal (vasnitrid). Ez az acél ridegkedését vonja maga után. Az így gyártott acél **öregedésre hajlamos**. (A levegő nitrogéntartalma közel 75%.)

## Siemens–Martin-kemence

A Siemens–Martin-eljárás során a nagyméretű, sekély medencében a folyékony nyersvas felett áramoltatott égő gáz és forró levegő keveréke biztosítja a megfelelő hőmérsékletet és a szén kiégetéséhez szükséges oxigén mennyiségét. Mivel azonban a levegő csak a fémfürdő felszínével érintkezik, ezért a nitrogén nem oldódhat benne, így öregedésre kevésbé hajlamos acél gyártható. A S–M-kemencében jó minőségű acél gyártható, ócskavas nagy arányban feldolgozható. Hátránya, hogy az adagidő nagy (8-10 óra) és környezetszennyező.



## LD-eljárás



Az eljárás az ausztriai Linz–Donawitz acélműről kapta a nevét.

Az eljárás lényege, hogy a konverterbe egy vízzel hűtött, vörösréz fúvókán, a *lándzsán* keresztül a fürdő felületének közepére tiszta oxigént fúvatnak.

A befúvatott oxigén környékén kialakul egy nagy hőmérsékletű, 2500–3000 °C-os fémfürdő.

Az LD-konverter alakja hasonló a hagyományos konverteréhez, de a feneké tömör (igen elterjedt, a XX. század végére teljesen kiszorította a Simens–Martin-acélgyártást).

### LD Konverter

## Elektroacél-gyártási eljárások

Az elektromos áram energiáját is felhasználják acélgyártáshoz. A külső energia felhasználása lehetővé teszi szilárd betétanyag felhasználását. Ezért akár 100% hulladékvas feldolgozására is alkalmas. Üzeme nagyon tiszta.

Az elektromos áram hővé alakítása a kemencében különböző módokon történhet:

- ellenállásfűtéssel,

- elektromos ívvel,

- indukció útján.

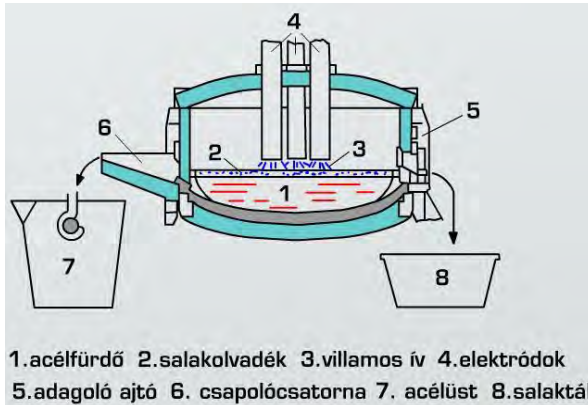
Az acélgyártás szempontjából a két utóbbinak van nagyobb jelentősége.

## Ívkemence

Az ívkemencében történő elektroacél-gyártásnál a betét megolvasztásához és az acélfürdő hevítéséhez szükséges hőt az elektromos ív biztosítja.

Normál üzem során az ív az elektródák és a fémfürdő, illetve az elektródák között jön létre. Az ív hőmérséklete  $-3500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a feszültség  $100\text{--}600\text{ V}$ , az áramerősség a  $40\ 000\text{ A}$ -t is eléri. A kemence háromfázisú váltakozó árammal üzemel.

Teljesítményigénye igen nagy,  $10\text{--}100\text{ MW}$ .



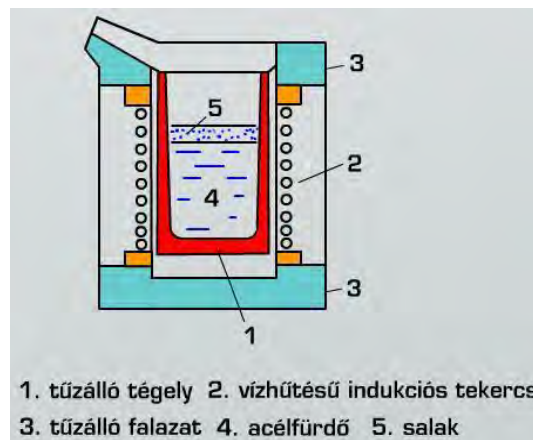
Szilárd betétanyagot, válogatott tiszta acélhulladékot használnak fel benne. Befogadóképessége a berendezésnek  $50\text{--}250\text{ t}$ . Adagidő  $1\text{--}2\text{ óra}$ .

## Ívkemence

## Indukciós eljárás

Az indukciós kemencében történő acélgyártás során a gondosan válogatott betétanyag megolvasztását és hevítését a tégelyt körülölelő indukciós tekercsben folyó nagyfrekvenciás áram hatására, a betétanyagban indukált feszültség, és az így keletkezett örvényáram hője biztosítja. A nagyfrekvenciás kemencéknél a salaknak nincs metallurgiai szerepe, csak védi a fémfürdőt az oxidációtól. Főként kis szénttartalmú, különlegesen ötvözött acélok előállítására használják.

A berendezés befogadóképessége  $30\text{ t}$ . Adagidő  $2\text{--}2,5\text{ óra}$ .



## Indukciós kemence

## Kristályosítás

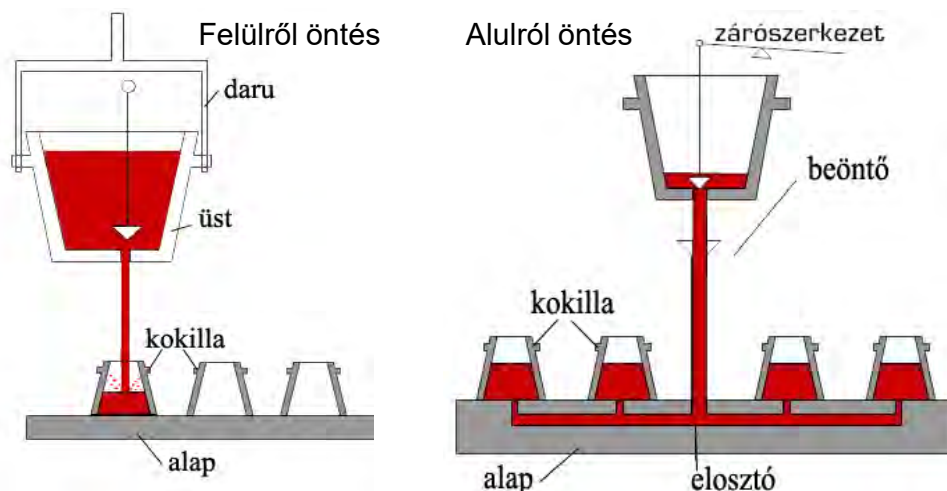
Az alkalmazott fém-előállítási, fémfinomítási eljárás után a kész adag folyékony állapotban található a gyártóberendezésben, illetve az öntőüstben. A további felhasználás, feldolgozás (pl. hengerlés) az acélnak meg kell szilárdulni, azt kristályosítani kell. Ennek során a kész adagból általában olyan, már kristályosodott darabokat kell előállítani, melyek elég nagyok ahhoz, hogy belőlük megfelelő méretű termékek, csövek, rudak, lemezek stb. gyártása gazdaságosan megoldható legyen, ugyanakkor nem nagyobbak annál, mint amit a feldolgozás során kezelni, mozgatni, újrahevíteni lehet.

### A kristályosítás legelterjedtebb módszerei:

- kristályosítás tuskóöntéssel,
- folyamatos öntéssel,
- öntve hengerléssel,
- speciális eljárásokkal (egykristály-növesztés, üvegfém-előállítás, fémporgyártás).

## Kristályosítás tuskóöntéssel

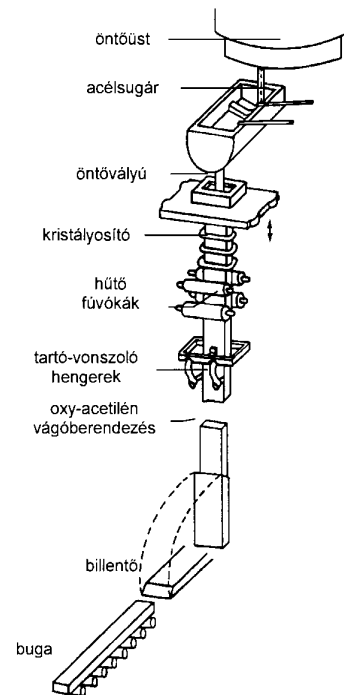
A tuskóöntés eszköze a kokilla (fémforma). Ez egy öntöttvasból készült, vastag falú, alul és felül nyitott edény, amelynek keresztmetszete lekerekített sarkú, négyzet (esetleg hatszög, kör). Falai nem párhuzamosak, hanem a kokilla tere felfelé szűkül azért, hogy a benne megszilárdult tuskóról leemelhető legyen.



## Kristályosítás folyamatos öntéssel

A szakaszos kokillaöntésnél korszerűbb eljárás a folyamatos öntés és kristályosítás módszere, mivel ennél az eljárásnál:

- kisebb a makroszkópos dúsulás és a porozitás kialakulása, valamint a dendrites kristályosodás az intenzívebb hűtés miatt,
- elmarad a szívódási üreg képződés, így nagyobb a kihozatal,
- mivel az öntés folyamatos, jól automatizálható,
- az öntött buga mérete, alakja jól változtatható a további feldolgozás igényeitől függően.



## Kristályosítás öntve hengerléssel

Az öntve hengerlés eljárását, ami az öntést és hengerlést egyesíti magában, főleg az alumíniumból és rézből készült félkész gyártmányok, huzalok, szalagok előállításához használják, mert általa csökkenthetők a gyártási költségek. A huzalok gyártásánál kristályosító gyanánt egy nagy méretű forgó fémdobot használnak, melynek palástjára olyan profilú hornyot munkálnak, mint amilyen a gyártott termék keresztmetszete.

## Kulcsszavak

fém, kohászat, érc, vasérc, nyersvas, acél, réz, alumínium, timföld, nagyolvasztó, kristályosítás, redukció, öntés

## Keywords

metal, metallurgy, ore, iron, steel, copper, aluminium, alumina, blast-furnance, cut-back, molding



## Ellenőrző kérdések

- Ismertesse a fémkohászat főbb folyamatait.
- Ismertesse a timföldgyártás folyamatát.
- Hogyan néz ki az alumínium elektrolizáló kádja?
- Ismertesse a réz előállításának folyamatát.
- Mi az acél? Miből, hogyan állítják elő? Mi az acélgyártás alapvető metallurgiai folyamatának lényege?
- Ismertesse a hagyományos konverteres acélgyártási berendezést (Bessemer-, Thomas-konverter) és acélgyártási eljárást (vázlat), jellemezze az így gyártott acélt.
- Ismertesse a Siemens–Martin acélgyártási eljárást, a Siemens–Martin-kemencét.
- Ismertesse a korszerű konverteres acélgyártási berendezést (LD konverter) és eljárást (vázlat), jellemezze az így gyártott acélt.
- Mutassa be az elektroacél-gyártási eljárások berendezéseit (vázlat) és eljárásokat.
- Ismertesse az acél kristályosítási eljárásainak fajtáit.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 10. Szerkezeti anyagok és csoportosítások

Szerző: Dr. Szakál Zoltán  
[szakal.zoltan@gek.szie.hu](mailto:szakal.zoltan@gek.szie.hu)

## Tartalom

Bevezetés.....	324
1. Szerkezeti anyagok csoportosítása.....	325
1.1. Fémes szerkezeti anyagok néhány tulajdonsága .....	326
1.2. Könnyűfémek .....	327
1.3. Színesfémek.....	332
1.4. Vasalapú ötvözetek csoportosítása.....	337
1.5. Keményfémek.....	345
2. Nem fémes szerkezeti anyagok.....	346
2.1. Fa .....	347
2.3. Kerámiák.....	350
2.4. Műanyagok .....	355
3. Kompozitok.....	364

## Bevezetés

Egy általános megfogalmazás szerint: „Az anyag az emberi tudattól és mindenféle szellemi tényezőtől függetlenül létező, tudatunkban visszatükröződő objektív valóság”.

A bennünket körülvevő anyagokat a sokszínűségük, a könnyebb áttekinthetőség és a tulajdonságaik megismerésének kedvéért csoportosítani célszerű. Az anyagokat csoportosíthatjuk fizikai, kémiai, mechanikai stb. tulajdonságaik alapján, de rendszerezhetjük a felhasználás szerint is.

A műszaki életben a gépek, gépelemek gyártásához használt anyagokat szerkezeti anyagoknak nevezzük. A szerkezeti anyagokat sokféleképpen lehet csoportosítani, de talán a legcélszerűbb és legfontosabb csoportosításuk a fémes és nemfémes szerkezeti anyagok csoportja.

# 1. Szerkezeti anyagok csoportosítása



## 1.1. Fémes szerkezeti anyagok néhány tulajdonsága

A fémes szerkezeti anyagok közül a legfontosabb a vas és ötvözetei. Az anyagok minőségének javulása következtében egyre nagyobb teret hódítanak maguknak a könnyű- és színesfémek, valamint ötvözeteik a szerkezeti anyagok területén.

A fémes szerkezeti anyagok széles körű elterjedését a jó szilárdsági, mechanikai, hőállósági, tulajdonságaiknak, valamint a kiváló alakíthatóságuknak köszönhetik.

	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	Folyási határ MPa	Folyási határ/sűrűség	A kúszás hőmérséklete °C
Mg és ötvözetei	1,7	70–270	40–160	150–250
Be és ötvözetei	1,82	100–700	50–380	250
Al és ötvözetei	2,7	25–650	9–240	150–250
Ti és ötvözetei	4,5	170–1300	38–300	400–600
Fe és ötvözetei	7,85	180–1600	25–200	400–600
Cu és ötvözetei	8,94	60–1400	7–160	200–450

## 1.2. Könnyűfémek

A könnyűfémnek az  $5 \text{ kg/dm}^3$ -nél kisebb sűrűségű fémek nevezzük. Ott nagy a jelentőségük, ahol a megfelelő szilárdsági tulajdonságok mellett az alkatrész tömege is kritikus jelentőséggel bír az egész szerkezet működése szempontjából.

Alumínium

Titán

Magnézium

## 1.2.1. Alumínium (Al)

Az alumínium kiválóan alakítható fém. Sűrűsége mindössze  $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/dm}^3$ , alacsony olvadáspontú ( $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ), rácsszerkezete lapközepes köbös.

Hő- és villamosvezető képessége igen jó. Jó korrózióállósága a felületén képződő tömör, jól tapadó alumínium-oxid-rétegnek köszönhető. Korrózióállósága, villamos vezetőképesége annál jobb, minél tisztább.

Hátrányai közzé sorolható a kis szilárdság, kis rugalmassági modulus, nagy lineáris hőtágulási együttható. Kenődik, emiatt nehezen forgácsolható.

A műszaki tisztaságú alumíniumot (99,99% és 99,999%) a villamosipar (vezetékek anyaga) és az élelmiszeripar (alumíniumfólia, csomagolás) használja. Az alumínium ötvözeit széles körben használják az ipar számos területén. Az ötvözetek hengerléssel, sajtolással, kovácsolással jól alakíthatók és különféle félgyártmányokká (lemez, cső, huzal, profilok) feldolgozhatók. Az alumíniumötvözetekből bonyolult, vékonyfalú öntvények is készíthetők.

## Alumínium ötvözetek

Az ipari alumíniumötvözetek kialakításánál fő cél a minél nagyobb szakítószilárdság elérése. Az alumínium szilárdsága kicsi, mintegy  $80 \text{ N/mm}^2$ , de ez különféle módon növelhető:

- ötvözéssel  $200 \text{ N/mm}^2$ -re,
- ötvözés és hőkezelés (nemesítéssel)  $300 \text{ N/mm}^2$ -re,
- ötvözés, képlékeny alakítás hőkezelés  $400 \text{ N/mm}^2$ -re.

Az Al-ötvözeteket két csoportba szokás sorolni:

- képlékenyen alakítható Al-ötvözetek,
- önthető Al-ötvözetek.

Mindkét csoport két részre osztható: az egyik a hőkezelhető, a másik a nem hőkezelhető ötvözetek csoportja.



## Képlékenyen alakítható alumíniumötvözetek

A **képlékenyen alakítható alumíniumötvözetek** szilárd oldat típusúak. Főötözőként a Cu, Mg, Si és Zn szerepelnek, a telített oldatuk összetételét meg nem haladó mennyiségben (Cu max 5%, Mg max 10%, Si max 1,5%, Zn max 4%). Ezen kívül szoktak még adagolni kb. 2% Ni-t a hőszilárdság fokozása érdekében és 1-2% Mn-t, ami növeli a korrózióállóságot, főleg a tengervízzel szemben. Valamennyi alakítható Al-ötvözet tartalmaz legalább 0,5% Mg-ot.

Nemesíthetők ötvözetek: Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ni, Al-Si-Mg ötvözetek.

Nem nemesíthetők: Al-Mg és Al-Mn ötvözetek.

## Alumíniumötvözetek csoportosítása

Az Al-Cu-Mg ötvözeteket **duralumíniumnak** nevezik. A gépgyártás szempontjából ezek igen fontosak, mert a legnagyobb szilárdságúra nemesíthetők. Szakítószilárdságuk elérheti az 500 N/mm<sup>2</sup>-et is. Viszont a réztartalom hajlamossá teszi őket a korrózióra, ezért vékony tiszta alumíniummal szokták felületüket bevonni.

Az **öntészeti Al-ötvözeteket** három csoportba lehet sorolni:

- szilumines csoport,
- magnéziumos csoport,
- rezes csoport

Közös jellemzőjük:

- alacsony olvadáspont,
- hígfolyósak,
- korrózióállóak,
- legtöbb jól hőkezelhető.

## Öntészeti alumíniumötvözetek

Az öntészeti Al-ötvözetek között legkiválóbb a **szilumincsoport**.

Ide tartoznak az Al-Si és az Al-Si-Mg ötvözetek. Mindkét típus az Al-Si eutektikus (12% Si) ötvözete, így hőfokon szilárdul (578 °C), kicsi a zsugorodása.

A **magnéziumos csoport** öntészeti szempontból rosszabbak, de forgácsolással jól megmunkálhatók, kifejezetten korrózióállóak és a szilárdsági jellemzőik is jók, amelyek még kis mennyiségű Ti-nal és Mn-nal javíthatók. A hidronálium néven ismert ötvözetek 3-, 5-, 7% Mg-tartalommal a légkorrózióállóbbak, ezért agresszív közegben használatos kisebb alkatrészek gyártására jól használhatók.

A **rezes csoportba** tartozó ötvözetek hígfolyóssága nagy, ezért az öntvények lunkermentesek. Jó hővezetők és hőállóak, de egyes ötvözetek hajlamosak a ridegtörésre, amit hőkezeléssel lehet kiküszöbölni. A hőszilárdságot Ni hozzáadásával lehet fokozni. Ez az ún. Y-ötvözet, amelyből belső égésű motorok hengerfejeit és dugattyúit öntik. A forgácsolhatóság javítható 0,2% Si és 0,3% Mg hozzáadásával.

## 1.2.2. Titán (Ti)

A titán ezüstfehér színű fém. Sűrűsége  $4,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , olvadáspontja  $1820 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Korrózióállósága kitűnő, mint a korrózióálló acélé, csak a halogének támadják meg.

A nagy tisztaságú Ti szakítószilárdsága  $120 \text{ N/mm}^2$ , de a kereskedelmi tisztaságúé  $350 \text{ N/mm}^2$ , szakadási nyúlása 50%. Szilárdsága 50%-os hidegalakítással  $800 \text{ N/mm}^2$  értékre növelhető.

Fő ötvözői az Sn, a Zr, Cr, Mo, V és a Nb.

## 1.2.3. Magnézium (Mg)

A Mg sűrűsége igen kicsi,  $1,78 \text{ kg/dm}^3$ , olvadáspontja  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , de már  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ -on meggyullad és elég. Jó hő- és elektromos vezető.

A tiszta Mg-ot ötvözőfémként használják az alumíniumötvözetek és a gömbgrafitos öntöttvasak gyártásánál, de elterjedt távvezetéki acélcsövek katódos korrózióvédelmére is.

Az ötvözetlen Mg szakítószilárdsága nagyon kicsi (öntött állapotban kb.  $110 \text{ N/mm}^2$ )

Erősen reakcióképes az oxigénnel, ezért szerkezeti anyagként csak ötvözetei alkalmazhatók.

Hexagonális szerkezet miatt szobahőmérsékleten rosszul alakítható, ezért az ötvözeteit elsősorban öntéssel dolgozzák fel.

## 1.3. Színesfémek

Ebbe a csoportba tartozó fémek közül van, amelyik színes (pl. réz), de van, amelyiknek csak az érce, vegyülete színes.

A legfontosabb színesfémek:

réz (Cu)
ón (Sn)
ólom (Pb)
cink (Zn)
nikkel (Ni)
wolfram (W)

A színesfémek fő felhasználási területei:

- korrózióálló bevonatok készítése,
- ötvözők,
- ritkábban önálló fémként.

### 1.3.1. Nikkel (Ni)

Az Ni ezüstfehér színű fém.

- sűrűsége 8,9 kg/dm<sup>3</sup>,
- olvadáspontja 1453 °C.
- a szabályos lapközepes kristályos szerkezetének köszönhetően jól alakítható,
- jól vezeti a hőt és a villamosságot,
- 360 °C-ig ferromágneses, e felett már nem.

### 1.3.2. Ólom (Pb)

A színólmom kékesszürke, levegőn sötétszürkére oxidálódó nehézfém. A felületi oxidhártya megvédi a további oxidációtól. Tulajdonságai:

- sűrűsége 13 kg/dm<sup>3</sup>,
- olvadáspontja 327 °C,
- szabályos lapközepes köbös kristályszerkezetben kristályosodik, ezért jól alakítható, lágy, körömmel karcolható.
- kémiai ellenállása kén-, kénes- és sósavakkal szemben jó. Ezért a kénsavgyártás és a klórmészgyártás fontos anyaga. Kádbélések, csövek, szivattyúk bélése készül belőle.
- jó hangszigetelő és rezgéscsillapító.
- jól a sugárzáselnyelő hatása, felhasználható radioaktív sugárzás elleni védelemre.
- oxidja korrózió elleni védelemre alkalmas.
- az élő szervezetre mérgező hatású.

### 1.3.3. Ón (Sn)

Tulajdonságai:

- sűrűsége 7,3 kg/dm<sup>3</sup>,
- szilárdsága öntve 30-40 N/mm<sup>2</sup>,
- olvadáspontja 220 °C,
- nyúlása 30-40%,
- hidegen jól alakítható, fóliává nyújtható,
- acél bevonataként használható korrózió ellen,
- élelmiszer-higiéniai szempontból megfelelő,
- korrózióállósága jó, de ha megsérül a bevonat, az acél korróziója megindul.

Fő alkalmazási területe:

- élelmiszer- és konzervipar (fólia, tubus, bevonat),
- csapágyfémek anyaga,
- forrasztóanyagok előállítására (alacsony olvadáspontú ötvözetek).

### 1.3.5. Horgany

A horganyt szulfidos vagy karbonátos érceiből állítják elő kohászati úton.

- olvadáspontja 419 °C,
- 950 °C-on gőzfázisba megy át,
- jól önthető,
- 140–170 °C között jól hengerelhető,
- 200 °C felett ridegen viselkedik.

Az iparban a színhorgany lemezek gyártására, ötvözésre (sárgaréz), valamint korrózióállósága miatt acéltárgyak bevonására (tűzhorganyzás) használják. A horganyzott tárgyak korrózió elleni védelme még akkor is fenn áll, ha a horganyzott felület megsérül.

### 1.3.6. Wolfram (W)

Tulajdonságai:

- a legmagasabb olvadáspontú fém, olvadáspontja 3410 °C,
- sűrűsége igen nagy, 19,3 kg/dm<sup>3</sup>,
- alacsony hőmérsékleten rideg és könnyen oxidálódik.

A volfrámot és ötvözeteit a magas hőmérsékletnek kitett alkatrészek anyagának gyártására, mint pl. izzószálak, nem olvadó hegesztő elektródák (AWI hegesztés) belső égésű motorok gyertyáinak elektródái, használják.

### 1.3.7. Réz (Cu)

A nagy tisztaságú réznek (vörösréznek) kitűnő a hő- és villamos vezetőképessége, a képlékenysége és a korrózióállósága.

A réz szilárdsága nem nagy. Hidegalakítással szilárdsága növelhető.

A szennyezők már egészen kis mennyiségben (0,1–0,01%) mennyiségben, nagymértékben csökkentik a réz villamos- és hővezető képességét.

A réz korrózióállósága jó. A nedves levegő megtámadja, de a felületén képződő Cu<sub>2</sub>O a levegő CO<sub>2</sub> és SO<sub>2</sub>-tartalmával egyesülve jól tapadó, tömör rézkarbonát- és rézszulfát réteget, ún. patinát képez.

A rezet jó elektromos vezetőképessége és forraszthatósága miatt előszeretettel alkalmazzák elektronikai berendezésekben és eszközökben (pl. érintkezők, elektromos vezetékek, kapcsolók stb.) gyártásához.

A réz ötvözeteit két fő csoportra lehet bontani:

Sárgaréz

Bronz

### 1.3.7.1 Sárgaréz ötvözetek

A sárgaréz a réznek horgannyal (Zn) való ötvözete. Másodrendű ötvözőként az Al, a Ni, a Fe, a Mn, az Sn és a Pb és a Si is jelen lehetnek.

A feldolgozhatóság szempontjából a sárgarezek lehetnek:

- alakíthatók,
- öntészeti ötvözetek.

A gyakorlatban alkalmazott sárgarezek Zn-tartalma nem haladja meg az 50%-ot. A 80%-nál nagyobb réztartalmú ötvözeteket **tombaknak** nevezik. Képlékenységük nagy, szilárdságuk viszont kisebb, mint 63–75% Cu-tartalmú sárgarezeké. Hidegen könnyen alakíthatók.

A 30%-nál kevesebb Zn-t tartalmazó sárgarezek jó elektromos vezetők.

Az öntészeti sárgarezek legkedvezőbb mechanikai tulajdonságai 60–63% ill. 67% réztartalommal biztosítható.

### 1.3.7.2 Bronzok

A réznek ónnal (Sn) alkotott ötvözeteit nevezték bronznak. Jelenleg bronznak nevezik a réz minden olyan ötvözetét, amelyben nem a horgany a fő ötvöző elem.

**Ónbronzo**k (CuSn-ötvözetek) a réznek ónnal alkotott ötvözetei. Az ónbronzoakat két csoportba lehet sorolni: az egyik csoport a képlékenyen alakíthatók, míg a másikat az önthető bronzok alkotják.

A legjobb szilárdsági jellemzőik az 5–10% Sn-t tartalmazó bronznak van. Gyakorlatban a leginkább a 6-7% Sn-tartalmú bronzokat használják.

Az iparban az alakítható bronzokból villamos forgógépek csúszócsapágóit, vegyipari alkatrészeket, rugókat, membránokat, műszereket készítenek.

Az önthető ónbronzo nagyobb mennyiségű Sn-t tartalmaznak. Kétfázisúak, jól önthetők, híg folyósak, kicsi a zsugorodásuk, erősen korrózióállóak, jó a csúszási jellemzőjük.



## 1.4. Vasalapú ötvözetek csoportosítása

A **nyersvas** olyan vas-szén ötvözet, amelynek szén tartalma 2,06% és 6,67% között van. A nagyolvasztó terméke, vasérből állítják elő.

Az **acél** olyan vas-szén ötvözet, amelynek széntartalma nem haladja meg a 2,06%-ot. Az acélműben, főleg nyersvasból (és ócskavasból) állítják elő.

Az **öntöttvas** olyan vas-szén ötvözet, aminek a széntartalma 3,5–4,5% között van (közel eutektikus). Nyersvasból állítják elő.

Több mint ezerféle acélt gyártanak. Ezek többféle szempontból csoportosíthatók:

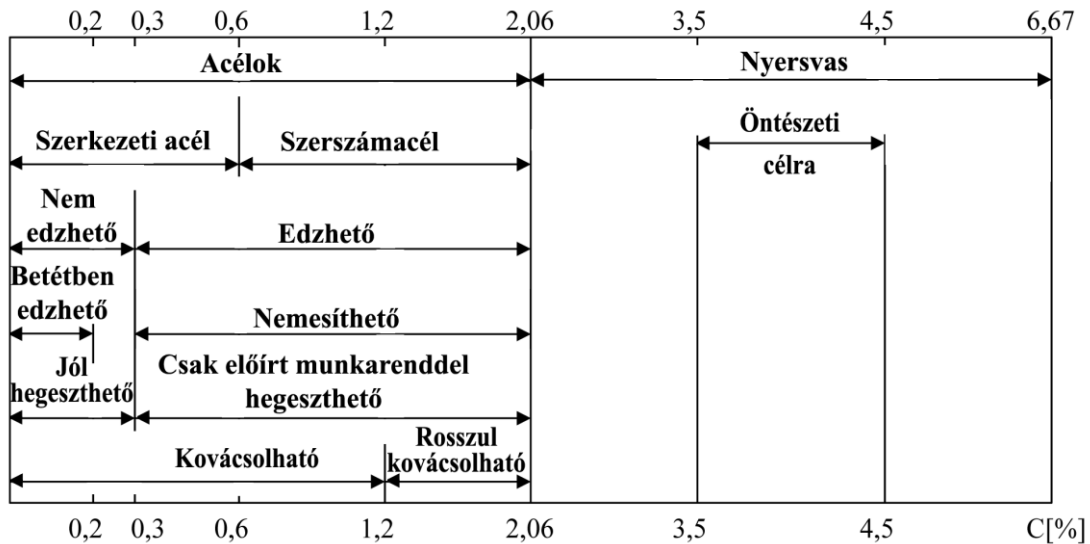
felhasználás, technológiai tulajdonságok

ötvözöttség

minőségi osztály

szabványos jelölésük, szabvány szerint

### 1.4.1. Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása



### 1.4.2. Vas-szén ötvözetek ötvözöttség szerinti csoportosítása

**Ötvözetlen** az az acél, amelyben bármely ötvözőelem mennyisége nem haladja meg a szabványban megadott határértéket.

Ezek a határértékek:

Elem	Al	B	Bi	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Nb
Tömeg %	0,1	0,0008	0,1	0,1	0,3	0,4	1,65	0,08	0,06
Elem	Ni	Pb	Se	Si	Te	Ti	V	W	Zr
Tömeg %	0,3	0,4	0,5	0,5	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05

**Ötvözött az az acél**, amelyben bármely elem tömegszázaléka nagyobb a táblázatban közölt értéknél.

**Ötvözet az ötvözöttség foka szerint lehet:**

- mikro ötvözet – az ötvözőelemek mennyisége tized%-ban haladja meg a határértéket,
- gyengén ötvözött – az ötvözők mennyisége (a szénen kívül) kevesebb 5%-nál,
- közepesen ötvözött – az ötvözőtartalom (a szénen kívül) 5-10% között van,
- erősen ötvözött – az ötvözők mennyisége 10-20% között van,
- különlegesen ötvözött – az ötvözők mennyisége meghaladja a 20%-ot.

### 1.4.3. Vas-szén ötvözetek minőségi osztály szerinti csoportosítása

A vas-szén ötvözeteket minőségi osztály szerint három csoportba lehet sorolni:

- alapacélok,
- minőségi acélok,
- nemesacélok.

**Az ötvözetlen acélok lehetnek:**

- alapacélok,
- ötvözetlen minőségi acélok,
- ötvözetlen nemesacélok.

**Az ötvözött acéloknak csak két minőségi osztálya van:**

- ötvözött minőségi acélok,
- ötvözött nemesacélok.

### 1.4.4. Szerkezeti acélok

Szerkezeti acéloknak nevezzük a 0,6%-nál kevesebb szenet tartalmazó acélokat. Szerkezeti acélból készülnek a legkülönbözőbb gépek, berendezések egyes alkatrészei.

**Az acélokat felhasználási céljuk szerint két csoportba osztja a szabvány:**

- Az első csoportba azokat sorolja, amelyeknél a felhasználó számára valamilyen fizikai, mechanikai tulajdonság garantálása a legfontosabb.
- A másik csoportba azokat az acélokat sorolja, amelyeknek a vegyi összetételük garantált.

### 1.4.4. Vegyi összetételük garantált acélok

A **nyomástartó** berendezések gyártásához használt acélokban az alacsony oxigéntartalmat különleges csillapítással érik el, amit garantál a 0,02%-nál nagyobb alumíniumtartalom.

A **betétedzés** céljára külön acélcsoportot fejlesztettek ki, amelyeknek a C-tartalmuk általában 0,2%-nál kisebb. A betétben edzhető acélok mindig csillapítottak, amit a legfeljebb 0,4% szilíciumtartalom garantált.

A gépalkatrészek gyártásához használatos **nemesíthető** acélok karentartalma általában meghaladja a 0,2%-ot, mert ilyen karentartalom mellett már nagy szilárdság és szívósság hozható létre hőkezeléssel.

A **nitridálás** céljára kifejlesztett acélok mindig csillapítottak, amit a legfeljebb 0,5% Si-ötvözéssel érik el. Ezeknek az acéloknak a maximális S- és P-tartalma  $\leq 0,03\%$ .

A **korrózióálló** vasötvözetekhez két jelentős acélcsoport tartozik. Az egyik Cr-mal erősen ötvözött ferrites szerkezetű-, a másik a Cr-mal és Ni-lel erősen ötvözött, ausztenites szerkezetű korrózióálló acél. Mindkét acélcsoport korrózióállóságát az teszi lehetővé, hogy az acél felületén kialakul egy krómoxid réteg, amely áthatolhatatlan az oxigén számára, továbbá mindkét acélcsoport homogén szerkezetű.

### 1.4.4. Fizikai, mechanikai tulajdonság garantált acélok

#### Általános rendeltetésű, ötvöztelen szerkezeti acélok

Az általános rendeltetésű, ferrit-perlit szövetszerkezetű acélok

**Az ötvöztelen szerkezeti acélokat** az MSz EN 10025 szerint gyártják. A szabvány az S185, S235, S275, S355, E295, E355 és E360 acélfajtákat különbözteti meg, amelyek mechanikai tulajdonságaikban különböznek egymástól. Az S235 és S275 acélfajták minőségi csoportja JR, J0 és J2 lehet. Az S355 acélfajta JR, J0, J2 és K2 minőségi csoportban kapható. Az S235 és S275 acélfajtából készült terméknel a J2 minőségi csoporton belül különbséget tesznek a J2G3 és J2G4 között. (G3 és G4: teljesen csillapított acél, a G1: csillapítatlan acélt jelent)

Hegeszthetőség: A JR, J0, J2G3, J2G4, K2G3 és K2G4 minőségi csoportokba tartozó acélok általában minden eljárás szerinti hegesztésre alkalmas.

### 1.4.4. Fizikai, mechanikai tulajdonság garantált acélok

#### Melegen hengerelt, hegeszthető, finomszemcsés szerkezeti acélok

- A **hegesztett szerkezetekhez** alkalmazandó acélokat az MSz EN 10113 tartalmazza. A szabvány az S275, S355, S420 és S460 jelű acélfajtákat különbözteti meg. A számok a garantált minimális felső folyáshatárt jelentik.
- **Az ötvözetlen minőségű acélok a következők:**  
P235, P265, P275, P295, P355, P460 A számok a garantált minimális felső folyáshatárt ( $R_{eH}$ ) jelentik +20 C°-on. Ezen acélok folyáshatárát ( $R_{eH}$  vagy  $R_{p0,2}$ ) 200 C°, 300 C° és 400 C°-on is garantálják. A P235, P265, P295, P355 jelű acélok jelölésében GH- betűjel szerepel. A G- egyéb megkülönböztető jel, a H- nagy hőmérsékletű alkalmazásokra utaló jel. A P275, P355 és P460 jelű acéloknál az N- betűjel a normalizált vagy szabályozott hőmérsékleten hengerelt állapotra utal.

### 1.4.4. Szerszámacélok

Szerszámacéloknak nevezzük azokat az acélokat, amelyek széntartalma 0,6–2,06%. A szerszámacélokat más anyagok (általában fémek, de lehet nemfémes anyag is) alakítására használják.

A fémek megmunkálása lehet forgácsleválasztással járó és forgács nélküli eljárás. Minden fémmegmunkáláshoz fejlesztettek ki szerszámot, amely az adott körülményeknek a legjobban megfelel. Általános érvényű megfogalmazás szerint a szerszámnak mindig egy nagyságrenddel keményebbnek kell lennie, mint az általa megmunkált anyag.

A szerszám anyagával szemben alapvető követelmény, hogy a szerszám működési hőmérsékletén a keménysége lényegesen nagyobb legyen, mint a vele megmunkált illetve alakított anyagé. A gyakorlatban alkalmazott szerszámok anyaga kétfázisú. Az egyik az ágyazó fázis vagy mátrix, ennek nagy szívósággal kell, hogy rendelkezzen a szerszámra ható statikus vagy dinamikus igénybevétel miatt. A másik fázis, amely beágyazódik a szívós alapfázisba, nagy keménységű kell, hogy legyen. Ezen fázis nagy keménységét a vegyületek, a karbidok, nitridek és boridok biztosítják.

### 1.4.4. Szerszámacélok

#### Szerszámacélok összetétele

A szerszámacélok mindig csillapítottak, szilíciumtartalmuk 0,15–0,35%, kén- és foszfortartalmuk kisebb 0,025%-nál.

#### Ötvözetlen szerszámacélok:

Szobahőmérsékleten működő szerszámok (vágó-, fúró-, maró-, fűrész szerszámok, mezőgazdasági kéziszerszámok). Hátrányuk kis átedzhető átmérő és csekély a hőállóság.

#### Ötvözött szerszámacélok:

hidegalakító szerszámacélok:

Mangánötvözésű hidegalakító szerszámacélok (M1)

Keménységét a mangán-karbid adja

Nem hőálló (kivágó szerszámok, ollók, idomszerek)

Volfrám ötvözésű (W5, W6, W9)

Keményebbek, magasabb hőmérsékleten stabilabbak (kalapácsok, vágók, lyukasztók)

W9 jelű kis és közepes teljesítményű csigafúrók, menetfúrók, fémfűrészek

Krómmal gyengén ötvözött hidegalakító szerszámok (K4, K6)

Króm az átedzhetőség növelésére

Króm-karbid finom eloszlású (gördülőcsapágyak)

### 1.4.4. Szerszámacélok

A **gyorsacél** olyan erősen ötvözött szerszámacél, amely összetételénél fogva nagy sebességgel forgácsoló szerszámok gyártására alkalmas.

Még az 500 °C-ra melegedett szerszám sem veszíthet éltartóságából. Előállításuk drága, de termelékenységük 3–5-ször nagyobb, mint a szénacéloké. A keménységük HRC 62-67, nagy az ötvözőelem- (kb. 25-30%) tartalmuk, és a karbontartalmuk C 0,7–1,4%.

S6-5-2-5 erősen kopásálló szerszámok nagyteljesítményű eszterga- és marószerszámok anyaga. S18-0-1 (18%W) nagy vágási szilárdságú hőálló és szívós szerszámok.

### 1.4.4. Öntöttvasak

**Öntöttvasnak** nevezzük a 2,06–6,67% közötti C-tartalmú vas-szén ötvözeteket. Közülük öntészeti célra azok felelnek meg leginkább amelyek olvadáspontja alacsony, zsugorodása kicsi és jó a formakitöltő képessége.

A gyakorlatban használt öntöttvasak 3,5–4,5% szenet tartalmaznak, ez az eutektikus összetétel közelébe esik.

A **metstabilis** (1 °C/min hűtési sebesség) rendszerben kristályosodott öntöttvasak törete (fémes fényű) fehér a cementit tartalma miatt, ezért ezeket **fehér öntöttvasnak** nevezik.

A fehér öntöttvas nagyon rideg, kemény, a gyakorlatban nem használják.

A **stabilis** (lassabb mint 1 °C/min hűtési sebesség) rendszer szerint kristályosodó öntöttvasak az ún. **szürke öntöttvasak**, mivel töretük szürke a bennük található grafitkiválások miatt.

Jól meg lehet munkálni és kevésbé rideg, mint a fehér öntöttvas.

### 1.4.4. Öntöttvasak

A fehér öntöttvasat szándékosan nem állítják elő, mert túl rideg, kemény. A kisméretű, kis tömegű öntött alkatrészek esetében azonban nehéz megfelelően kis hűtési sebességet elérni, így ezek fehéröntvényként szilárdulnak meg. Ebben az állapotukban ezek nem lennének felhasználhatók, de a kész öntvény utólagos hőkezelésével, temperálásával a cementit elbontható, az öntvény grafitossá alakítható.

A cementit bomlása során az ausztenitben már oldhatatlan mennyiségű szén apró „grafitszemcséket” ún. temperszén csomókat hoz létre.

A temperszenet és ferritet, perlitet tartalmazó öntvény töretének színe sötét a grafitzárványok miatt, ezért ezeket az öntöttvasakat **fekete temperöntvénynek** nevezik.

**A temperálás során a cementit bomlását általában 940–960 °C-on, 10–20 óras hőn tartással érik el.**

Amennyiben nem semleges atmoszférában történik a temperálás, hanem **oxidáló közegben, 980–1050 °C-on**, úgy a cementit bomlásából keletkező grafit nemcsak kiválik az ötvözetben, de a felület közelében ki is ég. Ekkor az öntvény töretét a grafitzárványok nem teszik sötétté, hanem fémes fényű marad. Ezért az ilyen öntvényt **fehér temperöntvénynek** nevezik.

### 1.4.4. Öntöttvasak tulajdonságai

**A külső bemetszésekkel szembeni kis érzékenység.** A sima és bemetszett próbatestek kifáradási határa közel azonos.

**Az igen jó rezgéscsillapító képesség.** A szürke öntöttvas egyike a legjobb rezgéscsillapító anyagoknak. A rezgéseket az alapszövetbe ágyazott grafitlemezkek csillapítják. Ezért szerszám gép- és műszerállványoknál, motorblokkoknál stb. kiválóan felhasználhatók.

**A nagy nyomószilárdság.** Nyomó igénybevételnél az öntöttvas jól megfelel.

**A jó kopásállóság.** A grafit a csúszófelületeken önkenő és kenőanyag-tároló hatást fejt ki. A kopásállóság szempontjából a perlites szövetszerkezet a legmegfelelőbb. A gyakorlatban bevált súrlódó párok egyik tagja rendszerint öntöttvas. Ennek következtében a szürke öntöttvas igen alkalmas siklócsapágyak, hengerperselyek, féktuskók, dugattyúgyűrűk stb. gyártásához.

**A szürke öntöttvas forgácsolással jól megmunkálható.**



## 1.5. Keményfémek

Porkohászati úton előállított, ún. álötvetetek. Nagy keménységű, rideg anyagok. Olvadáspontjuk igen magas ( $T_o > 3000\text{ °C}$ ). Hő- és kopásállóak.

A keményfémeket nagy keménységű fémkarbidokból – volfrám-, titán-, tantál-karbidból, valamint kötőanyagként kobaltból állítják elő sajtolással, szintereléssel.

A gyártás során a keményfém karbidok és a segédanyagok porát összekeverve 600–900 °C-on előzsugorítják. Ekkor még megmunkálhatók, majd 1300–1500 °C-on hidrogén védőgázos vagy vákuumkemencében készre zsugorítják. A felületükre gőzölt, 0,01 mm vastag titánkarbid, titánnitrid réteg 3-4-szeresére növeli a szerszám élettartamát.

Felhasználják forgácsoló, hidegalakító és bányászati szerszámok élananyagként (keményfémlapkák formájában), élfelrakó elektródaként, valamint fémporszóráshoz.

**Egykarbidos** (volfrám-karbidos) keményfém jele **K**. Rideg anyagokhoz ajánlott.

**Kétkarbidos** (volfrám- és titán-karbidos) jele **P**. Acélok megmunkálásához.

**Háromkarbidos** (volfrám-, titán- és tantál-karbidos) jele **M**. Univerzális felhasználásra ajánlott.

## 2. Nem fémes szerkezeti anyagok

### Műanyagok

Műanyagok szerkezete

Műanyagok fajtái

### Műszaki életben használt folyadékok

### Szigetelőanyagok

### Kerámiák

Hagyományos kerámiák

Műszaki kerámiák

### Hagyományos nemfémes anyagok

Növényi eredetű anyagok

Állati eredetű anyagok

Szervetlen hagyományos anyagok

## 2.1. Fa

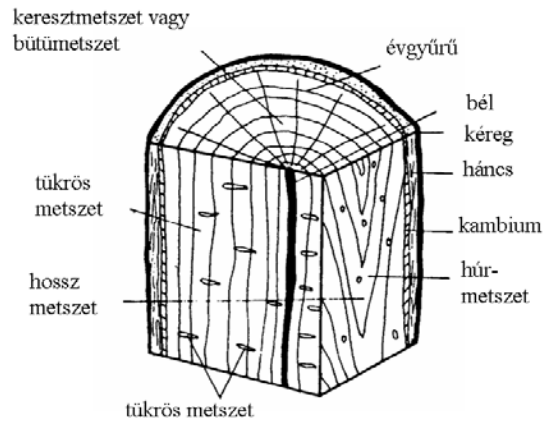
A fa az egyike a legrégebbi és legfontosabb nyersanyagainknak. Olcsósága, könnyű megmunkálhatósága, kémiai ellenállósága, hőszigetelő képessége széles körű felhasználásra teszi alkalmassá.

Nagy mennyiségben használják szerkezeti és építőanyagként.

A fa törzsén három különböző, egymásra merőleges metszetet készíthetünk. A fatörzs tengelyére merőleges metszetet, a keresztmetszetet **bütümmetszetnek** hívják. A metszeten az évgyűrűk láthatók.

A fatörzs hossz tengelyén átmenő síkkal képzett metszet a sugár- vagy **tükrös metszet**. Párhuzamos erezet jellemzi.

A tengellyel párhuzamos metszet a **hürmetszet**. Rajzolata eltorzult parabola.



## 2.2.1 A fák csoportosítása

**Térfogatsúly szerint a fák légszáraz állapotra vonatkoztatva lehetnek:**

- nagyon nehéz (880–800 kg/m<sup>3</sup>), pl. som, cser, gyertyán, berkenye, eperfa,
- nehéz (780–680 kg/m<sup>3</sup>), pl. vadkörte, vadalma, bükk, kőrisek, tölgyek, szilek, diófa,
- középnehéz (670–580 kg/m<sup>3</sup>), pl. hegyi juhar, mezei juhar, korai juhar, nyír, cseresznye, szelídgesztenye, fekete dió, vörösfenyő, fekete fenyő, platán),
- könnyű (570–450 kg/m<sup>3</sup>), pl. fűzek, vadgesztenye, hárs, éger, erdei fenyő, fehér nyár, rezgő nyár, lucfenyő, jegenye fenyő),
- nagyon könnyű (440–400 kg/m<sup>3</sup>), pl. kanadai nyár, fekete nyár.

## 2.2.3 A fa műszaki felhasználásának csoportosítása

### A faanyag nemesítése

Azokat az eljárásokat, amelyek a levegő relatív nedvességtartalmának változásából adódó **méretváltozások hatásait mérsékelik** és a fa szilárdsági **tulajdonságait javítják, nemesítésnek nevezzük.**

Nemesített félkész termékek:

- rétegelt lemez,
- furnérlapok,
- enyvezett lemez,
- faforgácslemez,
- farostlemez.

## 2.3. Kerámiák

Kerámiának tekinthető minden szervesetlen anyag, ami nem fém.

A kerámia alkalmazásának előnyei: élettartam-növekedés, drágább anyagok helyettesítése, kiváltása.

Kerámiák felosztása:

- egyatomos kerámiák (pl. gyémánt, grafit ),
- vegyületkerámiák (pl. alumínium-oxid kerámia).

A vegyületkerámiák két nagy csoportot alkotnak:

oxidmentes kerámiák

oxidkerámiák

A kerámiák fő sajátosságai:

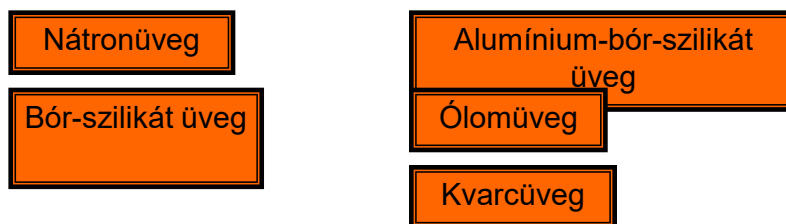
- nagyon stabil szerkezet,
- szigetelők vagy félvezetők,
- magas az olvadáspontjuk,
- nagyon kemények, ridegek,
- nagy a nyomószilárdságuk.

## 2.3.1 Hagyományos kerámiák

### ÜVEG (szilikátüveg)

Hagyományos értelemben az üveg különféle szervesetlen anyag (homok, szóda, mészkő stb.) olvadékának túlhűtésével nyert amorf szilárd anyag. Rideg, kemény, legtöbbször átlátszó vagy áttetsző, homogén anyag.

Az üvegféleségek fizikai sajátságai változatosak. Sűrűsége a gyártásnál felhasznált komponensek arányával 2,1–2,8 g/cm<sup>3</sup> változik.



## 2.3.2. Agyagkerámiák, porcelán

### Agyagkerámia

Az agyag alumínium-hidroszilikátos üledékes kőzet mállásterméke. Az agyagot 0,02 mm-es kis szemcsék alkotják. Nedves állapotban képlékenyen alakítható, gyúrható.

Kiszáritva a szemcsék összetapadnak, a belőle készült tárgy megszilárdul. Szilárdsága kicsi. Kiegetve a szemcsék összehegednek, a termék szilárdvá válik. Szerkezete általában porózus.

Az építőipar elterjedten használja téglá, cserép formájában.

### Porcelán

A porcelán alapanyaga a kaolin, ami az agyaghoz hasonló, de szerves és egyéb szennyezőktől mentes, fehér színű ásvány.

Az alumínium-hidroszilikátos üledékes kőzet, a **kaolinit** mállásterméke. Századmilliméternél kisebb tartományba eső, pikkelyszerű, fehér szemcsékből áll. Nedves állapotban képlékeny, jól formázható. A belőle készült, 900–1300 °C-on kiegetett kerámia a **porcelán**.

### 2.3.3. Korszerű ipari kerámiák

Az újabb felfogás szerint: **Kerámiának tekintendő minden szervesetlen anyag, ami nem fém.**

**Az ipari kerámiák főbb felhasználási területei:**

- elektronika, félvezetők, szupravezetők, piezoelektromos eszközök előállítása,
- vegyipari berendezések gyártása,
- motor- és turbinagyártás,
- egészségügyi, optikai eszközök gyártása,
- rakétatechnika, űrhajózás stb.

Az ipari kerámiákat feloszthatjuk:

- egyatomos kerámiákra,
- vegyületkerámiákra.

### 2.3.4. Egyatomos kerámiák

A gyémánt 1500 °C felett lassan grafittá átkristályosodik. A természetben igen ritkán fordul elő. Mesterségesen is előállítható 2000 °C feletti hőmérsékleten, 55 GPa-nál nagyobb nyomáson.

Ha nem nagy kristályokat, hanem sok apró kristályból álló (ún. polikristályos) anyagot hoznak létre, ehhez elegendő 1000 °C hőmérséklet és néhány GPa nyomás.

Az ilyen gyémántszemcséket tartalmazó bevonat szerszámanyagként kiválóan megfelel.

A világ gyémánttermelésének 60-70%-át ipari célra használják. Ennek a mennyiségnek több mint a fele mesterséges gyémánt.



## 2.3.5. Vegyületkerámiák

### Oxidmentes vegyületkerámiák

Ebbe a csoportba tartozó legfontosabb kerámiák a karbidok, nitridek, boridok, szilicidok és ezek komplex intersztíciós vegyületei.

Jellemző tulajdonságuk a nagy keménység és ezzel együtt jár a nagy ridegség, törékenység.

Ezeket a vegyületeket használják fel szerszámacélokban szívós acélba ágyazva vagy kéregötvözött réteggként.

A keményfémek is az oxidmentes kerámiák csoportjába sorolhatók.

## 2.3.5. Vegyületkerámiák

### Oxidkerámiák

Az oxidkerámiákhoz a nyersanyagot ásványok biztosítják.

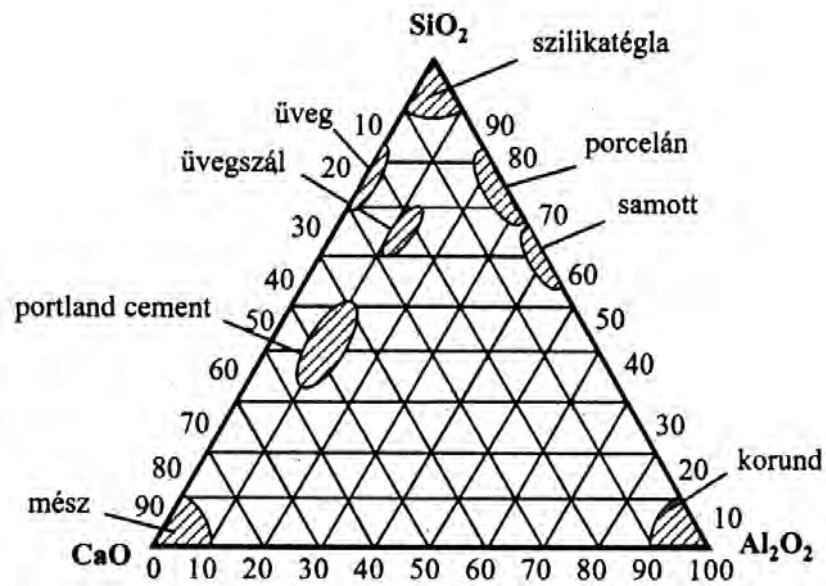
Két legfontosabb alapanyaga a szilícium-dioxid ( $\text{SiO}_2$ ) és az alumínium-oxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

A szilícium-dioxidhoz és az alumínium-oxidhoz **bázikus oxidot** (pl. égetett meszet – CaO-t) adagolva különböző tulajdonságú oxidkerámiákhoz jutunk. Ezt mutatja be a kerámiák háromalkotós rendszerének diagramja.

**Korund**kristályos alumínium-oxid. Keménységével kiemelkedik a többi kerámia közül. Csiszolóanyagként elterjedten használják.

Az oxidkerámiák közé tartoznak a hagyományos kerámiák, mint az üveg, az agyagkerámia, a porcelán a cement és a korund.

### 2.3.5. Vegyületkerámiák



Kerámiák háromalkotós rendszerének diagramja

## 2.4. Műanyagok

### A műanyag (polimer):

- óriásmolekulákból álló,
- természetes vagy mesterséges alapanyagokból,
- vegyi úton előállított,
- szerves anyag.

Az óriásmolekula nagyszámú kis molekula összekapcsolódásából jön létre, pl. sok etilénmolekula ( $C_2H_4$ ) polietilén molekulává kapcsolható össze (**poli-** előtag = sok). A kis molekulát (pl. etilén) **monomereknek** hívják. A monomerekből lesz polimer.

Az óriásmolekulában az atomok száma több, mint  $10^3$ -on.

A monomerek összekapcsolódása történhet:

- polimerizációval,
- polikondenzáció útján,
- poliaddícióval.

A műanyag felhasználása széles körű. Használják az élet minden területén, pl. az autógyártásban, háztartásban, repüléstechnikában, építőiparban, elektronikában stb.

## 2.4.1. A műanyagok csoportosítása

A műanyagokat többféle szempontból lehet csoportosítani:

1. eredet (alapanyag) szerint,
2. az óriásmolekula előállítási módja szerint,
3. szerkezete szerint,
4. hővel szembeni viselkedés szerint.

Eredet szerint a műanyagok lehetnek **mesterséges alapúak** (ezek kőolajszármazékokból készülnek),

**természetes alapúak** (pl. fehérjéből műszaru, celulózból celulooid, növényi olajból linoleum, kaucsukból gumi stb.).

A monomerek **összekapcsolási módja** lehet:

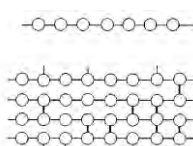
- polimerizáció,
- polikondenzáció,
- poliaddíció.

## 2.4.1. A műanyagok csoportosítása

A műanyag tulajdonsága nagymértékben függ az anyag szerkezetétől.

A műanyag **elsődleges szerkezete** lehet:

- lánc (fonalszerű),
- térhálós szerkezet.



A **láncmolekulákat** sorban, kémiai kötéssel összekapcsolódott monomerek alkotják. A láncok között viszont nincs kémiai kötés. A láncmolekulákat csak gyenge, másodlagos (ún. *Van der Waals*) kötés tartja össze. Ezt a részecskék hőmozgása is el tudja szakítani. Így a hőmérséklet növelésével az anyag meglágyul, majd megolvad. Az ilyen szerkezetű műanyagok **hőre lágyulóak** (termoplasztok), újra formázhatók.

Ha a láncok között is, a tér három irányában, kémiai kötések alakulnak ki, **térhálós szerkezetű** polimerről beszélünk. Ez a polimer hő hatására nem lágyul meg, egy jellemző hőfokot elérve a molekulák elszakadnak, a műanyag elszenesedik, tönkremegy. Nem formázható újra. Ezek a **hőre nem lágyuló** (hőre keményedő – duroplaszt) műanyagok.

### 2.4.1. A műanyagok csoportosítása

A műanyagot akkor nevezik **kristályos szerkezetűnek**, ha a láncot alkotó monomerek egymáshoz képest szabályos ismétlődéssel helyezkednek el.

**A műanyag hővel szembeni viselkedését a szerkezete határozza meg :**

- hőre lágyuló a műanyag, ha láncmolekulák alkotják,
- hőre nemlágyuló (mondják hőre keményedőnek), ha térhálós szerkezetű.

**Általános szabálynak tekinthető, hogy a műanyagok használhatók:**

- hőre lágyulók 100 °C-ig,
- hőre nemlágyulók 200 °C-ig,
- különleges műanyagok 300 °C-ig.

Természetesen ez egy közelítő érték, bizonyos műanyag fajták esetében ez a határérték 20 °C-kal is eltérhet lefelé és felfelé.

### 2.4.2. A műanyagok tulajdonságai

Műanyagok sajátos tulajdonságai:

- képesek nedvességet felvenni,
- terhelés hatására a deformáció időben elnyújtva jön létre, illetve regenerálódik (késleltetett nyúlás – viszkoelasztikus tulajdonság),
- kis sűrűség (a fémek sűrűségének  $\frac{1}{4}$ -e,  $\frac{1}{7}$ -e),
- jó hő-, hang- és elektromos szigetelés,
- jó rezgés csillapító hatás,
- idővel bennük a feszültségek oldódnak (relaxáció), a deformáció pedig nő (kúszás),
- hajlamosak az elektrosztatikus feltöltődésre,
- vegyszerállóak,
- öregedésre hajlamosak (UV-sugarak,  $O_2$ , hő hatására),
- hőtágulásuk lényegesen nagyobb a fémek hőtágulásánál.

## 2.4.2. A műanyagok tulajdonságai

### A műanyagok tulajdonságainak megváltoztatása

Két alapvető módja van:

- lágyítás,
- társítás.

Mindkét módon, viszonylag tág határok között változtatható a tulajdonságok.

A **lágyítás** lehet:

- belső lágyítás,
- külső lágyítás.

Belső lágyításkor a molekulába más monomert is beépítenek. Ez a **kopolimerizáció** (így pl. a törékeny polisztirol szívóssá tehető)

Külső lágyításkor a kész műanyaghoz adagolnak lágyítószert (a molekulák közé). Így a kemény PVC lággyá tehető).

**Társítás** során a műanyagot szilárdságát, szívósságát, kopásállóságát stb. növelő anyaggal dolgozzák össze.

## 2.4.3. A műanyagok csoportosítása

A társító formáját tekintve lehet:

- szemcsés,
- szálal,
- réteges,
- bevonatszerű.

Anyagát tekintve lehet:

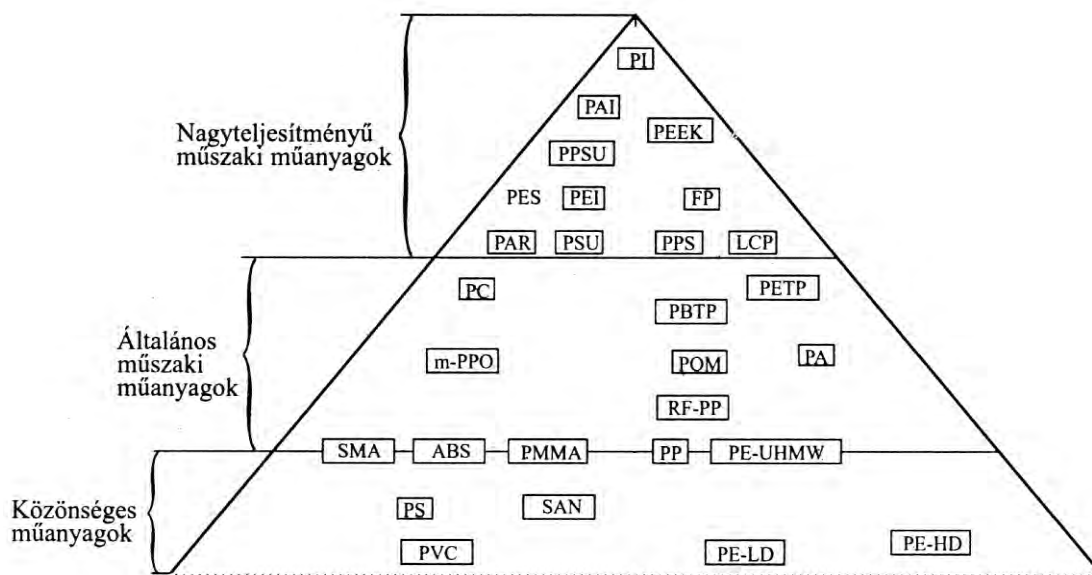
- textilszál, textilszövet (természetes és mesterséges szál),
- üvegszál, üvegszövet, üvegszemcse,
- szénszál, szövet,
- papírréteg, fa stb.

### 2.4.3. A műanyagok csoportosítása

Műszaki követelmények szempontjából a műanyagok lehetnek:

- **Közönséges műanyagok**  
[tömegcikkék előállításához → pl. PVC, polisztirol (PS)].
- **Általános műszaki műanyagok**  
[technikai, gépészeti felhasználáshoz → jobb mechanikai-szilárdsági tulajdonságok, pl. polikarbonát (PC), poliamid (PA)].
- **Nagy teljesítményű műszaki műanyagok** →  
[speciális tulajdonságokkal rendelkeznek → nagy hőállóság, szilárdság, igényes műszaki megoldásokhoz szükséges tulajdonságokkal rendelkeznek pl. poliimid (PI), poliéterszulfon (PES)].

### 2.4.3. A műanyagok csoportosítása



### 2.4.3. Műanyagfajták csoportosítása

#### Hőre nem lágyuló műanyagok

Fenolplasztok  
 Aminoplasztok  
 Poliészterek  
 Epoxigyanták  
 Szilikongyanták  
 Poliacetát (POM)  
 Polietilén tereftalát (PETP)  
 Ultranagy molekulatömegű polietilén (UHMW-PE)

#### Hőre lágyuló műanyagok

Poliamidok  
 Poliuretán  
 PVC  
 Polietilén  
 Polipropilén  
 Poli(izo-butadién)  
 Polikarbonátok  
 Fluoroplasztok  
 Polisztirol  
 Poliformaldehid  
 Poli-metakrilát (Plexi üveg)

### 2.4.3. Műanyagok felhasználása

#### **Poliamidok (PA)**

Fontosabb tulajdonságok:

- nagy mechanikai szilárdság, merevség, keménység és szívósság,
- nagy kifáradási szilárdság,
- jó mechanikai csillapító képesség,
- jó csúszási, siklási tulajdonságok,
- nagy kopásállóság.

Fő alkalmazási területeik: csapágyperselyek, támcsapágyak, vezetékek és kopólécek, görgők, kötélcsigák, fogaskerekek, fogaslécek, lánckerekek.

#### **Poliacetálok (POM)**

A POM fontosabb tulajdonságai:

- nagy szilárdság, merevség és keménység,
- jó folyási tulajdonság,
- jó fajlagos ütőmunka alacsony hőmérsékleten is,
- nagyon jó méretstabilitás,
- kiváló forgácsolhatóság,
- jó csúszási tulajdonság,
- fiziológiailag semleges.

A leggyakoribb alkalmazási területük: kismodulú fogaskerekek, vezérlőbüttyök.



## 2.4.3. Műanyagok felhasználása

### **Polietiléntereftalát (PETP)**

#### Fő jellemzői:

- nagy mechanikai szilárdság,
- jó folyási ellenállás,
- alacsony és állandó csúszósúrlódási tényező,
- nagy kopásállóság, nagyfokú mérettartás,
- fiziológiailag semleges,
- elhanyagolhatóan kis vízfelvétel.

Alkalmazási területeik: nagy terhelésű csúszóelemek, csapágyperselyek, támcsapágyak, vezetőelemek, finommechanikai mérettartó alkatrészek, fogaskerekek, görgők.

### **Ultranagy molekulatömegű polietilén (UHMW-PE)**

#### Tulajdonságaik:

- sűrűségük, szilárdságuk, merevségük, mérettartósságuk kisebb,
- csillapító képességük jobb, nincs nedvességfelvételük,
- siklási tulajdonságaik kiválóak, alacsony a súrlódási tényezőjük,
- nagyobb abráziós kopásállóságuk, fiziológiailag semlegesek.

## 2.4.4. Gumi

A gumi lényegében természetes alapú műanyag. Alapanyaga a **kaucsuk**, amit a kaucsukfa tejszerű nedvéből nyernek (30–40% kaucsukot tartalmaz). A kaucsuk 1200% nyúlásra képes, lágy anyag. Így ipari célra nem alkalmas.

A kaucsukfa nedvét, a **latexet** szűrik, belőle a kaucsukot ecetsavval, hangyasavval kicsapatják, majd szárítják, tömböket készítenek belőle.

A gumit ebből állítják elő. A kaucsuktömböket aprítják, hengerek között „gyúrnak”, kén és töltőanyagot (pl. kormot) adnak hozzá, **keveréket** készítenek. Ezt formába sajtolják, hevítik. A kén és a hő hatására a kaucsuk láncmolekulái térhálósodnak. Ez a folyamat a **vulkanizálás** (1839, Goodyear)

Tehát a gumi térhálósított (vulkanizált) kaucsuk.

A térhálósítás mértékétől függően lehet a gumi lágy vagy kemény (ebonit).

A természetes gumit a szénhidrogén-származékok – benzin, olaj – megtámadják, oldják. A természetes gumi környezeti hatásra **öregedésre hajlamos**.

## 2.4.4. Gumi

A természetes gumin kívül más műanyagok is lehetnek „gumiszerűek”. Ezeket **elasztomereknek** nevezzük.

Műkaucsuk: Vulkanizálható, mesterségesen előállított anyagok (pl. poliuretán).

Műgumi: Műkaucsuk vulkanizálásával (térahálósításával) állítják elő.

Ezek tulajdonságukat, rugalmasságukat alacsony hőfokon is megőrzik, ellenállnak a szerves oldószereknek, szénhidrogéneknek.

Kevésbé hajlamosak az öregedésre (öregedés az idő előrehaladtával bekövetkező tulajdonságromlás).

Néhány műgumi típus:

- sztírol-butadién gumi – gumibroncs, tömlők gyártásához,
- szilikon gumi – kiváló szigetelő anyag extrém körülmények között is,
- poliuretán – kiváló tömítések, karmantyúk, tömör gumibroncsok gyártására.

## 2.4.3. Műanyagok felhasználási területei

### Siklócsapágyak

- Kedvező kopási és siklási tulajdonságok.
- Nedvességfelvevő képesség kihasználása, kenőanyag-felvétel (PA).
- Belső adalékolású folyékony (olaj) vagy szilárd (PTFE) kenőanyag.
- Szennyezett környezetben előnyösen alkalmazható.
- Méretezésnél figyelembe kell venni a szilárdsági és hőtani sajátosságait.

### Gördülőcsapágyak

- Lökésszerű igénybevételt jól viseli, zajmentes, korrózió- és vegyszerálló.
- Műanyag kosárszerkezet, zajcsökkentő hatású.
- Élelmiszeriparban előnyösen használható.

### Fogaskerekek

- Egyszerűbb gyártási eljárásra, tömeggyártásra alkalmas.
- Dinamikus hatásokat jól viseli, zajmentes működés.
- Műszeripari, irodatechnikai célokra kiválóan alkalmazható.

### 3. Kompozitok

A kompozitanyagok heterogén rendszerek, melyeket két vagy több anyag összekapcsolásával (társításával) alakítanak ki. Az alkotók kémiai összetétele és legtöbbször alakja is különbözik. Az egyik alkotó folytonos (mátrix) es körülveszi a diszperz fázist.

A kompozit egy olyan anyag, amely két vagy több összetevőből áll, ezen összetevők eltérő kémiai, és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek, és az anyagok társításának eredményeképpen a keletkezett anyag ellenálló, merevebb és szilárd lesz.

### 3.1. Kompozitok csoportosítása

**Anyagpárok szerint:**

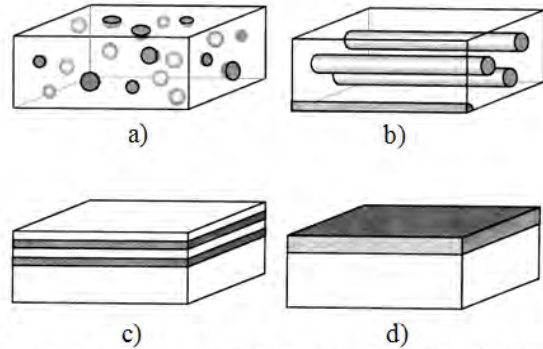
- fém-fém
- fém-kerámia
- kerámia-kerámia
- polimer-üveg

**A mátrix szerint:**

- polimer mátrixú
- fémmátrixú
- kerámiamátrixú kompozitok

**A komponensek morfológiája szerint:**

- szemcsés
- szálás
- lemezes vagy réteges
- bevonatos



A társító anyagok különböző formái kompozitokban  
a) szemcsés; b) szálás; c) réteges; d) bevonatos

### 3.2.1. Szemcsés kompozitok

A diszperz fázist ekviaxiális szemcsék alkotják, melyek mérete széles tartományban változhat: a több mm átmérőtől a nanoméretékig.

Kialakításuk célja nagyon változatos lehet. A mechanikai tulajdonságok közül általában nem a szilárdság, hanem a keménység növelése vagy a kúszás csökkentése a cél.

Szemcsés kompozitokat kiterjedten használnak elektromos kontaktusanyagokként, pl. erősáramú kapcsolókban stb.

Morfológiai szempontból a szemcsés kompozitok közé sorolhatók a szilárd fémhabok, amelyeknél a diszperz fázis nem valamilyen kemény szemcse, hanem gázbuborék.

### 3.2.2. Szálas kompozitok

A szálas kompozitok jelentősen javítják a mátrix mechanikai tulajdonságait, pl. szilárdságát, szilárdság/tömeg arányát, tribológiai jellemzőit, esetenként szívósságát oly módon, hogy a mátrixba nagy szilárdságú, merev szálakat építenek be.

A szilárdság jelentős növelése csak abban az esetben várható, ha erős kötés alakul ki a szálak és a mátrix között. Ilyenkor a terhelés nagy részét átveszik a szálak.

A szívósságnövelésnek főleg a kerámiamátrixú kompozitok esetében van jelentősége. A kerámiák ugyanis elegendően nagy szilárdságúak, viszont képlékenyen nem alakíthatóak.

### 3.2.2. Szálas kompozitok

A szálas kompozitok jelentősen javítják a mátrix mechanikai tulajdonságait, pl. szilárdságát, szilárdság/tömeg arányát, tribológiai jellemzőit, esetenként szívósságát oly módon, hogy a mátrixba nagy szilárdságú, merev szálakat építenek be.

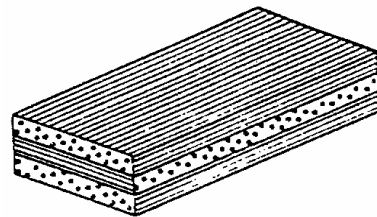
A szilárdság jelentős növelése csak abban az esetben várható, ha erős kötéés alakul ki a szálak és a mátrix között. Ilyenkor a terhelés nagy részét átveszik a szálak.

A szívósságnövelésnek főleg a kerámiamátrixú kompozitok esetében van jelentősége. A kerámiák ugyanis elegendően nagy szilárdságúak, viszont képlékenyen nem alakíthatóak.

### 3.2.3. Lemezes kompozitok

A lemezes kompozitok jellegzetes rétegszerkezetek, ilyenek pl. a bimetálok, szendvicsszerkezetek stb. Ide tartoznak a felületi rétegek is.

A lemezes kompozitok kialakítása többféle célt szolgálhat, pl. a szilárdság növelését, a súly csökkentését (szendvicsszerkezetek), különleges hőtágulási tulajdonságok kialakítását (bimetálok, üvegbe forrasztható ötvözetek) stb. Az egyes rétegek tartalmazhatnak irányítottan elrendezett hosszú szálakat, így kívánt anizotrópiai vagy éppen izotróp mechanikai tulajdonságok alakíthatók ki.



## 4. Kulcsszavak

csoportosítás, acél, felhasználás, könnyűfém, nehézfém, titán, alumínium, magnézium, polimer, műanyag, kerámia, kompozit, fa, öntöttvas, szerszámacél, szerkezeti acél, színesfém, ón, ólom, cink, volfram, nikkel

## Keywords

steel, alignment, appropriation, light metal, titanium, aluminium, polymer, wood, ceramic, compound steel, cast-iron, stannic, lead, zinc, nickel, tool steel, carbon steel, crucible steel



## 5. Ellenőrző kérdések

- Hogyan és milyen tulajdonságaik alapján csoportosíthatók a szerkezeti anyagok?
- Milyen könnyűfémeket ismer, jellemezze azokat.
- Sorolja fel a nehézfémeket és ismertesse a tulajdonságaikat.
- Milyen szempontok szerint csoportosíthatók a vasalapú ötvözetek?
- Ismertesse az acélok szabványos jelölési rendszerét.
- Ismertesse a szerszámacélokat.
- Mik azok a keményfémek, milyen tulajdonságok jellemzik?
- Ismertesse a kerámiák csoportosítását és azok tulajdonságait.
- Hogyan csoportosíthatók a műanyagok?
- Milyen jellegzetes tulajdonságokkal rendelkeznek a polimerek?
- Melyek a felhasználási területei a műanyag termékeknek?
- Ismertesse a kompozitokat és a szerkezeti kialakításuk lehetőségeit.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 11. A műszaki életben használt nemfémes anyagok és tulajdonságaik

Szerző: Dr. Szakál Zoltán  
[szakal.zoltan@gek.szie.hu](mailto:szakal.zoltan@gek.szie.hu)

## **Tartalom**

A műszaki életben használt nemfémes anyagok csoportosítása .....	372
A műszaki életben használt folyadékok .....	373
Kenő- és üzemanyagok előállítása .....	374
A kenőanyagok csoportosítása eredet szerint .....	377
1. Papír.....	384
Szigetelőanyagok.....	387

## A műszaki életben használt nemfémes anyagok csoportosítása

### Műszaki életben használt folyadékok

Üzemanyagok  
Kenőanyagok  
Egyéb folyadékok

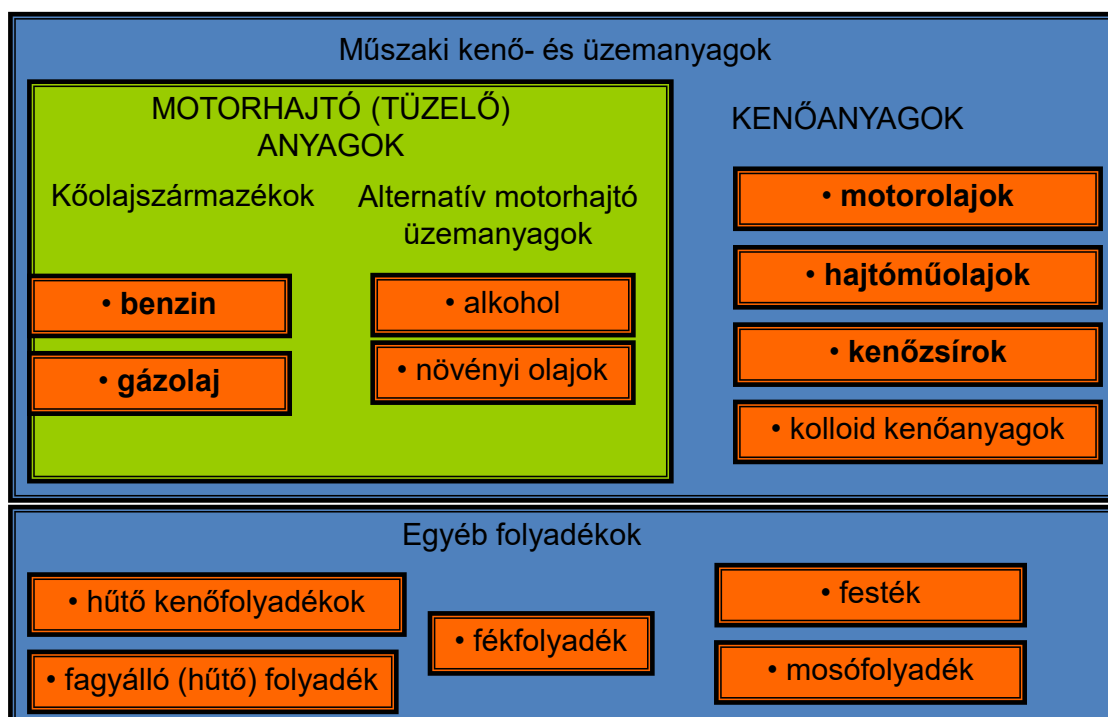
### Szigetelőanyagok

Villamos szigetelőanyagok  
Hő- és hangszigetelő anyagok

### Hagyományos nemfémes anyagok

Növényi eredetű anyagok  
Állati eredetű anyagok  
Szervetlen hagyományos anyagok

## A műszaki életben használt folyadékok



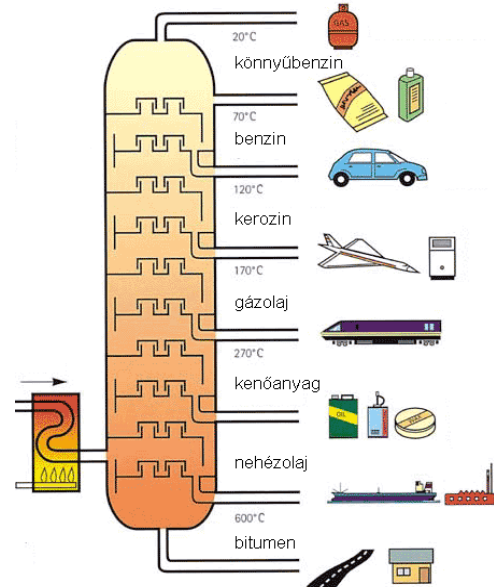
## Kenő- és üzemanyagok előállítása

A műszaki életben használt kenő- és üzemanyagok általában **kőolajszármazékok – szénhidrogének.**

Jelölésük:  $C_mH_n$ .

Előállítás módja:

- **desztilláció** (lepárlás),
  - **finomítás,**
  - **adalékolás.**



## Benzin

A benzin rövid szénhidrogénláncokból álló anyag, Otto-motorok hajtóanyaga.

Jellemzői:

- jó keveredőképesség → benzin + levegő keveredéséhez kb. 0,001s áll rendelkezésre,
- illékonyság → párolgási készség, homogén keverék létrejötte,
- megfelelő kompressziótűrés → öngyulladás nélküli összenyomhatóság,

Benzin jellemzők	Jelzés		
	ESZ-91	<b>ESZ-95</b>	<b>EST-98</b>
	Követelmény		
Szín	fehér	világoszöld	sötétzöld
Oktánszám	91	95	98
Forrpont	205 C <sup>0</sup>		
Kéntartalom	0,05 %		
Sűrűség	0,72-0,79 kg/dm <sup>3</sup>		

A benzin + levegő keverék sűrítettségének mértékét az oktánszám jelzi.

**Keverék:** 95-ös oktánszámú benzinből 2T típusú motorolaj hozzáadásával kétütemű benzinmotorokhoz, pl. **1 : 50**; 1 térfogatrész olaj, 50 térfogatrész benzin.

## Gázolaj

A dízelmotorok hajtóanyaga, a benzinnél nagyobb sűrűségű üzemanyag.

Jellemzői:

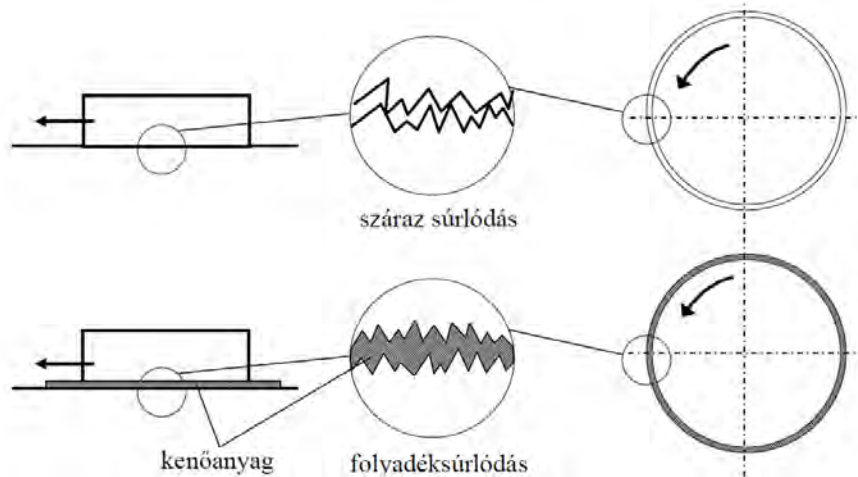
- kis viszkozitás → porlasztáskor az apró cseppekre való szétesést biztosítja,
- megfelelő gyulladási készség → a beporlasztott gázolaj öngyulladásával kapcsolatos jellemző,
  - gyulladási készség, mértékegysége a cetánszám,
  - napjainkban használatos gázolajok cetánszáma 50-60 közötti.
- dermedéspont → kocsonyásodás hőmérséklete, alacsony értéke a biztonságos téli üzemeltetés feltétele, beporlasztás csak a dermedéspont feletti hőmérsékleten lehetséges, parafinkiválás dugulást okoz,
- kéntartalom → alacsony értéke a korrózió és környezetterhelés miatt fontos.

Gázolaj jellemzők	Követelmény		
	Általános		Könnyű
Cetánszám min.	48	45	45
Viszkozitás 20C <sup>0</sup>	2,5 – 8,0		
Dermedéspont C <sup>0</sup>	0	- 10	- 20
Lobbanáspont C <sup>0</sup>	50		
Kéntartalom max.	0,2		
Korrózió próba	kiállja		
Sűrűség	0,82-0,86 kg/dm <sup>3</sup>		

## A felületek közötti kenés célja

A kenés célja az egymáson elmozduló alkatrészek között:

- a súrlódás és ezzel a kopás csökkentése,
- a surlódó felületek hűtése,
- korrózióvédelem.





## A kenőanyagok csoportosítása eredet szerint

A kenőanyagok lehetnek:

- ásványi eredetűek,
- növényi eredetűek,
- állati eredetűek.

### **Ásványi eredetű kenőolajok**

Kőolaj lepárlási termékéből, pakurából állítják elő:

- a lepárlás során különböző viszkozitású termékeket nyernek,
- ezt finomítják (raffinálják), a kémiaileg instabil alkotókat kivonják.

Előnyük: kémiaileg ellenálló, más anyagokkal nehezen lépnek kémiai kapcsolatba.

Hátrányuk: tapadóképességük kisebb a növényi és állati eredetűeknél.

### **Növényi és állati eredetű kenőolajok:**

- növényi magvakból préseléssel előállított olajok (lenolaj, repceolaj, ricinusolaj),
- állati eredetű, csontból és patából előállított termékek.

Jellemzőjük: – előnyük a jobb tapadó képesség,

- hátrányuk, hogy könnyen oxidálódnak,
- ásványi olajokhoz keverve javítják a tapadóképességet.

## Kenőzsírok felhasználása

### Kenőzsírok felhasználása:

- Kis fordulatszámú, nagy terhelésű, súrlódó gépalkatrészek kenőanyagai.
- A kenőzsír szappan és kenőolaj keveréke.
- A szappan képezi a kenőzsír vázát, adja a szilárdságát, a szappanhálót tölti ki a kenőolaj és végzi a kenést.
- A szappanokat állati vagy növényi zsírokból főzik.

## Kenőzsírok típusai

### Kalcium bázisú kenőzsírok:

- 0–60 °C fok között, szűk hőmérséklet-tartományba használhatók,
- jelölésük KZS-0/1; KZS-2; KZS-3G;
- alkalmasak általános gépi és csapágykenési célra, grafitral rugólapokhoz.

### Nátriumbázisú kenőzsírok:

- -25 és +120 °C között használhatók,
- vízben oldódnak,
- jelölésük NZS-2; NOZS-1/2;
- alkalmasak sikló- és gördülőcsapágyakhoz, ólomtartalom esetén kopásgátló tulajdonságúak.

### Lítiumbázisú kenőzsírok:

- hő- és fagyállóak, -30 és +130 °C fok között használhatóak,
- jelölésük LZS-1; LZS-2; LZS-3;
- alkalmasak dinamikus igénybevételű alkatrészekhez, gépjárművek kenési helyeire, általános csapágykenési célokra.

## Motorolajok

A motorolajokkal szemben támasztott követelmények:

- állandó viszkozitás,
- hő- és oxidációs stabilitás,
- jó tisztíthatóság,
- súrlódás- és kopáscsökkentő hatás,
- korrózióvédelem,
- lerakódások megakadályozása.

Viszkozitás: a hígfolyósság jellemzésére szolgáló szám a viszkozitási index, a folyadék (olaj) belső súrlódását fejezi ki.

Dermedéspont: az olaj megdermedésének hőmérséklete – hidegindítást befolyásolja.

Hamutartalom: adalékolt olajoknál a visszamaradó szulfáthamut, egyébként a szennyezőanyag-tartalmat fejezi ki.

Conradson-szám: kokszosodási hajlamot mutatja.

Sűrűség: 0,84–0,91 kg/dm<sup>3</sup>.

## Motorolajok osztályozása

Motorolajok osztályozása:

- Viszkozitás szerint (folyási tulajdonságok).
- Teljesítmény szerint (kopás, lerakódás, korróziógátló hatás kifejezése).

	API-osztály	Európai (ACEA) osztály
Benzinmotorok:	SE; SF; SG;	G4; G5;
Diesel-motorok:	CD; CE/CF;	D4; D5; PD2;

Motorolajok különböző teljesítményszint-jelöléseinek összehasonlítása

	Dízelmotorok kenőanyaga						Benzin üzemű motorok kenőanyaga						
	növekvő teljesítményszint						növekvő teljesítményszint						
API	CF-4	CE	CD	CC	CB	CA	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG
	CCMC PD2						G1			G2	G4	G5	
	D5		D4										
	ACEA E3-96		ACEA E2-96				ACEA A1-96 /A2-96					A3-96	

Egyfokozatú motorolaj: – nyári olaj (SAE 40), – téli olaj (SAE 10W)

Többfokozatú (multigrade) motorolaj: – téli–nyári olaj (SAE 10W-40)

## Hajtóműolajok

Erőátviteli szerkezetek, pl. sebességváltó, differenciálmű elemeinek kenésére (csapágyak, fogaskerekek stb.) használják.

Követelmények:

- tapadóképesség (adhéziós tulajdonság),
- kenőképesség,
- fizikai stabilitás (homogenitás),
- mechanikai stabilitás,
- oxidációs és termikus stabilitás,
- viszkozitás,
- habzásgátló tulajdonság.

Előállításuk: alapolaj + adalékolás

Hajtóműolajok osztályozása:	API-osztály	SAE-osztály
	GL-4	SAE 75, 80, 90
	GL-5	SAE 80, 90, 140
		SAE 80W-90

Jelölésük: pl.: C-80; HY-80W-90; Shell Spirax 80W-90

## Fékfolyadékok

A fékfolyadékok nem olaj! A fékfolyadék egy higroszkópos folyadék. A környezetéből felveszi a vizet, ami a fékmunkahengerek korrodálásához vezet.

A fékfolyadék minőségét a DOT-szám jelzi:

- DOT 3 inkább teherautóhoz, Trabanthoz való,
- DOT 4 tárcsafékes járművekhez pl. LADA,
- DOT 5.1 a legújabb osztály, 5.1 glikol alapú, keverhető a 3-sal, 4-sel,
- DOT 5 szilikon alapú, nem keverhető a többivel!

## Festékek

Minden felületi bevonóanyagot, amelyet felületek bevonására alkalmaznak, akár díszítő, akár felületvédelmi céllal, festéknek nevezünk.

A felületi bevonó anyagokhoz alkalmazott összetevők három nagyobb csoportba sorolhatók:

- filmképzők vagy kötőanyagok,
- pigmentek, színezékek és adalékszerek,
- oldószerek.

A **filmképzők** (vagy kötőanyagok) szerepe a festékanyag megkeményítése a festési műveleteket követően.

A **pigmentek**, színezékek és adalékszerek a gyakorlati alkalmazások során a kívánt esztétikai és kezelhetőségi tulajdonságokat adják festékeknek és lakkoknak. A *pigmentek* finomra porított szilárd szemcsék, amelyek oldhatatlanok a filmképző anyagokban.

Az **oldószerek** lehetnek szerves vagy szervetlen eredetűek. Ma egyre inkább terjednek a vízbázisú festékek, amelyek nem károsítják a környezetet.

## 1. Hűtő-kenő folyadékok

Hűtő-kenő folyadékok a fémmegmunkálási segédanyagok legfontosabb csoportját képezik. Ide sorolhatók az adalékolt kőolaj eredetű termékek, a koncentrátumok és egyes szintetikus termékek is.

A víz a legjobban hűtő közeg, de kenőhatása kisebb, mint a kis viszkozitású (szénhidrogén) kenőolajé.

A hűtő-kenő folyadékokkal szemben támasztott főbb követelmények:

- biztosítsa a technológiai folyamat által megkívánt (alacsony) sűrűlódást,
- megkívánt hűtőhatása legyen,
- csökkentse a kopást,
- könnyítse az alakítási folyamatot, elősegítve a jó felületi minőség elérését,
- megfelelő higiénia esetén az egészségre ártalmatlan legyen,
- környezetkímélő legyen.

Az emulzió olyan diszperz rendszer, amelyben az emulziót alkotó folyadékok egymásban eloszlanak, de nem oldódnak. Az emulziók általában tejszerűen fehér vagy zavaros megjelenésűek. Leggyakrabban az olaj és a víz képeznek emulziót.

## Mosófolyadékok

A mosófolyadékok a zsírt és olajat, esetleg egyéb szennyeződésekkel különböző hatékonysággal távolítják el. Erősen szennyezett alkatrészekről nem lehet vagy nem gazdaságos egy lépésben eltávolítani a szennyeződésekkel. Ezért megkülönböztetünk durva- és finomzsírtalanítást.

A zsírtalanításnak többféle eljárása ismeretes. A gyakorlatban a következő módszerek terjedtek el:

- szerves oldószeres mosás,
- lúgos mosás,
- emulziós mosás,
- elektrolitikus mosás,
- mechanikus zsírtalanítás,
- ultrahangos zsírtalanítás.

A zsírtalanítási módszer megválasztása a szennyezés jellegétől, a tisztítandó alkatrésztől és technikai adottságoktól függ.

## 1. Papír

A papír növényi rostok mechanikai és kémiai feldolgozásával készített vékony, hajlékony, de ugyanakkor viszonylag nagy szilárdságú lap.

Használati tulajdonságait meghatározzák a felhasznált növényi anyag tulajdonságai, a rostok mechanikai és kémiai átalakításának módja, valamint a gyártás során hozzáadott egyéb anyagok.

A papír előállításának folyamata:

- fakéreg eltávolítása,
- vegyszerek hozzáadása,
- cellulóz fehéritése,
- töltő- és színezőanyagok hozzáadása.



## A papír gyártása

A papírgyártás alapanyagai alapvetően növényi eredetűek. Alapanyagként elsődlegesen a különböző fafélék szolgálnak, egyéb növényi anyagok közül a nád, a len, a kender és a gyapot.

A papír legfontosabb alkotója a cellulóz. Emiatt a papírgyártás elsődleges célja, hogy a növényi rostokban lévő cellulóz mellől az egyéb kísérőanyagokat eltávolítsák.

A cellulózban gazdag anyagot a papírgyártás féltermékének nevezzük. A féltermék előállítása mechanikai és kémiai úton történik. Cellulóztartalmuk alapján facsiszolat, félcellulóz- és tiszta cellulóztermékeket különböztetünk meg.

A papírgyártás nyersanyagai:

- fa,
- egynyári növények (pl. gabonaszalma),
- egyéb növények,
- újrahasznosított anyagok (hulladékpapír, rongy).

### 1. A papír előállításának folyamata

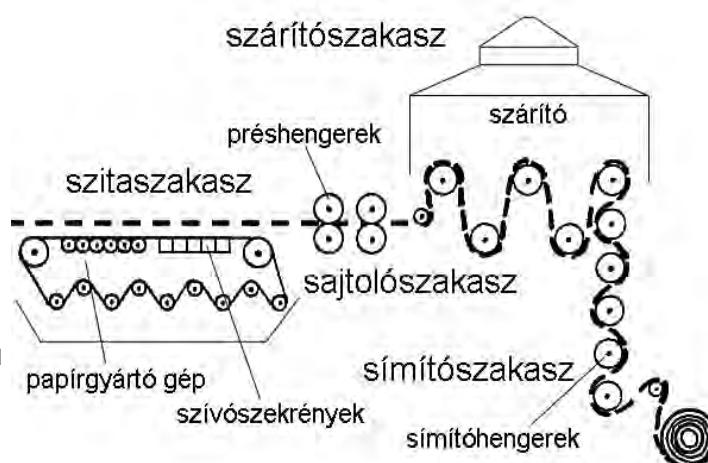
A papírlapot nagy teljesítményű, folyamatos üzemű, síkszítás papírgyártó géppel végzik.

Az ún. szítaszakason a hígán folyó papírpép elterül és a benne lévő víz a szita rázó mozgása miatt átfolyik a szitán.

A sajtolószakason nyomóhengerek préselik ki a maradék vizet.

A szárítószakason gőzfűtésű hengerek víztelenítik és simítják a papírt.

Az eljárás végén a kész papírt lehűtik, majd feltekercselik.



## A papír tulajdonságai

A **négyzetmétertömeg** az 1 m<sup>2</sup> felületű papírlap tömege grammban.

Papírtípusok négyzetméter tömeg alapján:

- papír → 180 g/m<sup>2</sup> -ig
- karton → 180–400 g/m<sup>2</sup>
- lemez → 400 g/m<sup>2</sup> -től

A tiszta cellulózból készülő papírokat famentesnek, a facsiszolat-adalékkal készülőket fatartalmúnak nevezzük.

A papírféleségek felhasználási területük szerint csoportosítva:

- írópapírok,
- nyomópapírok,
- csomagolópapírok,
- műszaki papírok,
- különleges papírok.

## Papírméretek

A papírlapméretek egy meghatározott ívméretre vonatkoznak. Az *ívméretek* nemzetközileg egységes, szabványos méretsorok.

Legelterjedtebb az „A” és a „B” alak. Méreteik mm-ben a következők:

<b>A/0</b>	841 x 1189	<b>B/0</b>	1000 x 1414
<b>A/1</b>	594 x 841	<b>B/1</b>	707 x 1000
<b>A/2</b>	420 x 594	<b>B/2</b>	500 x 707
<b>A/3</b>	297 x 420	<b>B/3</b>	353 x 500
<b>A/4</b>	210 x 297	<b>B/4</b>	250 x 353
<b>A/5</b>	148 x 210	<b>B/5</b>	176 x 250
<b>A/6</b>	105 x 148	<b>B/6</b>	125 x 176

A papíralakok számjele egyébként azt is megmutatja, hogy a kiindulási, 0 jelű ívet hányszor kell hosszabbik oldala mentén félbehajtani, és az így kapott ívet ismét hosszában felezni, hogy a vizsgált mérethez jussunk. Az általánosan használt A/4 papíralakot az A/0 ív négyszeri összehajtása után kapjuk meg.

## Szigetelőanyagok

Ha egy anyagra feszültséget kapcsolunk, és ennek hatására villamos áram nem jön létre, akkor villamosszempontról szigetelő az anyag.

Ha a feszültséget növeljük, és egy meghatározott értéken a szigetelő vezetővé válik, akkor ezt a jelenséget **átütésnek** nevezzük.

A szigetelőanyagok fontos jellemzője az **átütési szilárdság**.

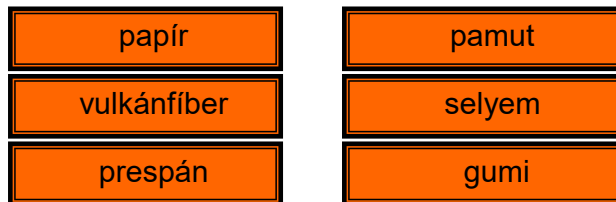
Az átütési szilárdság azt mutatja meg, hogy hány volt feszültség hoz létre **1 cm** vastag szigetelőrétegben átütést. Mértékegysége: **kV/cm**.

## A szigetelőanyagok csoportosítása

Szervetlen eredetű szilárd szigetelőanyagok:



Szerves eredetű szilárd szigetelőanyagok:



## Villamos szigetelőanyagok

A papír alapanyaga cellulóz, melynek hosszú szálait valamilyen ragasztóanyag köti össze. Az alapanyagot fa vagy más növényi rost szolgáltatja.

**Papírt** a villamosiparban szigetelőként használják kondenzátorok fegyverzeteinek szigeteléséhez.

A villamosipar gyakran vastagabb papírszigetelőkre tart igényt. Ilyenkor több vékony réteg egymásra helyezésével érik el a papírréteg növelését.

**Prespánt** a papírgyártás alapanyagából készíteneek. A még nedves és képlékeny állapotban levő *papírgyurmát*, külön ragasztószer nélkül, összesajtoltják. Így világosbarna színű lapot kapnak, amely tulajdonságaiban hasonlít a papírhoz.

A prespánt a transzformátorok tekercselésének vasmagtól való szigetelésére használják.

Ha a papír hajlékonysága nem követelmény, akkor szigetelésre különleges papírgyártmányt, a **vulkánfibert** használják. (A vulkánfíber duzzasztott, összesajtolt cellulózlapok.)

## Villamos szigetelőanyagok

A **csillám** a legrégebben alkalmazott, jó szigetelési tulajdonságú anyag. Csillám gyűjtőnéven többféle vegyi összetételű kristályos ásványfélét értünk. Nagy előnyük, hogy vékony lemezekre hasíthatók.

Az **azbeszt** (kalcium-magnézium-szilikát) a villamosiparban, korábban, ha nagy hőszilárdságú, hajlékony szigetelőanyagra volt szükség, akkor azbesztszigetelést alkalmaztak. Ma már egészségkárosító hatása miatt betiltották!

A **porcelán** a villamosiparban régóta elterjedten használatos szigetelő anyag. Kitűnő szigetelőképeségű, nagy átütési szilárdságú anyag. Mechanikai szilárdsága és hőellenállása szintén jó.

Az **üveg** átlátszó, rideg, a porcelánnál nagyobb mechanikai szilárdságú anyag. Rugalmassága és keménysége kisebb, mint a porceláné. Átütési szilárdsága valamivel alatta van a porcelán átütési szilárdságának.

## 1. Villamos szigetelőanyagok

A **selyem** a selyemhernyó nyálmirigyének anyagából képződött fonalanyag. A selyem nem sejtes anyag, hanem összefüggő fonal, amelynek fő anyaga fehérje.

Selyemszigetelés kisebb keresztmetszetű, nagy igénybevételű huzaloknál alkalmazható előnyösen. Használják olyan helyen is, ahol a vezetékanyag üzem közben sűrűdik és így a szigetelőréteg kopik.

A **guminak** mint szigetelőanyagának a többi szigetelőanyaghoz viszonyítva az a nagy előnye, hogy rendkívül elasztikus és a környezeti nedvességre nem érzékeny.

A **pamut** a gyapotcserjék szálak tokterméséből készült fonál, illetve szövet. A pamutszigetelés olyan, nagyobb keresztmetszetű villamos vezetőknél előnyös, ahol a szigetelőanyag koptató hatásnak is ki van téve. Nagyobb villamosmotorok állórészeinek tekercselésénél, az egymáshoz feszülő vezetőanyagok szigetelésére előnyösen alkalmazható.

## 1. Hő- és hangszigetelő anyagok

A **hőszigeteléssel** a káros hőátvételtől óvjuk meg a tárgyakat, vagy a hasznos hő leadását akadályozzuk meg. A jó hőszigetelő anyagok laza állományú sejtes, lyukacsos anyagok, amelyekben a légkamrák fokozzák a szigetelőhatást.

A **hővezetési tényező** a szigetelésen időegység alatt átjutó hő mennyisége ( $\lambda$ ), mértékegysége (W/mK)

A **hőátbocsátási tényező** ( $U$ , korábban  $k$ ) egységnyi felületen, egységnyi idő alatt, egységnyi hőmérséklet-különbség mellett áthaladó hőáram. Mértékegysége W/m<sup>2</sup>K.

### Néhány anyag hővezetési tényezője [ W/mK ]:

• acél	48
• argongáz	0,016
• beton	1,09
• vasbeton	1,55
• puhafa	0,11
• bazalt, márvány	3,5
• mészkő	0,93
• terméskő	1.28-2.32
• mésztufa	0,52
• levegő	0,026
• poliuretán hab	0,035
• tölgyfa	0,15
• üveg (közönséges)	0,8
• üveggyapot	0,04
• víz	0,61

## Hő- és hangszigetelő anyagok csoportosítása

A fontosabb **szervetlen hőszigetelő anyagok**:

salakgyapot

kovaföld

üveggyapot

azbeszt

alumíniumfólia

A gyakrabban alkalmazott **szerves hőszigetelő anyagok**:

parafa

különböző műanyaghabok

## 1. Hő- és hangszigetelő anyagok

A **kovaföld** kovamoszatok és apró egysejtű élőlények kovapáncéljaiból alakult ki. Hőszigetelő képességét a váz belsejében levő légbuborék biztosítja. Égetett kovaföldből készül a **thermolit hőszigetelő téglá**, amely 900 °C-ig használható

Az **üvegyapot** 0,02 mm átmérőjű, 20–30 m hosszú üvegszálakból áll. Az üvegszálak között levő sok apró légcsonna szigetel. Melegnek nedvességnek kémiai hatásoknak ellenáll, 500 °C-ig használható. A szigetelendő felületekre erősítik, majd a felületére agyagból, gipszből és kovaföldből kemény héjat készítenek.

A **salakgyapotot** olvadt kohosalakból készítik, gőzfúvatással. Az üvegyapothoz hasonlóan használják.

Az **azbeszt** (kalcium-magnézium-szilikát). Fonal alakú kristályokból áll, zsinór, lemez és szál alakban kerül forgalomba. 1500 °C-ig használható. Az egészségkárosító hatása miatt betiltották!

## Hő- és hangszigetelő anyagok

Az **alumíniumfólia** igen vékony (0,006–0,008 mm) alumínium „lap”. A fóliát összegyűrve vagy párhuzamosan kifeszítve alkalmazzák. A hőszigetelést a fóliák közötti levegő biztosítja, amit az is fokoz, hogy a sima felületű fólia visszaveri a hősugarakat. Élelmiszert szállító hűtőkocsik hőszigetelésére használják.

A **parafa** a parafatölgy kéreganyaga, amelyet a Földközi-tenger vidékén (Algéria, Portugália, Spanyolország) termesztnek. Megdarált és ragasztott parafából készül a parafakő. Könnyebb és a hőszigetelő képessége is jobb, mint a nyers parafáé. Kitűnő hőszigetelő anyag, kb. 100 °C-ig használható.

A **műanyag habokat** egyre nagyobb mennyiségben alkalmazzák hőszigetelésre. Igen jó hőszigetelők, nagy hátrányuk, hogy általában csak 200 °C-ig használhatók. Polisztirolból, karbamidgyantából és poliuretánból állítanak elő műanyag habokat hőszigetelésre. Hungarocell néven kerül forgalomba a fehér színű polisztirol hab.

## Kulcsszavak

szerkezeti anyag, üzemanyag, kenőanyag, szigetelőanyag, papír, olaj, festék, gázolaj, benzin

## keywords

structural metal, insulator, oil, fuel oil, motor oil, gasoline, paper, paint,



## Ellenőrző kérdések

- Hogyan csoportosíthatóak a műszaki gyakorlat nemfémes anyagai?
- Hogyan csoportosíthatóak a kenőanyagok?
- Ismertesse az üzemanyagokat és azok jellemzőit.
- Ismertesse a szigetelőanyagokat.
- Ismertesse a hő- és hangszigetelő anyagokat.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 12. A hőkezelés elméleti háttere

Szerző: Dr. Szakál Zoltán  
[szakal.zoltan@gek.szie.hu](mailto:szakal.zoltan@gek.szie.hu)

## Tartalom

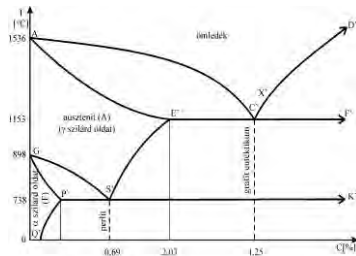
Hőkezelés .....	396
IHÁ diagramok.....	400
Auszténit-martenzit átalakulás.....	406
Hőkezelési eljárások .....	408
Kiegyenlítő hőkezelések .....	409
Lágyító hőkezelések.....	412
Keményítő hőkezelések.....	415
Szívósságot fokozó hőkezelések.....	419
Kéregötvöző hőkezelések.....	422

# Hőkezelés

## Vas-szén ötvözet hűtése olvadt állapotból

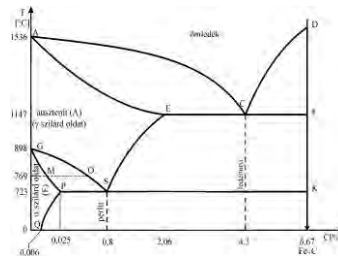
A hűtés sebessége

$V_h < 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$



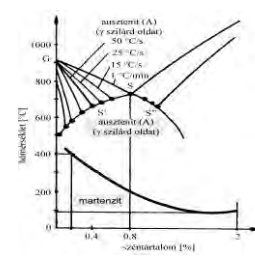
Az ötvözet stabilis rendszer szerint kristályosodik

$V_h = 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$



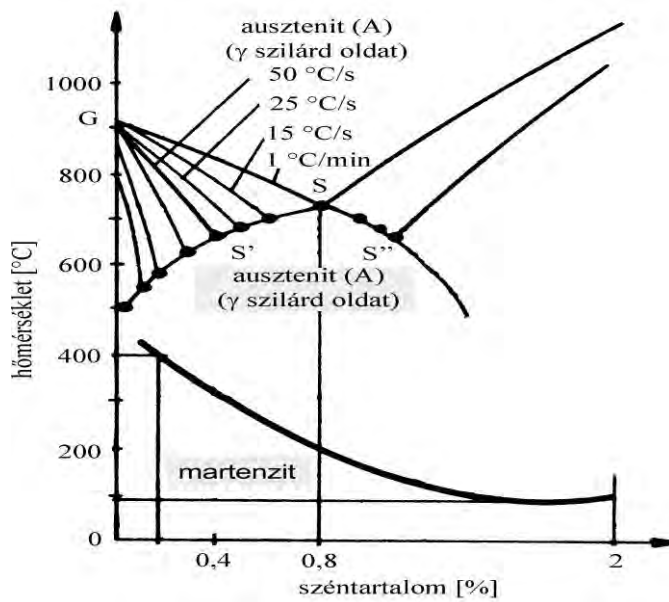
Az ötvözet metastabilis rendszer szerint kristályosodik

$V_h > 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$



Vas-szén ötvözet hűtése nem egyensúlyi viszonyok között

### Vas-szén ötvözet hűtése nem egyensúlyi viszonyok között



Az ötvözet hűtési sebességének növekedésével jelentősen változik az állapotára alakja

Az átalakulási hőmérsékletek lefelé eltolódnak, az S pont szétválik S' – S''-re

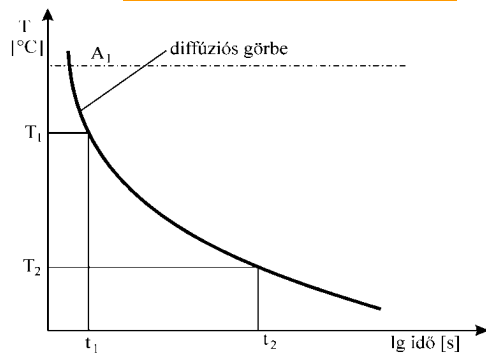
A gyors hűtés hatására martenzites szövetszerkezet alakul ki

## Idő-hőmérséklet-átalakulás (IHÁ) diagram

Az IHÁ diagramokat a gyakorlatban „C” görbéknek is szokás nevezni az alakjuk miatt.

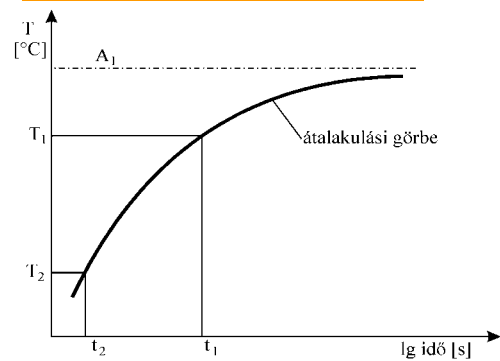
Az ausztenit perlitre alakulását két tényező befolyásolja:

**Diffúzió időszükséglete**



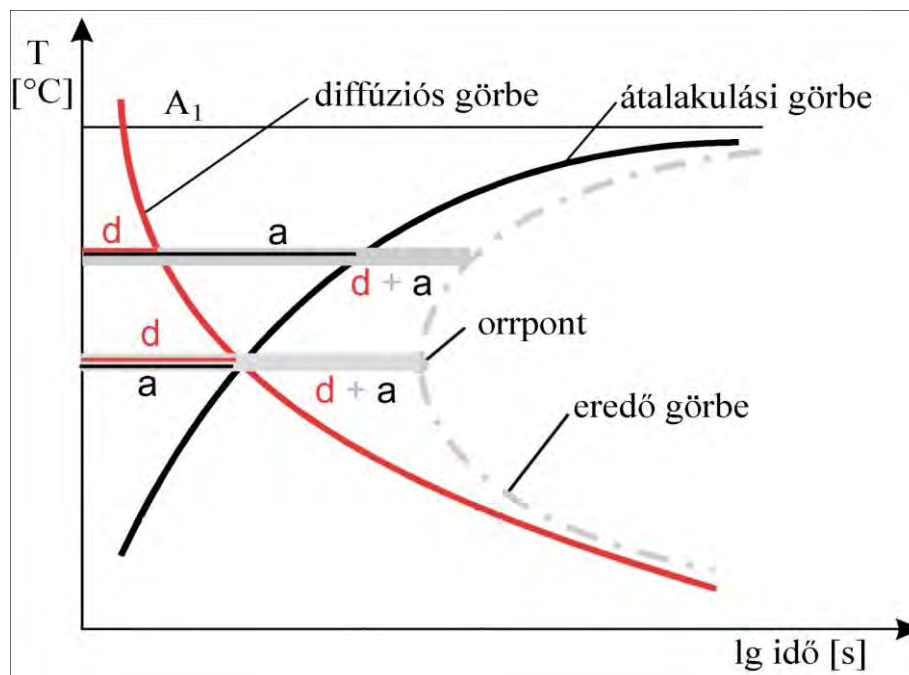
A diffúzió időszükséglete a hőmérséklet csökkenésével nő.

**Átalakulás időszükséglete**



Az átalakulási hőmérsékletek csökkenésével az átalakulás időszükséglete is csökken.

## Az IHÁ diagram szerkesztése



## Hőkezelés alapfogalmai

Ha a hűtés sebessége **1 °C/ perc**, akkor a **szén, vegyület (vaskarbid – Fe<sub>3</sub>C) formájában válik ki**. Ezt nevezzük **metastabilis** rendszernek.

Ha lassúbb a hűtés, mint **1 °C/ perc**, akkor a **szén kristályos elemi szén (grafit) formájában válik ki**. Ezt nevezzük **stabilis** rendszernek.

Ha a hűtés sebessége jóval gyorsabb, mint **1 °C/ perc**, akkor instabil rendszerről beszélünk.

Az **ausztenit (A)** egy lapközepes, köbös rácsszerkezetű interosztíciós szilárd oldat, amelynek korlátozott szénoldó képessége van. Jól alakítható szövetelem.

A **ferrit (F)** kis széntartalmú térközepes köbös rácsszerkezetű, interosztíciós szilárd oldat.

A vas-szén ötvözet esetében az eutektoidot **perlitnek (P)** nevezik. A perlit egy többfázisú szövetelem, amely lehet lemezes és szemcsés. A perlit kis keménységű, szívós anyag.

A **bainit (F)** tűs szerkezetű, a perlittől keményebb, a martenzittől lágyabb anyag.

A **martenzit (M)** egy tűs szerkezetű, térközepes, köbös rácsszerkezetű, igen kemény kopásálló anyag.

## IHÁ diagramok

Eutektoidos acél IHÁ diagramja

Hipoeutektoidos acél IHÁ diagramja  
izotermikus hűtés esetén

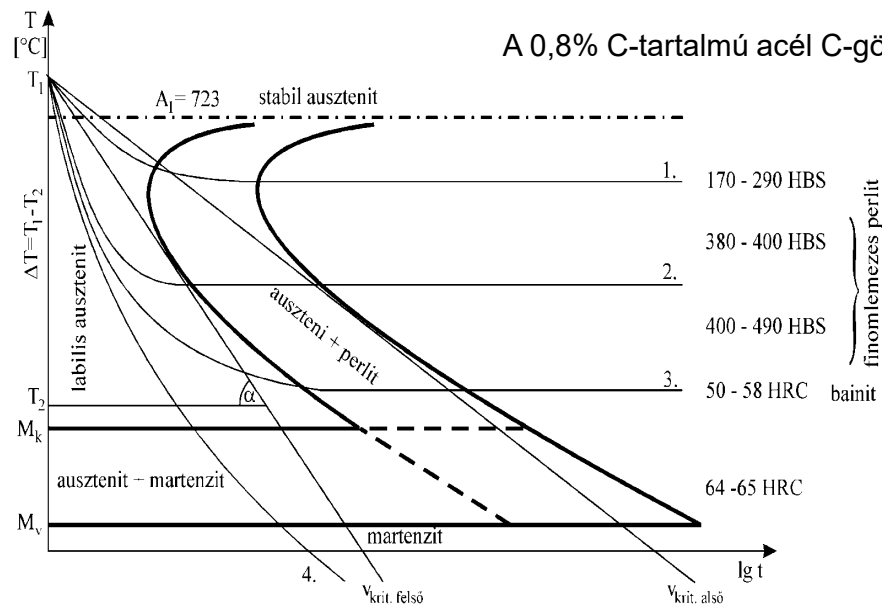
Hipereutektoidos acél IHÁ diagramja  
izotermikus hűtés esetén

Hipoeutektoidos acél IHÁ diagramja  
folyamatos hűtés esetén

Hipereutektoidos acél IHÁ diagramja  
folyamatos hűtés esetén



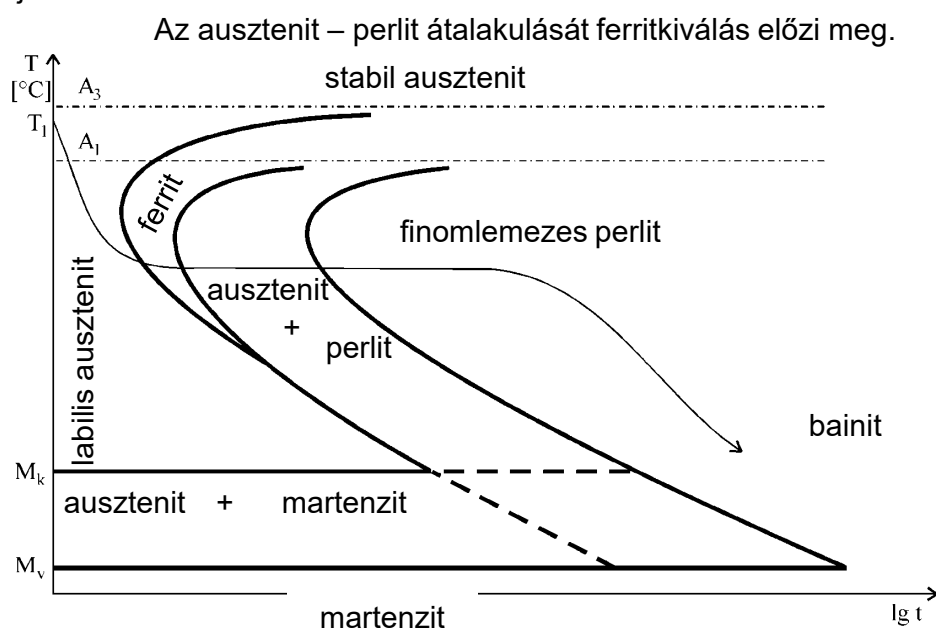
## Az eutektoidos összetételű acél IHÁ diagramja



Az alsó kritikus hűtési sebesség ( $v_{\text{krit. alsó}}$ ) esetében még éppen képződik martenzit. A felső kritikus hűtési sebesség ( $v_{\text{krit. felső}}$ ) esetében pedig tisztán martenzites lesz a szerkezet. Ezek a hűtési sebességek összetételtől függőek.

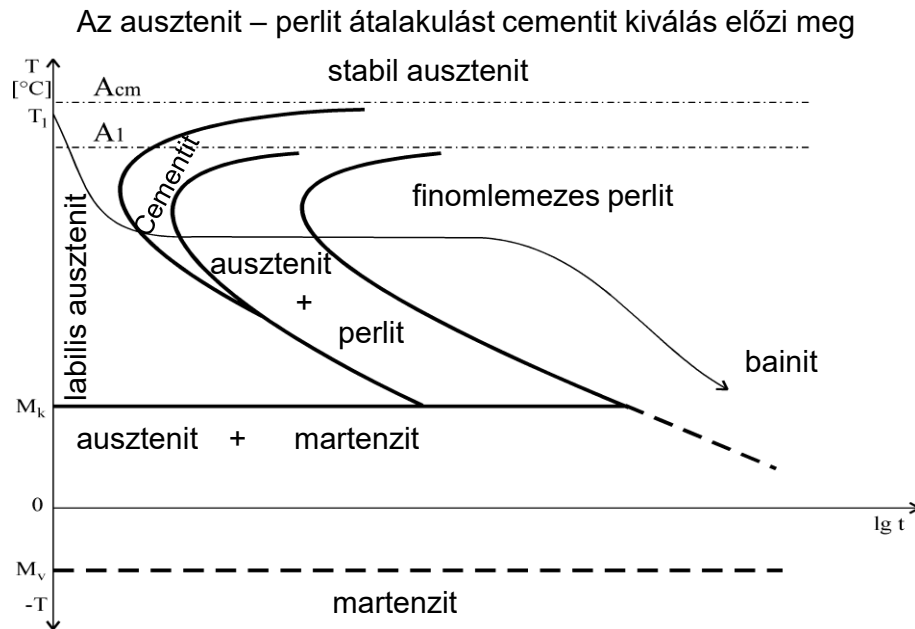
## Hipoeutektoidos acél IHÁ diagramja izotermikus hűtés esetén

A hipoeutektoidos acélokra izotermikus hűtés esetén általánosan jellemző C-görbét mutatja az ábra, azonban minden összetételnek más és más, valamelyest eltérő diagramja van.



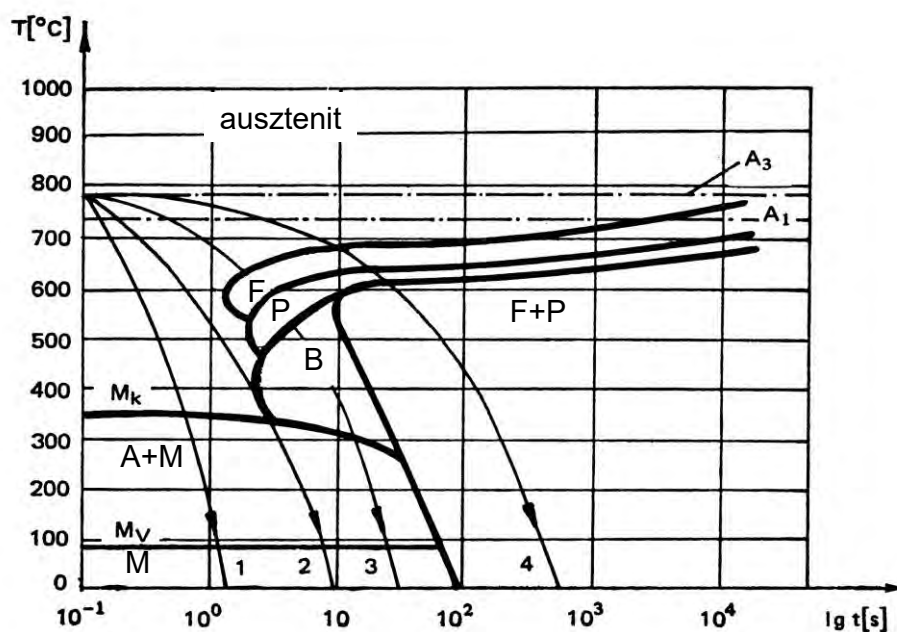
## Hipereutektoidos acél IHÁ diagramja izotermikus hűtés esetén

A hipereutektoidos acélokra izotermikus hűtés esetén általánosan jellemző C görbét mutatja az ábra, azonban minden összetételnek más és más, valamelyest eltérő diagramja van.



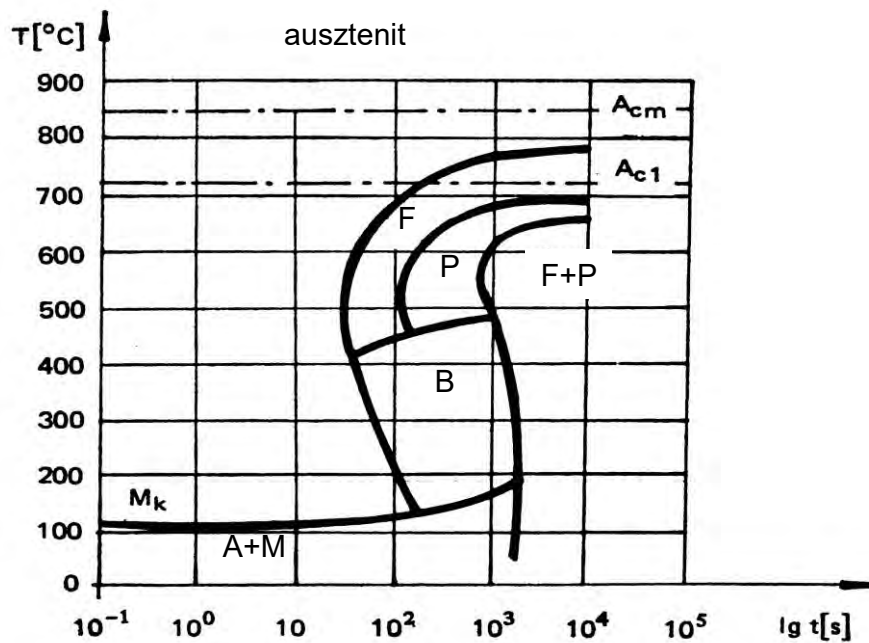
## Hipoeutektoidos acél IHÁ diagramja folyamatos hűtés esetén

A hipoeutektoidos acélokra folyamatos hűtés esetén általánosan jellemző C-görbét mutatja az ábra, azonban minden összetételnek más és más, valamelyest eltérő diagramja van.



## Hipereutektoidos acél IHÁ diagramja folyamatos hűtés esetén

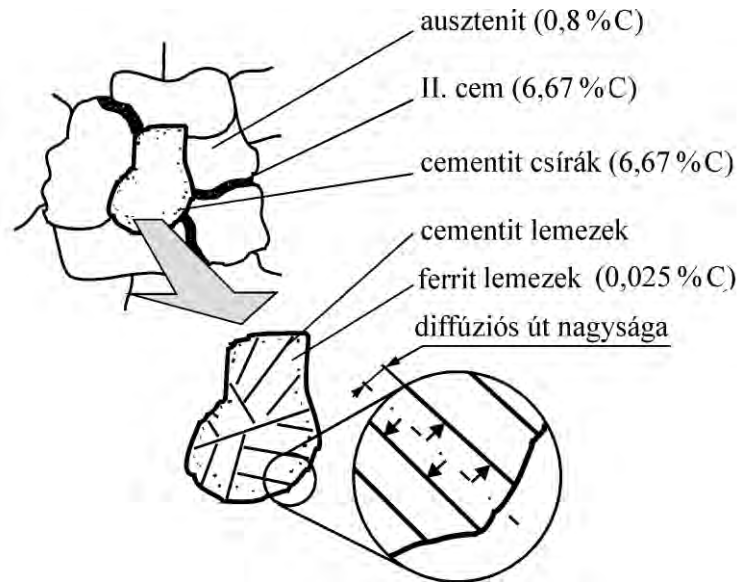
A hipereutektoidos acélokra folyamatos hűtés esetén általánosan jellemző C-görbét mutatja az ábra, azonban minden összetételnek más és más, valamelyest eltérő diagramja van.



## Ausztenit-perlit átalakulás

Az átalakulás feltétele:

- a 0,8% C-tartalom elérése
- a 723 °C elérése

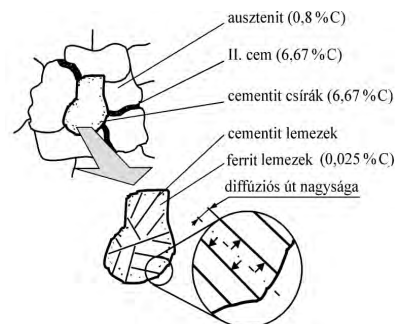


## Ausztenit-perlit átalakulás

Az átalakulás feltétele:

- a 0,8% C-tartalom elérése
- a 723 °C elérése

Az átalakulás diffúziós folyamat

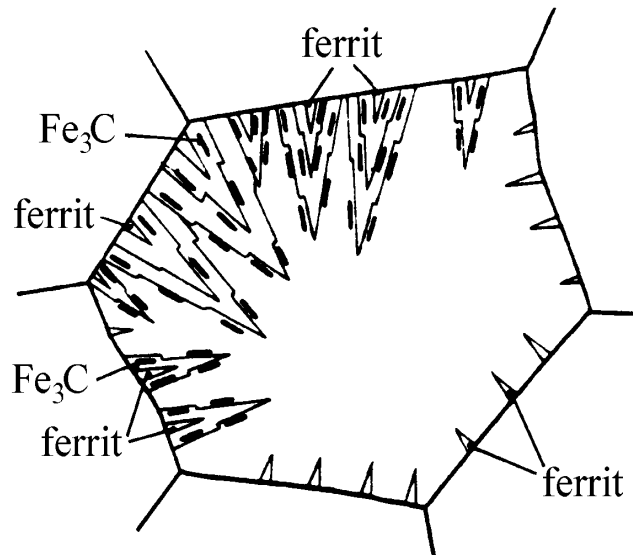


Az átalakulás menete:

- a szemcsehatár közelében cementitcsírák jelennek meg,
- a cementitcsírák lemezekké szélesednek (ezt az teszi lehetővé, hogy a szén nagy területről a lemezekhez diffundál),
- ahonnan a szén eldiffundál, ott a széntartalom 0,025% alá csökken,
- a 0,025%-nál kisebb széntartalmú rész lapközepes köbösből térközepes szerkezetűvé átkristályosodik (ez a ferrit),
- így a perlit cementit- és ferritlemezekből áll.

## Auszténit-bainit átalakulás

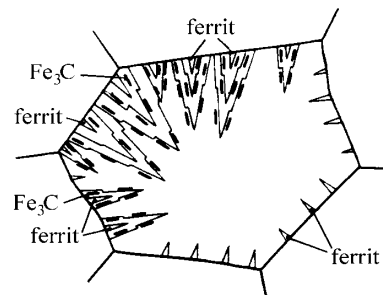
Ha gyorsabb hűtés mellett, 400 °C körüli hőfokon megy végbe az átalakulás, az auszténit bainitté alakul.



## Auszténit-bainit átalakulás

Ha gyorsabb hűtés mellett, 400 °C körüli hőfokon megy végbe az átalakulás, az auszténit bainitté alakul.

Az átalakulás diffúziós folyamat



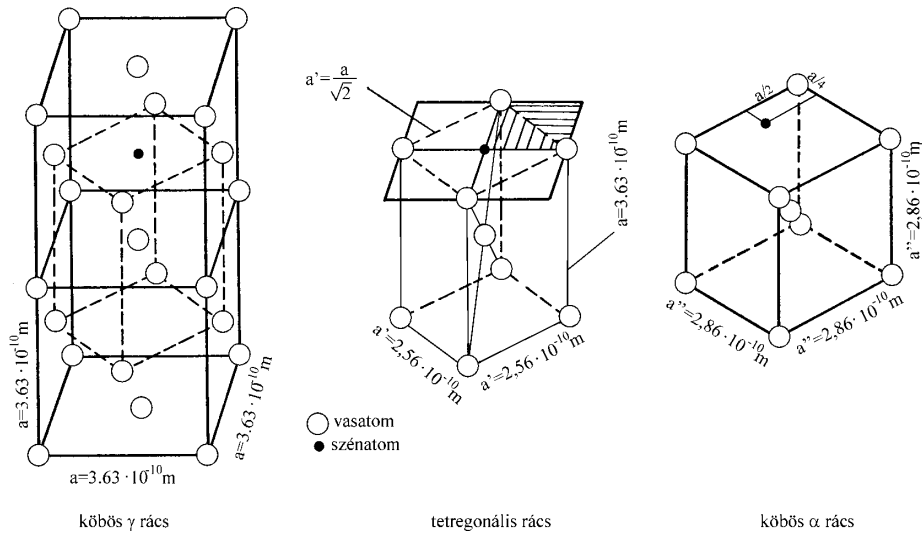
Az átalakulás menete:

- az auszténit kristallit határán ferritcsírák jelennek meg, amelyek ferrittűkké nőnek,
- közben a ferrittűk felületére cementitkorongocskák nőnek ki, amit a ferrittűk benőnek,
- a ferritmezők felületére újabb cementitkorongok válnak ki.

Így a bainit ferrittűkből és cementitkorongocskákból áll.

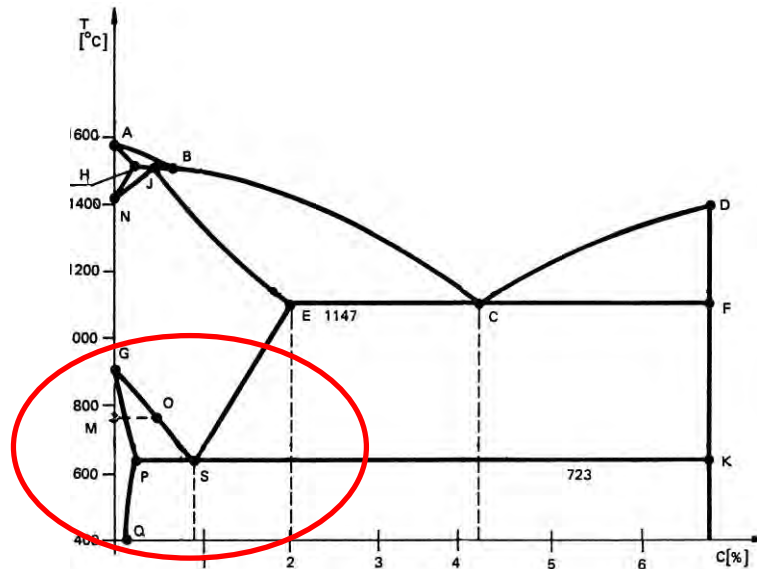
## Auszenit-martenzit átalakulás

A kritikus hűtési sebességnél gyorsabb hűtés auszenit-martenzit átalakulást eredményez. Ez nem diffúziós folyamat. A martenzit tetragonális rácsszerkezetű. Kristallitjai túalakúak. Igen kemény szövetelem.

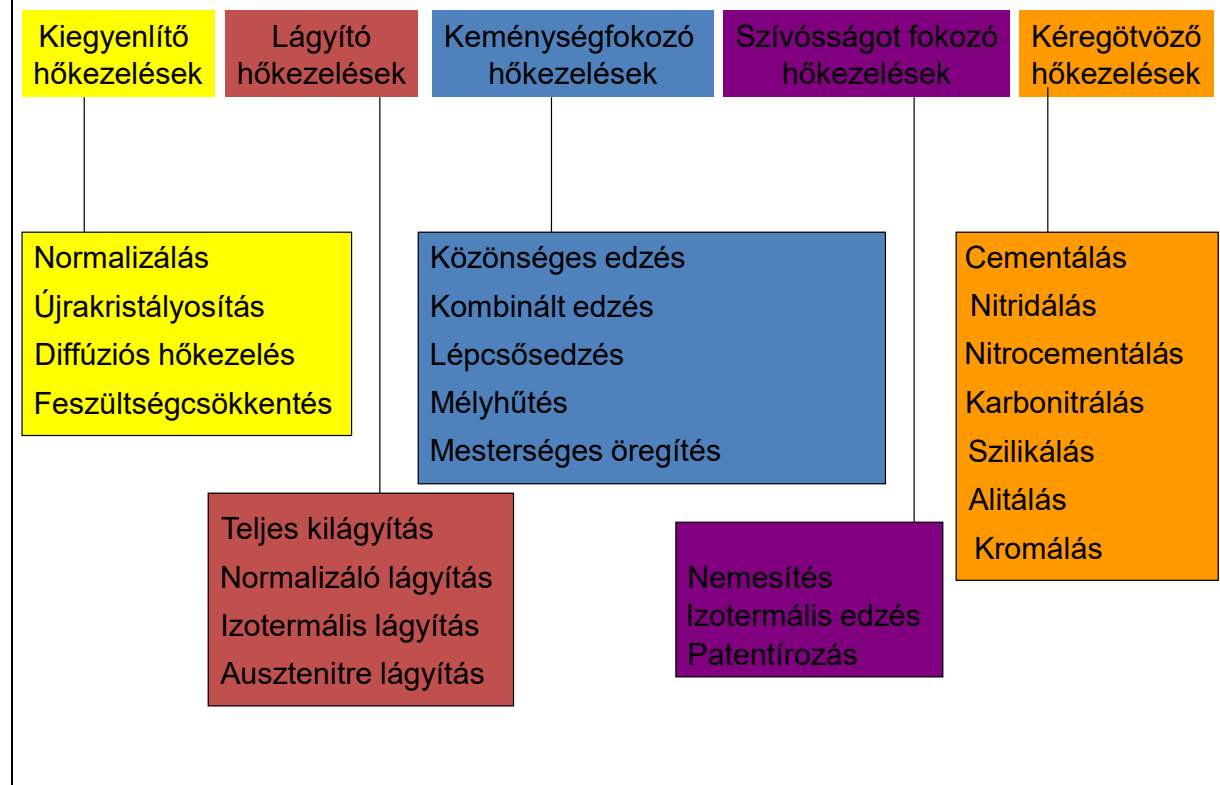


## Acélok hőkezelési eljárásai

Ebben a fejezetben az acélok hőkezelési eljárásai kerülnek bemutatásra, ezért a továbbiakban a vas-szén állapotábra acélokra vonatkozó részeit kiragadva ismertetjük a különböző hőkezelési módokat.



## Hőkezelési eljárások





## Kiegyenlítő hőkezelések

A kiegyenlítő hőkezelési eljárások célja az acélban előforduló inhomogenitások egész keresztmetszetre történő kiegyenlítése. Attól függően, hogy minek a kiegyenlítését szolgálja a hőkezelési eljárás, a következő fajtái alakultak ki:

Normalizálás

Újrakristályosítás

Diffúziós hőkezelés

Feszültségcsökkentés

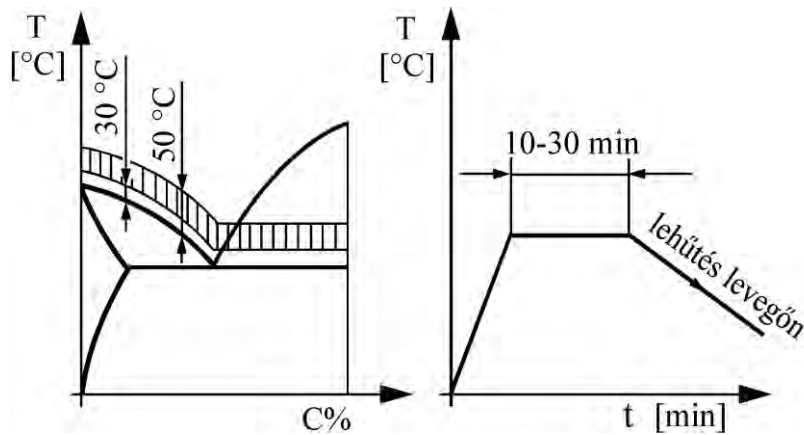
A kiegyenlítő hőkezelési eljárásokat általában már az alapanyagban, félterméken elvégzik.

## Kiegyenlítő hőkezelések

### Normalizálás

Újrakristályosítás  
Diffúziós hőkezelés  
Feszültségcsökkentés

Az eljárás célja a túlhevített pl. hegesztett acélok, durvaszemcsés, egyenlőtlen méretű szemcse-szerkezetének javítása. A túlhevített acélok normalizálással való javítását regenerálásnak nevezzük.



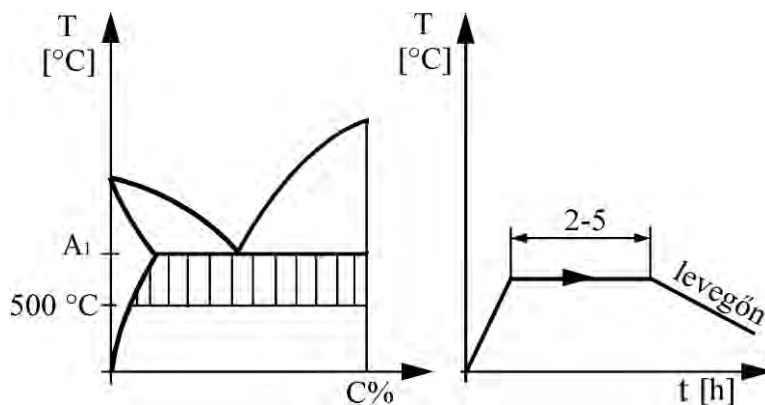
## Kiegyenlítő hőkezelések

Normalizálás

### Újrakristályosítás

Diffúziós hőkezelés  
Feszültségcsökkentés

Hidegen húzott rudak, kis széntartalmú acélok kristallitjai megnyúlnak, deformálódnak a megmunkálás hatására és bennük feszültség marad vissza. Ennek hatására a szilárdság nő, keménysége fokozódik, de szívóssága csökken, alakíthatósága romlik. A hidegalakítással járó ridegedés, szemcsetorzulás újra-kristályosítással megszüntethető.



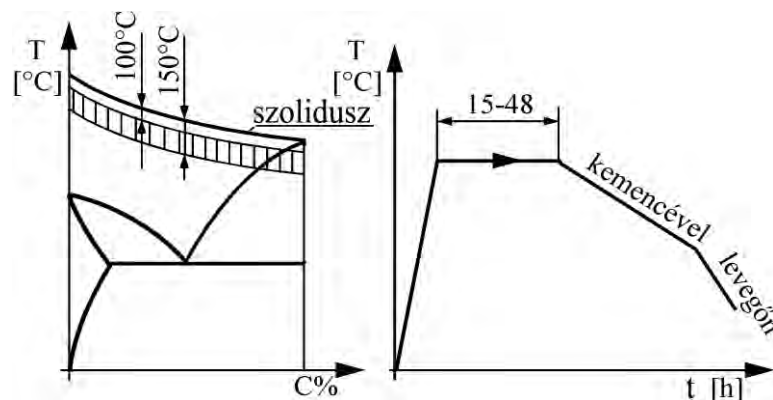
## Kiegyenlítő hőkezelések

Normalizálás  
Újrakristályosítás

### Diffúziós hőkezelés

Feszültségcsökkentés

Az acélok különböző részei nem egyszerre szilárdulnak meg a formában, vegyi összetételük különböző lesz. A vasötvözetek szennyezői dúsulásokat hozhatnak létre az acélban, amelyek károsak a szilárdsági tulajdonságokra, hőkezelés közben repedéseket okozhatnak. A dúsulások diffúziós hőkezeléssel csökkenthetők vagy megszüntethetők.



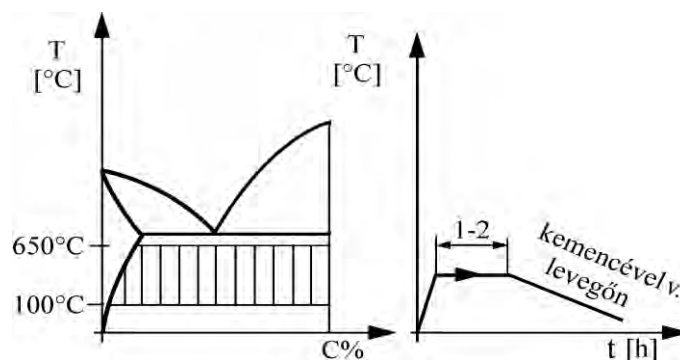
## Kiegyenlítő hőkezelések

Normalizálás  
Újrakristályosítás  
Diffúziós hőkezelés

### Feszültségcsökkentés

Az öntés, a meleg- és hidegalakítás a forgácsolás és az egyengetés hatására keletkezett feszültségek hőkezeléssel történő csökkentését nevezik feszültségcsökkentő izzításnak.

A feszültségcsökkentő izzítással az acél belső feszültségeit úgy csökkentjük, hogy szilárdsága, szövetszerkezete nem változik.



## Lágyító hőkezelések

A lágyító hőkezeléseket azért végzik, hogy az acélokat könnyen megmunkálhatóvá tegyék. Az acél jellemző szöveteleme a perlit. A perlitnek cementitlemezeit cementitzemcsékké alakítjuk hőkezeléssel, a hő okozta felületi feszültség hatására.

A lágyító hőkezelési eljárások típusai:

Teljes kilágyítás

Normalizáló lágyítás

Izotermális lágyítás

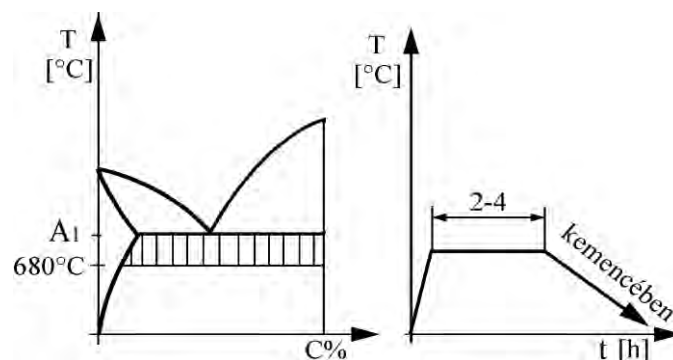
Ausztenitre lágyítás

## Lágyító hőkezelések

### Teljes kilágyítás

Normalizáló lágyítás  
Izotermális lágyítás  
Ausztenitre lágyítás

A lágyító izzítással a perlitnek a cementitlemezeit alakítjuk cementitgömbökké, szemcsékké. (A lágyított szövetszerkezetet szferoiditnek nevezik.)  
A szemcsésperlitben a lágy ferritbe ágyazott cementitgömbök mintegy kigördülnek a szerszám éle elől, így kisebb ellenállást fejtenek ki, mint a cementitlemezek. Ez a szerkezet képlékeny alakításnál is kisebb ellenállást mutat.



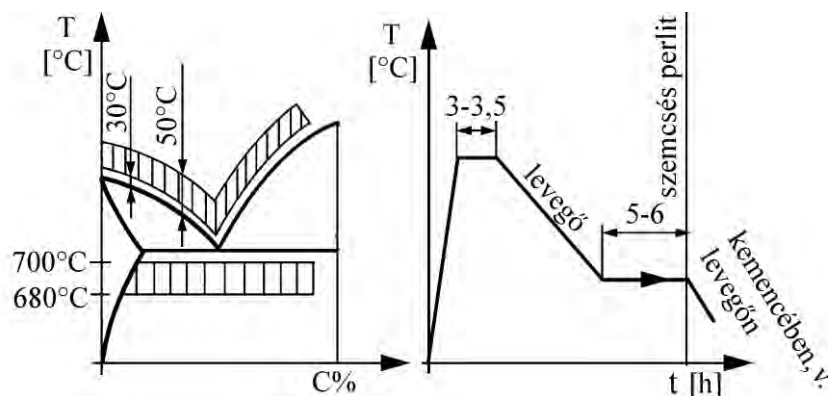
## Lágyító hőkezelések

Teljes kilágyítás

### Normalizáló lágyítás

Izotermális lágyítás  
Ausztenitre lágyítás

Az ötvözött, hipoeutektoidos acéloknál alkalmazzák. A felhevített acélt lassan hűtve az ausztenit szemcsésperlitté alakul. Ezt követően az ötvözetet kemencében vagy levegőn szobahőmérsékletre hűtik.



## Lágyító hőkezelések

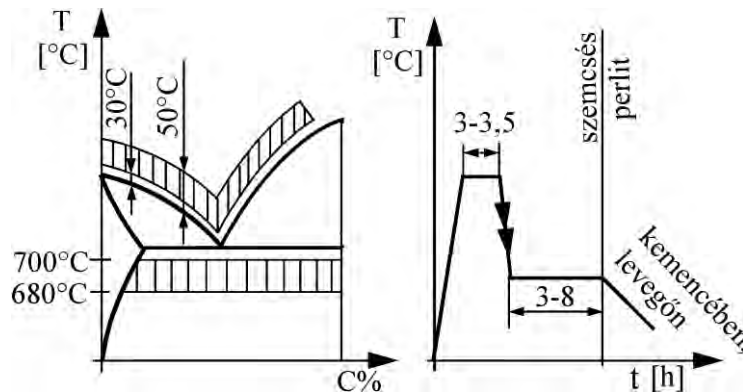
Teljes kilágyítás

Normalizáló lágyítás

**Izotermális lágyítás**

Ausztenitre lágyítás

Az izotermális lágyítással hőkezelt acélok a kis sebességű forgácsoló megmunkálásokhoz alkalmasak, pl. fogazáshoz, bordamaráshoz, üregeléshez.



## Lágyító hőkezelések

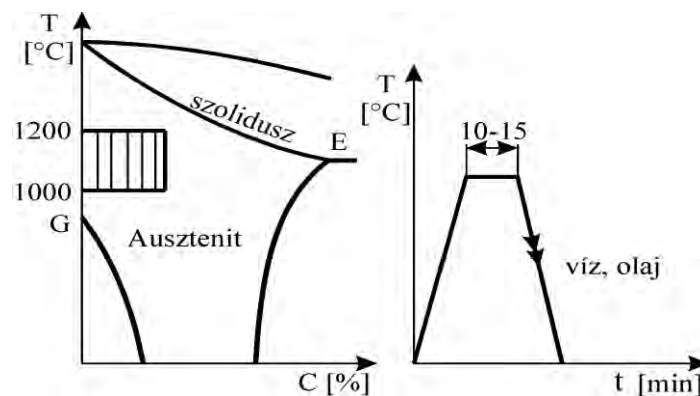
Teljes kilágyítás

Normalizáló lágyítás

Izotermális lágyítás

**Ausztenitre lágyítás**

Erősen ötvözött acélok, korrózió-, sav- és hő- és kopásálló vagy nagy mangántartalmú acélok viszonylag leglágyabb, legjobban megmunkálható állapotát ausztenitre lágyítással lehet elérni. A saválló acélok ebben az állapotban állnak legjobban ellent a vegyi hatásoknak.



## Keménységfokozó hőkezelések

A keménységfokozó eljárások célja általában a kopásálló, martenzites szövetszerkezet kialakítása, esetleg kemény fémvegyület kiválásának elősegítése.

E csoportba tartozó hőkezelési eljárások:

Közönséges edzés

Kombinált edzés

Lépcsősedzés

Mélyhűtés

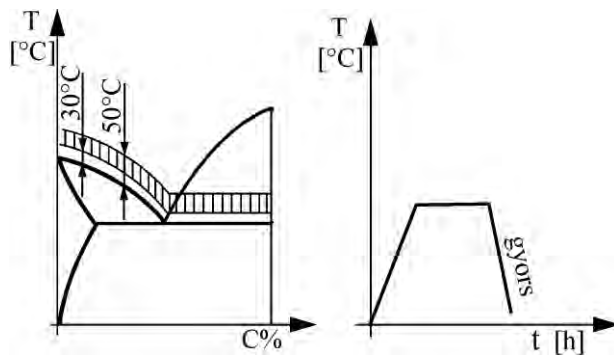
Mesterséges öregítés

## Keménységfokozó hőkezelések

### Közönséges edzés

Kombinált edzés  
Lépcsősedzés  
Mélyhűtés  
Mesterséges öregítés

Edzésnek azt a hőkezelési eljárást nevezzük, amelynek során a 0,3%-nál nagyobb széntartalmú acélokat a GSK-vonal fölé hevítik 30–50 fokkal, majd az ausztenitá alakulás után gyorsan, a kritikus hűtési sebességnél nagyobb sebességgel lehűtik, hogy kemény martenzites szövetszerkezet alakuljon ki.



A martenzitá alakítás (edzés) elvégezhető az alkatrész teljes keresztmetszetére vagy csak annak felületi rétegére vonatkozóan.

Ha csak a felületi réteget hevítjük fel edzési hőmérsékletre pl. acetilén lánggal, indukciós úton, sófürdőbe mártással, majd gyors hűtést alkalmazva, akkor kemény kéreg hozható létre, míg a mag szívós marad.

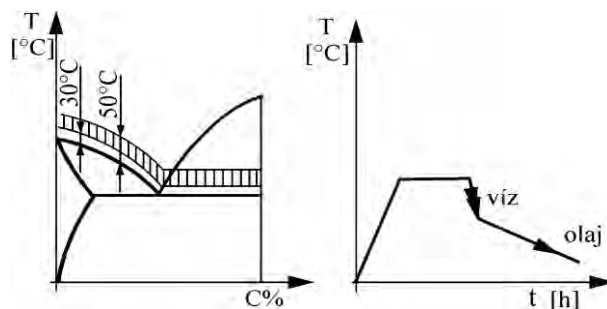
## Keménységfokozó hőkezelések

Közönséges edzés

### Kombinált edzés

Lépcsősedzés  
Mélyhűtés  
Mesterséges öregítés

Ezt a módszert vízedzésű acéloknál alkalmazzák, ha az acél összetétele vagy a munkadarab nagy mérete miatt az repedésre hajlamos. Kombinált edzésnél előbb vízzel hűtünk a C görbe orrpontjának elkerüléséig, majd ezt követően a hűtést olajban fejezzük be. Orrpont előtt az acél elég szívós, nem reped meg az alkatrész az edzés során, utána pedig már lassabban, olajban hűtve sem keletkezik perlit. Így az acél repedésmentesen edzhető.





## Keménységfokozó hőkezelések

Közönséges edzés

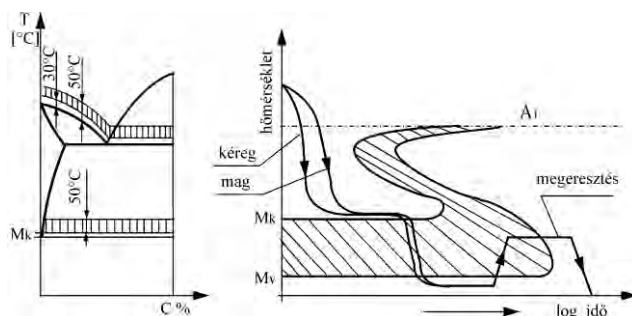
Kombinált edzés

**Lépcsősedzés**

Mélyhűtés

Mesterséges öregítés

Nagyobb átmérőjű vagy nagyobb vastagságú munkadarabok esetén az alkatrész felülete előbb lehűl, mint a belső részek, ezért benne a gyors hűtés során káros feszültségek ébrednek. Ezért a martenzitkialakulás kezdete előtt (Mk) megvárják, míg a kéreg és mag hőmérséklete kiegyenlítődik, majd gyors hűtéssel befejezik az eljárást. Esetleg a káros feszültségek elkerülésére alkalmaznak egy alacsony hőmérsékletű megerezést.



Az így edzett acél azonos keménység mellett szívósabb, kisebb a repedés veszélye. Vetemedésre kevésbé hajlamos, jobban ellenáll a dinamikus, ütésszerű igénybevételnek.

## Keménységfokozó hőkezelések

Közönséges edzés

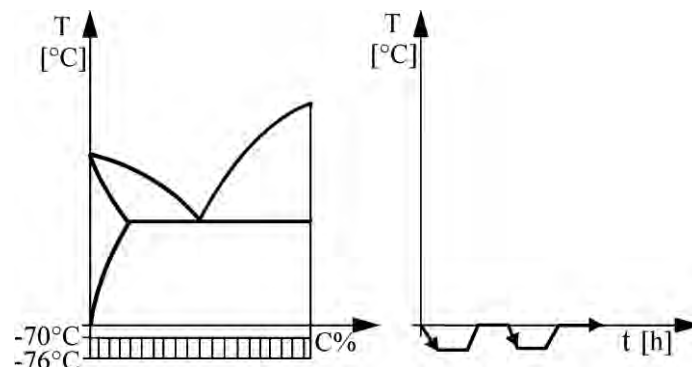
Kombinált edzés

Lépcsősedzés

**Mélyhűtés**

Mesterséges öregítés

Célja az acélban visszamaradt, még át nem alakult, ún. maradék ausztenitnek az átalakítása martenzitté. A visszamaradt ausztenit csökkenti az acél keménységét. Igaz, az átalakulás egy idő múlva magától is végbemenne, de ez pontosan megmunkált munkadaraboknál, pl. idomszereknél, adagolóelemeknél nem megengedhető, mivel az átalakulás térfogat-növekedéssel jár.



## Keménységfokozó hőkezelések

Közönséges edzés

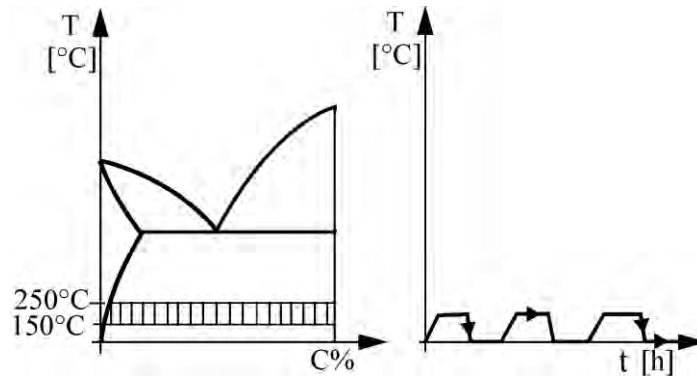
Kombinált edzés

Lépcsősedzés

Mélyhűtés

**Mesterséges öregítés**

Öregedésnek nevezzük a kis széntartalmú acéloknak azt a tulajdonságát, hogy hosszabb idő után minden szándékos beavatkozás, hatás nélkül nő a keménységük, csökken a szívósságuk, nyúlásuk. Ha ez a jelenség használat közben, környezeti hőmérsékleten lép fel, az acél természetes öregedéséről beszélünk.



## Szívósságot fokozó hőkezelések

A szívósság szoros összefüggésben áll a szövetszerkezettel, a kristallitok méretével. Az ötvözet annál szívósabb, minél finomabb a szemcseszerkezete és minél homogénebb a szövete.

Szívósságot fokozó hőkezelési eljárások során finomlemezes perlitet, bainitet hozunk létre. A hőkezelésnek ebbe a csoportjába a következő eljárások tartoznak:

Nemesítés

Izotermális edzés

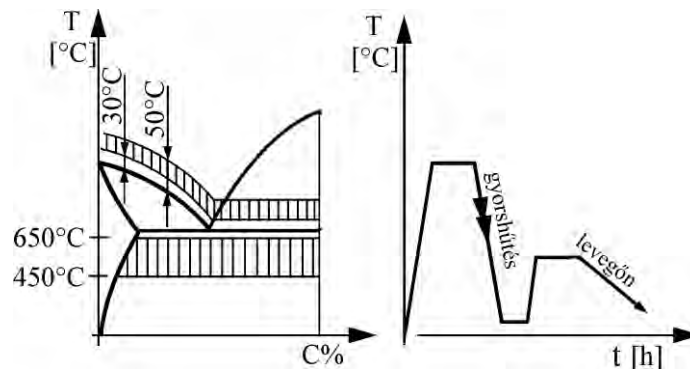
Patentírozás

## Szívósságot fokozó hőkezelések

### Nemesítés

Izotermális edzés  
Patentírozás

A nemesítés összetett hőkezelési eljárás. Áll egy edzésből és azt követően egy magas hőfokú megeresztésből. Célja a megfelelően nagy szilárdság mellett nagy szívósság biztosítása. A nemesítés során az edzéssel kialakított finom tűs martenzitet alakítjuk át szferoidit vagy szemcsés perlitte a megeresztés során.



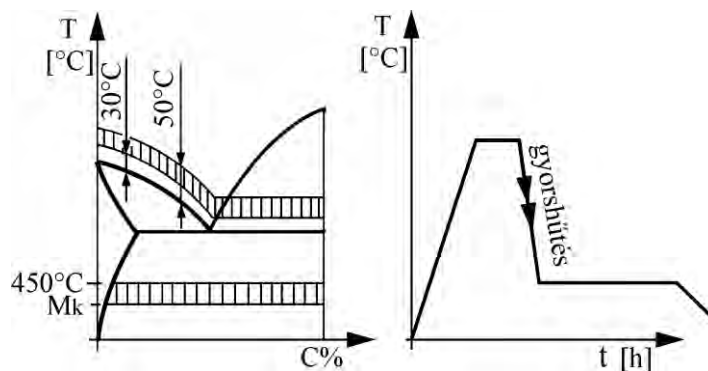
## Szívósságot fokozó hőkezelések

Nemesítés

### Izotermális edzés

Patentírozás

Az így hőkezelt acél keménysége közel áll az edzett acélhoz, de szívóssága jóval nagyobb, ezért repedésre, vetemedésre sokkal kevésbé hajlamos. Kiválóan alkalmas rugók, sajtoló- és forgácsolószerszámok, fűrészlapok, kések hőkezelésére. A szövetszerkezet bainites lesz.



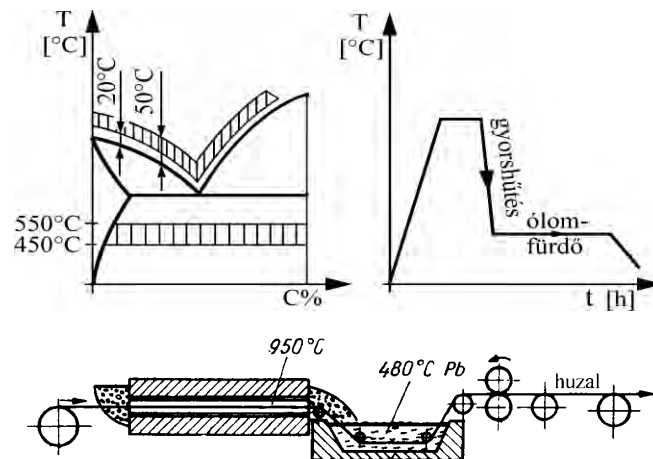
## Szívósságot fokozó hőkezelések

Nemesítés

Izotermális edzés

**Patentírozás**

Ez a hőkezelés lényegében hasonlít az izotermális edzésre, annak az elvét követi. Itt is a túlhűtött ausztenit bainitté alakul. Az eljárás hosszú, vékony termékek, huzalok, fémszalagok szívóssá tételére alkalmas.



## Kéregötöző hőkezelések

Kéregötözési eljárásnak nevezzük az olyan hőkezelési eljárást, amikor az ötvöztelen vagy gyengén ötvözött acél alkatrész bizonyos vastagságú felületi rétegébe szén vagy más ötvözőt viszünk diffúzió révén. Az eljárás célja, hogy az ötvözőelemtől függően a kéreg kemény, kopásálló, korrózióálló, saválló, hőálló legyen.

Többféle kéregötözési eljárás alakult ki:

Cementálás

Nitridálás

Nitrocementálás

Karbonitrálás

Alitálás

Kromálás

Szilikálás

## Kéregötöző hőkezelések

Cementálás

### Nitridálás

Nitrocementálás

Karbonitrálás

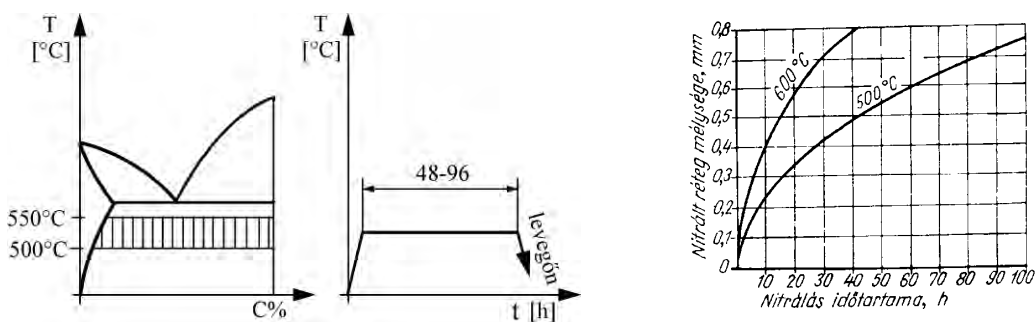
Alitálás

Kromálás

Szilikálás

Nitridálás során az acél felületi rétegébe atomos nitrogént visznek be diffúzió révén. Az ötvözés hatására nő a kéreg keménysége, kifáradási határa, korrózióállósága. Az atomos nitrogén a vassal a felületi rétegben vasnitrid vegyületet hoz létre, aminek következtében a kéreg kemény kopásálló lesz. Beljebb egy vékonyabb, de még keményebb vasnitrid vegyület alakul ki.

Nitridálni a nitridálható acélt lehet (C% 0,25–0,4% ; Al, Cr ötvözésű)



## Kéregötöző hőkezelések

Cementálás

Nitridálás

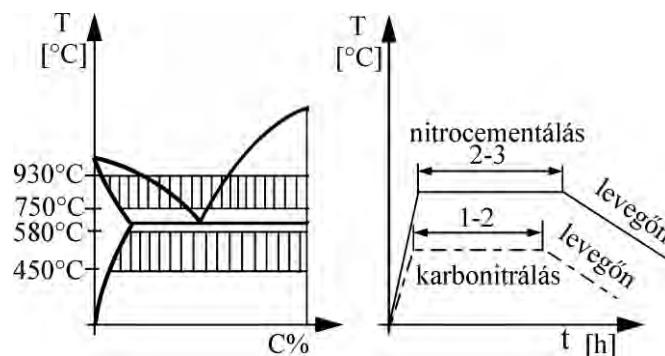
### Nitrocementálás

### Karbonitrálás

Kromálás

Szilikálás

Ezek az eljárások a cementálásnak és a nitrálásnak az együttes alkalmazásai. Az acélt egyidejűleg szén- és nitrogén-leadó közegben hevítik. Nitrocementálásakor a cementálás a domináns folyamat.



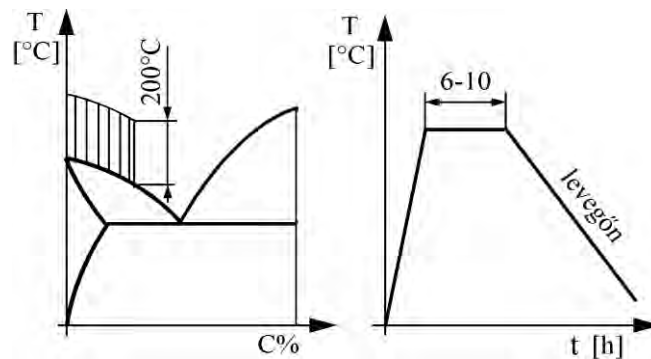
## Kéregötöző hőkezelések

Cementálás  
Nitridálás  
Nitrocementálás  
Karbonitrálás

### Alitálás

Kromálás  
Szilikálás

Az alitálás a kis széntartalmú acélok felületének alumíniummal való ötvözését jelenti a tűzállóság növelése, revésedésre való hajlamának csökkentése céljából. Gáz- és olajégők, gőzkazánok csöveit, pirométerek védőtokját alitálva lényegesen megnövelhető élettartamuk és ugyanakkor olcsóbb anyagból gyárthatók.



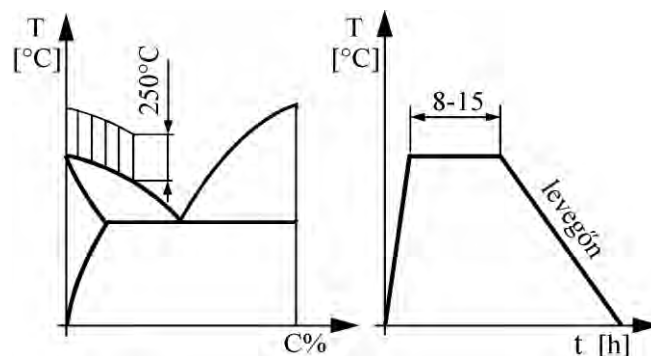
## Kéregötöző hőkezelések

Cementálás  
Nitridálás  
Nitrocementálás  
Karbonitrálás  
Alitálás

### Kromálás

Szilikálás

Kromálásnál a kis széntartalmú acélokat krómot leadó közegbe ágyazva vagy gázállapotú Cr-kloridban a felületébe diffundáltatják a krómatomokat. A krómot tartalmazó kéreg jobban ellenáll a korróziónak, keményebbé és hőállóbbá válik.



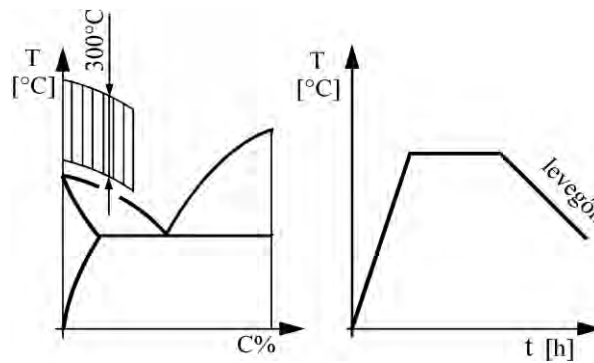


## Kéregötöző hőkezelések

Cementálás  
Nitridálás  
Nitrocementálás  
Karbonitrálás  
Alitálás  
Kromálás

### Szilikálás

Szilikálás a kis széntartalmú acélok felületének ötvözését jelenti szilíciummal (Si). Célja az acél savállóságának növelése. A kéreg 6% os Si-tartalma már hőállóságot biztosít, de a jó savállósághoz 14–15% Si kell. Az eljárással max 11% Si érhető el, ami csak részben elég a savállósághoz.



## Kulcsszavak

hőkezelés, ausztenit, perlit, ferrit, martenzit, kiegyenlítő hőkezelés, lágyító hőkezelés, keménységfokozó hőkezelés, kéregötvözés, lágyítás, edzés, cementálás,

## Keywords

heat treating, austenite, pearlite, ferrite, bainite, martensite, annealing, tempering, recrystallization, grain growth,

## Ellenőrző kérdések

- Mi a hőkezelés? Milyen hatása van a vas-szén ötvözetek szerkezetére az egyensúlyi viszonyoknál nagyobb ( $v_{\text{hűtés}} > 1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ) hűtési sebességnek?
- Mi az IHÁ diagram? Milyen fizikai hatásoknak az eredőjeként szerkeszthetők meg a „C”-görbék (diagramok)?
- Ismertesse az eutektoidos acél IHÁ diagramját izotermális hűtés esetén.
- Mutassa be az ausztenit átalakulásának folyamatát egy olyan hűlési görbe mentén, amelynél **finomlemezes perlit**, **bainit**, illetve **martenzit** keletkezik. Ismertesse az **ausztenit-bainit**, illetve **ausztenit-martenzit** átalakulás folyamatát.
- Mutassa be a **kiegyenlítő hőkezelési eljárásokat**. Milyen hőkezelések tartoznak ebbe a csoportba, melyiknek mi a célja, hogyan kell végrehajtani?
- Mutassa be a **lágylító hőkezelési eljárásokat**. Milyen hőkezelések tartoznak ebbe a csoportba, melyiknek mi a célja, hogyan kell végrehajtani?
- Mutassa be a **keménységfokozó hőkezelési eljárásokat**. Milyen hőkezelések tartoznak ebbe a csoportba, melyiknek mi a célja, hogyan kell végrehajtani?
- Mutassa be a **szívósságfokozó hőkezelési eljárásokat**. Milyen hőkezelések tartoznak ebbe a csoportba, melyiknek mi a célja, hogyan kell végrehajtani?
- Mutassa be a **kéregötvöző hőkezelési eljárásokat**. Milyen hőkezelések tartoznak ebbe a csoportba, melyiknek mi a célja, hogyan kell végrehajtani?
- Mi a betétedzés? Mikor alkalmazzák? Milyen fajtái vannak?



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 13. A ragasztás technológiái, a ragasztási paraméterek értelmezése és számszerűsítése

Szerző: Nagyné Halász Erzsébet  
[nagyne.halasz@bgk.uni-obuda.hu](mailto:nagyne.halasz@bgk.uni-obuda.hu)

## Tartalom

Bevezetés.....	430
Ragasztóanyagok csoportosítása .....	431
A ragasztók lehetnek megjelenési formájuk szerint .....	432
Ragasztandó anyagok szerint: .....	435
Ragasztáskor létrejövő kémiai kötések .....	446

## 1. Bevezetés

A ragasztás az a művelet, amikor szilárd anyagok felületét ragasztóanyag alkalmazásával összekötik.

Ragasztóanyagok azok a nemfémes anyagok, amelyek szilárd anyagok felületét tapadással (adhézió) és saját szilárdságukkal (kohézió) kötik össze anélkül, hogy az összekötött anyagok szerkezeti felépítése vagy eredeti tulajdonságai lényegesen megváltoznának.

A ragasztás folyamata:

1. Ragasztóanyag felhordása a felületre vagy a felületek mindegyikére
2. Illesztés, az összekötni kívánt anyagok felületeinek egymásra helyezése.
3. Szilárdítás.

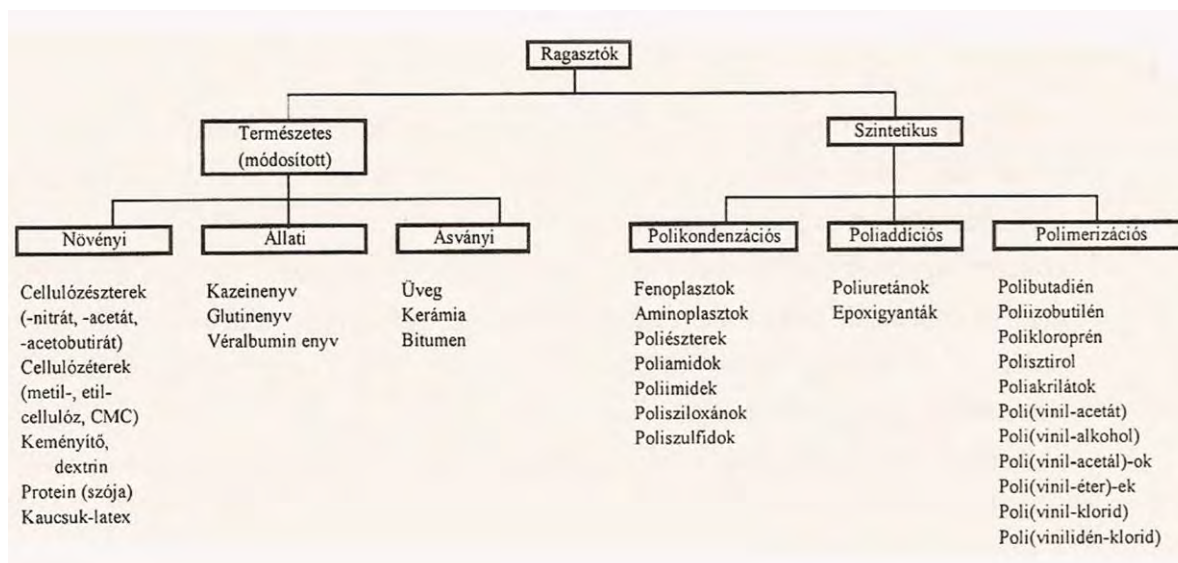
### Bevezetés

A ragasztóanyag csak folyékony állapotú lehet.

Az illesztés közben az előírásokat, méretpontosságot be kell tartani.

A szilárdítás a kötésszilárdság elérése miatt szükséges. Közben a ragasztóanyag szilárd halmazállapotba kerül. Ez a ragasztó kötési folyamata, mely lehet fizikai, tisztán szárítás vagy hűtés vagy lehet kémiai, (polimerizáció, polikondenzáció, poliaddíció) vagy ezek kombinációi.

## Ragasztóanyagok csoportosítása



## **A ragasztók lehetnek megjelenési formájuk szerint**

### **Folyékonyak:**

- Oldat
- Szuszpenzió
- Emulzió
- Folyékony prepolimer

### **Szilárdak:**

- Por
- Granulátum
- Fólia
- Huzal, szalag

### **A ragasztók lehetnek megjelenési formájuk szerint**

Természetesen a kereskedelmi forgalomban megjelenő szilárd halmazállapotú ragasztókat felhasználás előtt folyékony állapotba kell hozni.



## **Kötési reakciók szerint a ragasztók:**

Fizikai folyamat révén szilárdulók

- Száradás
- Hűlés

Kémiai folyamat révén kötő ragasztók

- Polimerizáció
- Polikondenzáció
- Poliaddíció

Fizikai és kémiai folyamatok kombinációjával létrejövő  
kötés

**Kötés hőmérséklete szerint:**

Hidegen,  
Melegen kötők.

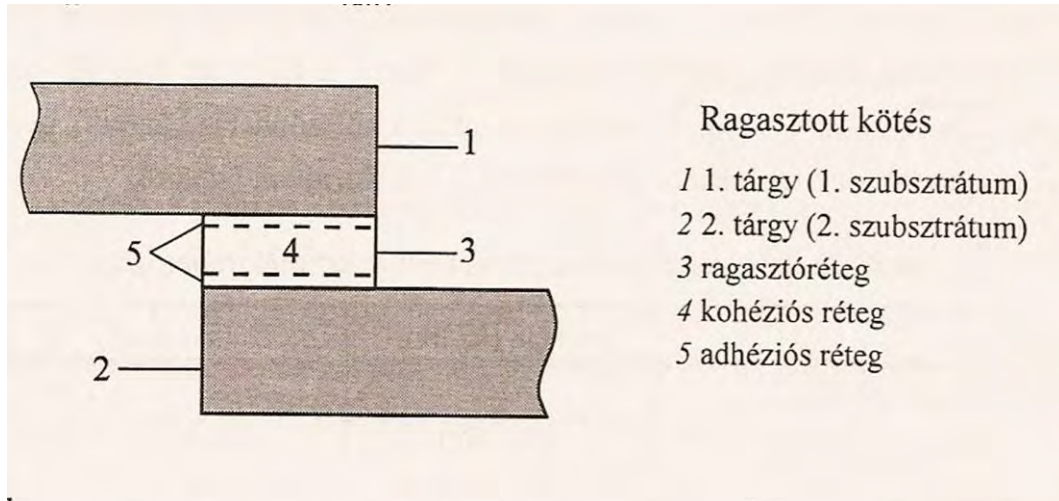
**Kötés oldhatósága szerint:**

Oldható (víz vagy oldószerrel oldható a ragasztás)  
Oldhatatlan (csak roncsolással)

### **Ragasztandó anyagok szerint:**

- Fém
- Műanyag
- Papír, fa
- Üveg stb.
- Háztartási általános ragasztók

## A ragasztás fizikai kémiája



A két összeragasztott tárgy között található a ragasztóréteg, amely akármilyen vékony is, két határfelületi rétegre és a ragasztó fő tömegét alkotó közbülső rétegre osztható.

Klasszikus felfogás szerint a határfelületi rétegeket adhézios, a közbülső réteget kohéziós rétegnek nevezik.

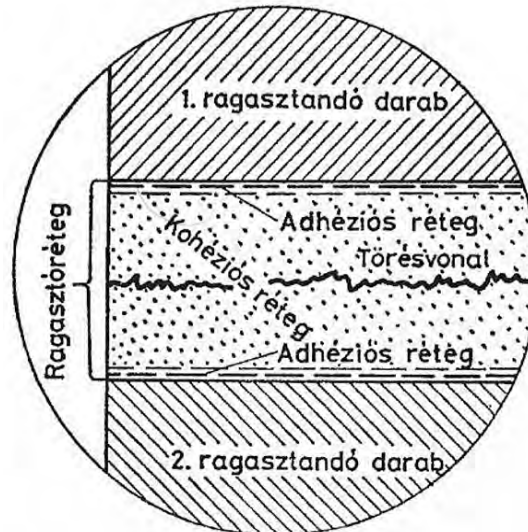
A mai értelmezés szerint viszont:

a jó ragasztott kötésnél a ragasztó és a ragasztott felület között molekuláris erők létrejöttét minimálisan elvárják.

Reaktív ragasztók alkalmazásakor a ragasztó és a ragasztott felület között elsőrendű kémiai kapcsolat jön létre.

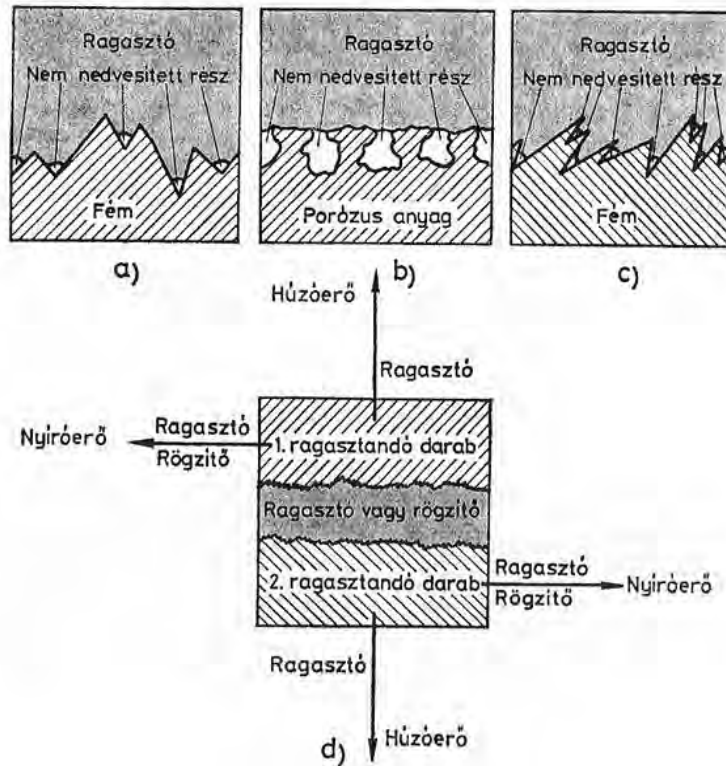
## A ragasztástechnika elméleti és technológiai alapjai

- A ragasztóréteg fiziko-kémiai felépítése



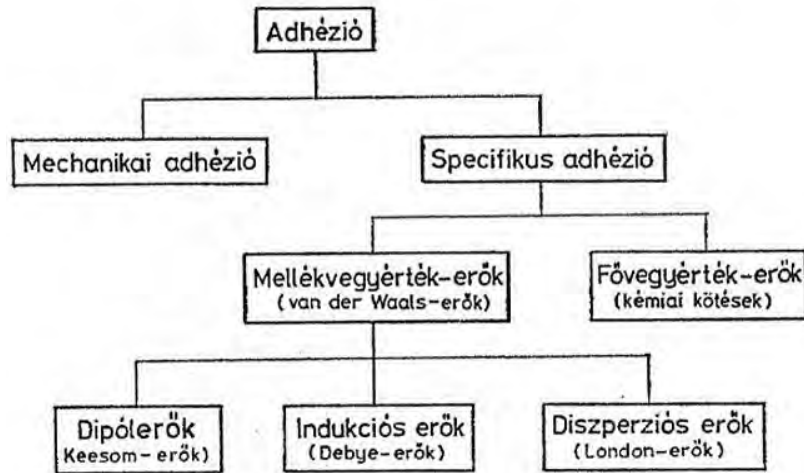
A ragasztott kötés keresztmetszete látható az ábrán. A két ragasztandó felülettel a ragasztó igen vékony, ún. adhéziós rétege érintkezik. A ragasztó belső, vastagabb rétege a kohéziós réteg. A kétféle rétegben fellépő erők fiziko-kémiai szempontból eltérnek. Az adhéziós rétegben működő erők egymástól eltérő, heterogén anyagfelületeket tartanak össze. A kohéziós rétegben található erők csupán a ragasztóanyag molekulái között keletkeznek és tulajdonképpen magának a ragasztónak a tulajdonságait határozzák meg. Az adhéziós és a kohéziós rétegek között átmeneti rétegek találhatóak.

## Érdes felületek különféle geometriai alakzatai



A legtöbb anyag felületén is találunk átmeneti rétegeket. Nagyságukat tekintve a jól választott ragasztó és felületkezelés esetén az adhéziós erők nagyobbak, mint a kohéziós erők. A törés ilyenkor mindig a kohéziós rétegben következik be.

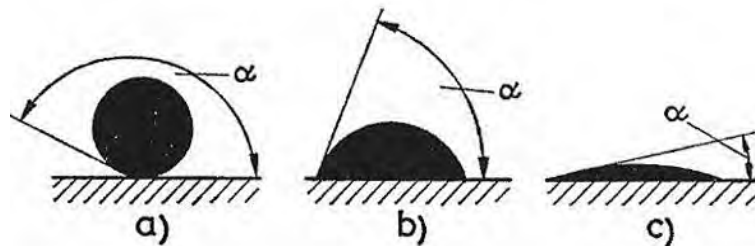
## Az adhézió fajtái és az adhéziót létrehozó erők



A fajlagos adhézió létrejötte független a felület durvaságától. Kialakulásában az anyagfajták – ezen belül a felületen elhelyezkedő molekulák – tulajdonságai játszanak döntő szerepet. A fajlagos adhéziót a molekulák között fellépő úgynevezett mellékvegyérték-erők (másodlagos kémiai kötések, van der Waals-erők) hozzák létre elsősorban. Néhány nagy szilárdságú kötésben elsőrendű kémiai kötések jelenlétét is kimutatták, valamint hidrogénhidak is kimutathatók ezekben az esetekben.

A van der Waals-erők egyrészt a ragasztó, másrészt a ragasztandó felület molekuláinak kölcsönhatása, vonzása révén jönnek létre.

## A felület nedvesítésének hatása



A felület nedvesíthetőségének meghatározása csepp próbával.

A jó ragasztott kötés létrehozásához szükséges a megfelelő ragasztó kiválasztásán kívül a megfelelő ragasztandó felület létrehozása. Ragasztási szempontból akkor megfelelő a felület, ha a kis viszkozitású víz szétterül, vagyis jó a nedvesíthetőség. A nedvesítés minőségének 3 fokozatát mutatja az ábra.

A, nagy kontaktszög, rossz nedvesíthetőség

B, közepes kontaktszög, jobb nedvesíthetőség

C, kis kontaktszög, jó nedvesíthetőség

Csepp-próbával ez a kontaktszög meghatározható, a gyakorlatban a felületre folyatott víz alakjából következtetünk a nedvesíthetőségre.



## A jó ragasztás feltételei

**A jó ragasztás feltételei.** A ragasztandó anyag teljesen vagy csak ragasztandó felületén poláros (vagy polarizálható) legyen, ha a ragasztó poláros.

A ragasztandó felületen ne legyen olyan gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú réteg, amely a ragasztóval való közvetlen érintkezést, így a jó kötés kialakulását akadályozza.

A ragasztó a bekeveréstől számítva a felhasználhatósági időtartamon belül legyen, mert ezen túl a felületet nem nedvesíti jól, a kapott kötésszilárdság kicsi lesz.

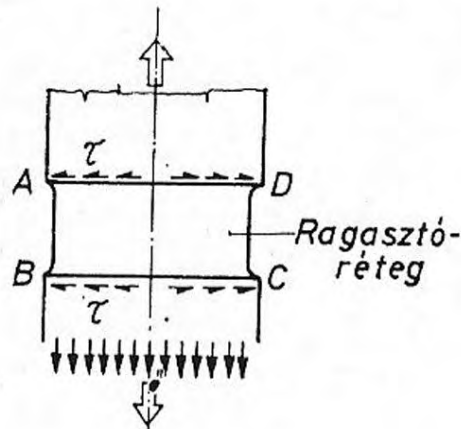
Oldószeres és diszperziós ragasztók használata esetén az oldószer, ill. a diszpergáló anyag felhordás előtti elpárolgása okozhat rossz nedvesítést.

A ragasztó és a ragasztandó darab az előírt hőmérsékleten legyen.

A ragasztómolekulák nagysága is befolyásolja a kötésszilárdságot. Az adhézió a molekulák növekedésével csökken, mert a végcsoportok száma – amelyek mint dipólusok szerepelnek – csökken. Ugyanakkor a ragasztó kohéziós szilárdsága nő. A kötéslánc leggyengébb tagja a ragasztóréteg belső, kohéziós része (l. az 1. ábrát). Így ennek szilárdságát – vagyis a molekulák nagyságát – növelve a kötésszilárdság is nagyobb lesz.

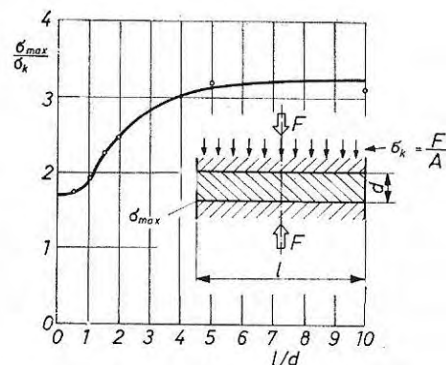
## A ragasztórétegben fellépő feszültségeloszlás

Homlokkötés járulékos igénybevétele a ragasztott elemek és a ragasztóréteg eltérő keresztirányú összehúzódása következtében



Homlokkötés esetében a ragasztott kötés feszültségeloszlása elvileg egyezik a csatlakozó keresztmetszetek feszültségeloszlásával, tehát úgy viselkedik, mintha ragasztás nélküli – egy darab – alkatrészről volna szó. Ez az állapot azonban csak csavarás esetén közelíti meg a valóságot. Húzás-nyomás és hajlítás esetén azonban a kötés feszültségeloszlása a szomszédos anyagrészekhez képest eltorzul, mert a ragasztó Poisson-tényezője általában nagyobb, mint a ragasztandóé.

## A ragasztóréteg felszínén ébredő feszültségcsúcs



Névtleges feszültség értéke  $F$  erővel húzott, ill. nyomott homlokkötések esetén:

$$\sigma_k = \frac{F}{A},$$

ahol  $A$  a ragasztott keresztmetszet területe

$M_h$  hajlítónyomatékkal terhelt hajlított keresztmetszetek esetén:

$$\sigma_k = \frac{M_h}{K}$$

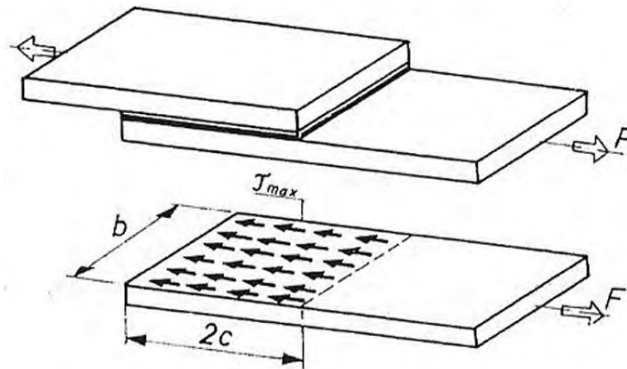
ahol a  $K$  a keresztmetszeti tényező

A feszültségcsúcs értéke:

$$\sigma_{\max} \cong 3\sigma_k$$

A ragasztás hatására a húzófeszültségek eloszlása is eltorzul. Ezt a feszültségeloszlást Mylonas vizsgálta, és optikai feszültségvizsgálati kísérletek alapján a feszültségcsúcs értékére a ragasztóréteg  $l/d$  méretviszonya függvényében az ábrán látható diagramot kapta. A valóságban a ragasztóréteg alapterületéhez képest igen vékony (0,05...0,2 mm), a tényleges  $l/d$  viszony igen nagy. Ezért a feszültségcsúcs értéke gyakorlatilag mindig 3-szorosa a ragasztórétegben számítható, egyenletes feszültségeloszlást feltételező névtleges feszültségnek.

## Átlapolt kötések igénybevétele



Csúsztatófeszültség  
középvértéke a lemez síkjában  
ható erők egyensúlyából:

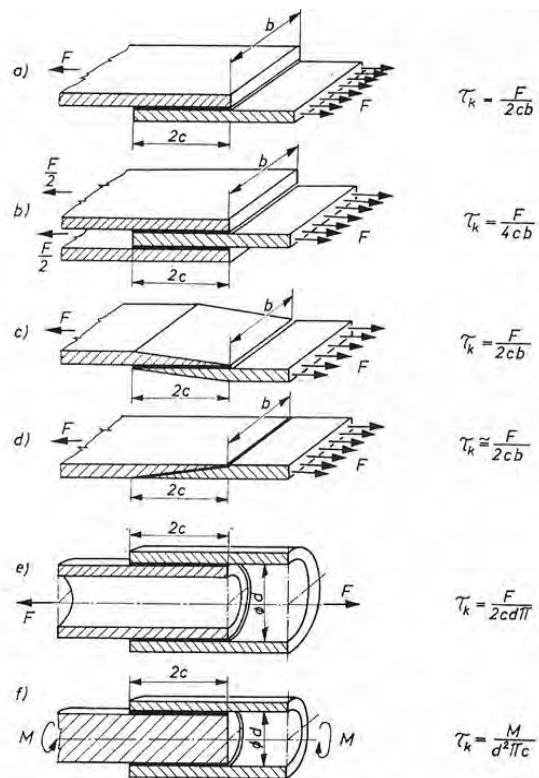
$$\tau_k = \frac{F}{2cb}$$

Átlapolt kötések esetében a ragasztóréteg mértékadó igénybevétele a nyírás. Az összeragasztott lemezekben működő húzóerőt a ragasztórétegben ébredő csúsztatófeszültség adja át egyik lemezről a másikra.

A nyírásen kívüli járulékos igénybevételekből a ragasztórétegben ébredő egyéb feszültségösszetevőket egyelőre figyelmen kívül hagytuk.

## Átlapolt kötések

- a, Egyszerű átlapolás
- b, kettős átlapolás
- c, leélezett átlapolás
- d, egysíkú leélezett átlapolás
- e, húzott átlapolt csőkötés
- f, csavart átlapolt csőkötés



## Ragasztáskor létrejövő kémiai kötések

### Elsőrendű kötések:

Ionos kötés

Kovalens kötés

Fémes kötés

### Másodrendű kötések:

H-kötés

Diszperziós kölcsönhatások, Dipol-dipol, van der Waals-kötések

## Ragasztott illesztőkötések méretezése

### 1. Tengelyirányú erőátvitel

$$F = A \cdot \tau_{D_2} \cdot f_{\text{össz}}$$

ahol:

- F = Kisajtoló erő N-ban  
A = Ragasztott felület mm<sup>2</sup> – ben  
 $\tau_{D_2}$  = Nyomó-nyirószilárdság N/mm<sup>2</sup>  
ben DIN 54452 szerint  
 $f_{\text{össz}}$  = Korrekciós tényezők

### 2. Radiális erőátvitel

$$M_t = \frac{\tau_{D_2} \cdot \pi d^2 \cdot b}{2} \cdot f_{\text{össz}}$$

ahol:

- $M_t$  = Forgatónyomaték Nmm- ben  
 $\tau_{D_2}$  = Nyomószilárdság N/mm<sup>2</sup>- ben a  
DIN 54452 szerint  
d = Közepes illesztési átmérő  
b = Ragasztási hossz  
 $f_{\text{össz}}$  = Korrekciós tényezők

## Korrektíós tényezők:

- $f_1$  = Az anyag fajtája  
 $f_2$  = Hézag  
 $f_3$  = Felületi érdesség  
 $f_4$  = Illesztési felület és b/d viszony  
 $f_5$  = Terhelési irány, radiális-axiális  
 $f_6$  = Terhelési mód  
 $f_7$  = Alkalmazási hőmérséklet  
 $f_8$  = A ragasztó kikeményítésének módja

### Anyagfajta $f_1$

Műanyag	0,2 – 0,4
Szürkeöntvény	0,4 – 0,8
Réz	0,5
Galvanikusan kezelt fém felületek	0,5
Alumínium	0,7
Erősen ötvözött acélok	0,8
Acél	1,0

Speciális alkalmazási eseteknél (mint pl. a kémiai közeg) szükségessé válhat a pótlólagos korrektíós tényezők figyelembe vétele.

$$f_{\text{össz}} = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_8 \cdot f_n$$

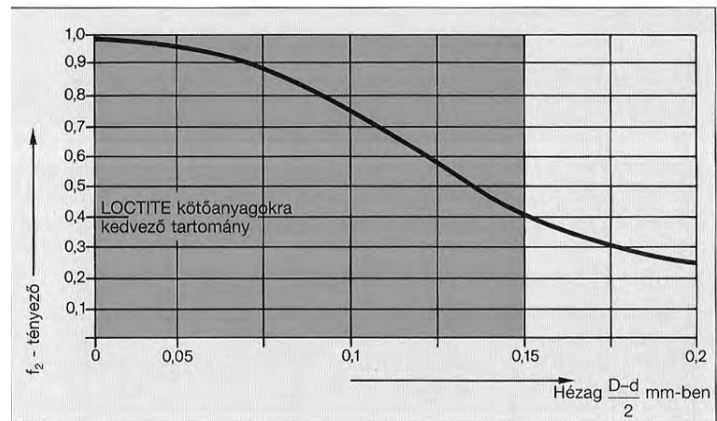
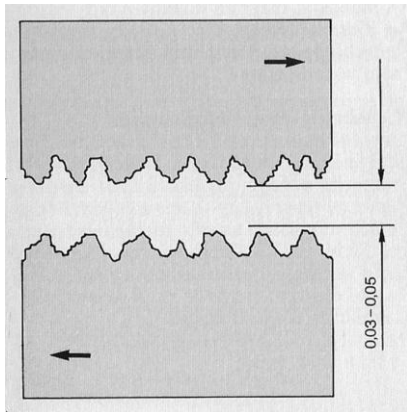


## F<sub>2</sub> hézag meghatározása

### Koncentrikus csapágyazásnál:

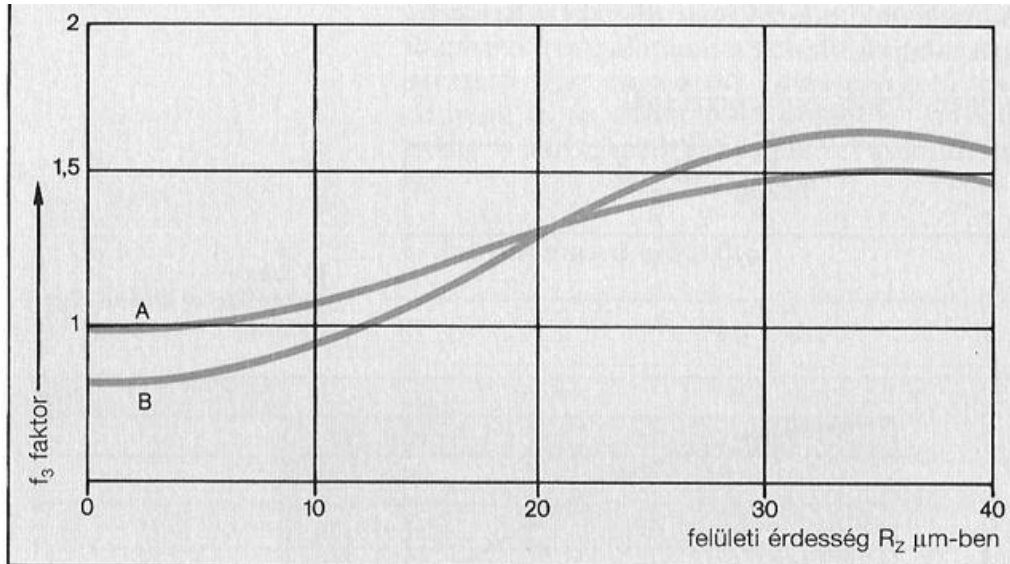
$$\text{hézag} = \frac{D - d}{2}$$

*f<sub>2</sub> faktor  
Szilárdság az átmérő függvényében.*



A ragasztás számára kedvező hézag ,03–0,05 mm között van. Ebben az esetben a ragasztó nyírófeszültségét leginkább a felületi érdesség határozza meg.

## Felületi érdesség hatása:



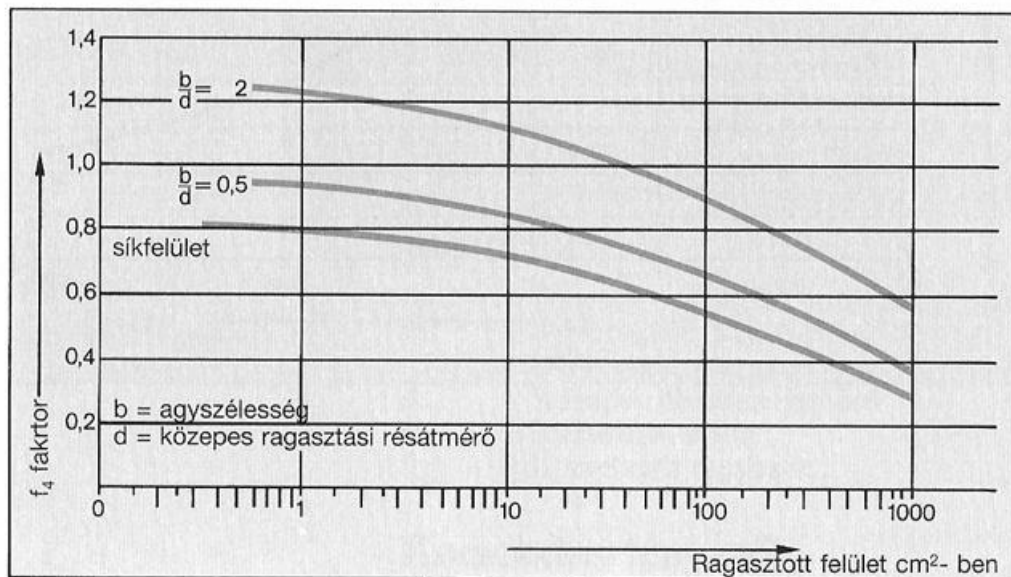
R<sub>z</sub> felületi érdesség

A ragasztott kötéseknel 15–40 μm felületi érdesség szükséges.

A diagram mutatja a felületi érdesség (érdességi mélység) és a szilárdság közötti összefüggést.

Az optimálisnak tekinthető tartományt a berajzolt rész mutatja.

## A ragasztott felület nagyságának hatása



*f<sub>4</sub> faktor Szilárdság a tengelyátmérő/ragasztási hossz függvényében.*

A diagram a ragasztott kötés szilárdságát mutatja a ragasztott felület nagyságának függvényében.

A ragasztott kötés szilárdsága függ a terhelés irányától is melyet  $f_5$  korrekciós tényezővel vesszünk figyelembe.

$f_4$  korrekciós tényező pedig az illesztési felülettől függő tényező.

## Terhelési mód, alkalmazási hőmérséklet hatása

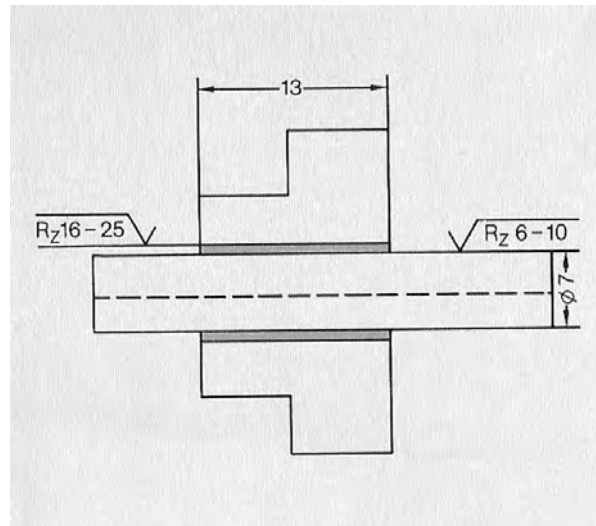
### $f_6$ - Terhelési mód

tiszta statikus terhelés	1,0
hullámzó terhelés	0,7
dinamikus tartós terhelés	0,2–0,5

### $f_7$ Alkalmazási hőmérséklet

$$f_7 = \frac{\text{relatív (fajlagos) szilárdság \% - ban}}{10}$$

Az alkalmazási esetnek megfelelően ezen kívül még a hőrepedést kell figyelembe venni.



A ragasztók legnagyobb szilárdságukat általában szobahőmérsékleten (20 °C) érik el.

Emelkedő hőmérsékletnél csökken a szilárdság.

A kötések tartós szilárdsága függ a terhelési módtól is, ezt az  $f_6$  tényezővel vesszük figyelembe.

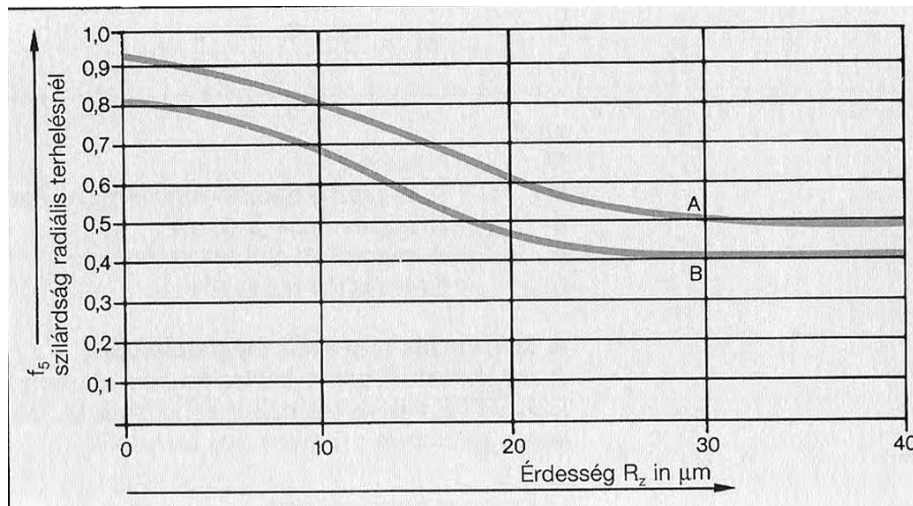
Az  $f_7$  tényező a hőmérséklet hatására bekövetkező szilárdságcsökkenést veszi figyelembe.

## Ragasztó kikeményítésének módja

### $f_8$ - A ragasztó kikeményítésének módja

$f_8$ - faktor:

Kikeményedés szobahőmérsékleten	1,0
Kikeményítés aktivátorral	0,8
Kikeményedés hő hatására (120°C)	1,2



A ragasztott kötés szilárdsága függ a kikeményítés módjától és jellegétől is.

Minnél több nedvesítési ponthoz kötődik a polimerizálódott ragasztó, annál nagyobb a végső szilárdsága a kikeményedésnél.

## Számítási példa, tengely/agy kötés anaerob ragasztóval

### Adatok:

ragasztandó anyag: S235JR acél (tengely és agy)

Maximálisan fellépő forgatónyomaték:  $M_{\max} = 2,5 \text{ Nm}$

Illesztés: H7/f7

### Számítás

Az átvihető nyomaték a következő összefüggéssel számítható ki:

$$M_t = \frac{\tau_{D_2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{2} \cdot f_{\text{össz}}$$

ahol:

$M_t$  = Nyomaték

$\tau_{D_2}$  = A ragasztó nyomó-nyírószilárdsága

$d$  = Közepes hézagátmérő

$b$  = A ragasztott felület szélessége

$f_{\text{össz}}$  = Korrekciós tényezők

## Korrektációs tényezők:

### A korrektációs tényezők meghatározása

A megkövetelt, gyors kéziszilárdság alapján a LOCTITE 648-as terméket választjuk ki. Ebben a példában a korrektációs tényezők:

$f_1$ : az anyag fajtája: acél/acél	$\rightarrow f_1 = 1,0$
$f_2$ : hézagmagasság 0,025 mm	$\rightarrow f_1 = 1,0$
$f_3$ : felületi érdesség $R_z = 6 - 10 \mu\text{m}$	$\rightarrow f_3 = 1,1$
$f_4$ : illesztett felület $\approx 1,8$	$\rightarrow f = 1,1$
$f_5$ : terhelés iránya tisztán radiális	$\rightarrow f = 0,85$
$f_6$ : terhelési mód változó	$\rightarrow f = 0,5$
$f_7$ : hőmérséklet: 100°C	$\rightarrow f = 0,92$
$f_8$ : kikeményedés szobahőmérsékleten (20°C)	$\rightarrow f = 1,0$
$f_{\text{össz}} = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_8 = 0,46$	

## Nyomaték meghatározása:

Ha a számítási képletbe a LOCTITE 648 fajlagos nyírószilárdságát  $20 \text{ N/mm}^2$ - el helyettesítjük be, akkor

$$M_t = \frac{20 \cdot \pi \cdot 7^2 \cdot 13}{2} \cdot 0,46 \text{ Nmm}$$

$$M_t = 9230 \text{ Nmm}$$

$$\underline{M_t = 9,23 \text{ Nm}}$$

Az átvihető forgatónyomaték  $9,23 \text{ Nm}$ . Előírt nyomaték  $2,5 \text{ Nm}$  volt.

Ez  $v = 3,7$ - es biztonságot jelent.

A választott ragasztóra a méretezés tehát megfelel.



## Kérdések és feladatok



1. Mit nevezünk ragasztásnak?
2. Mi a különbség az adhézión és a kohéziós kötés között?
3. Milyen másodlagos kémiai kötések jelennek meg a ragasztott kötésekben?
4. Milyen elsődleges kémiai kötések jelennek meg a ragasztott kötésekben?
5. Milyen anyagok ragaszthatók?
6. Ismertesse a ragasztás folyamatának lépéseit!

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol–magyar kifejezések

Ragasztó	Glue
Nedvesítés	Wetting
Zsugorodás	Shrinkage
Hűtés	Cooling
Vetemedés	Warpage
Rugalmassági modulus	Elastic modulus
Viszkozitási tényező	Coefficient of viscosity

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Dr. Farkas F. –Farkas F. J.: A ragasztás kézikönyve, Műszaki könyvkiadó Budapest, 1997.
- [2] Jürgen F.: Loctite, Loctite Deutschland GmbH., München, 1988.
- [3] Kurt H. Thieme: Einführung in die Klebtechnik, Loctite Deutschland GmbH., München, 1989.
- [4] Balázs Gyula: Ragasztástechnikai zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 14. A polimer feldolgozás technológiái, a polimer technológiai paraméterek értelmezése és számszerűsítése

Szerző: Kovács-Coskun Tünde  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)

## Tartalom

Bevezetés.....	462
Polimergyártás eljárásai: .....	463
Műanyagok főbb fajtái .....	470
A műanyagok feldolgozása.....	473
A fröccsöntő gép.....	482

# 1. Bevezetés

Polimernek nevezzük azokat a hosszú láncú vegyületeket melyekben nagyszámú (több ezer) monomer (polimert felépítő molekula) kapcsolódik egymáshoz elsődleges kémiai kötéssel (ionos, kovalens). Polimerek esetében megkülönböztetjük a természetes és a mesterséges polimereket. A polimerek tulajdonságait a kémiai összetételük és a **szerkezetük** határozza meg.

## POLIMEREK

- Mesterséges: polietilén, polivinilklorid, politetrafluoretilén stb.
- Természetes: fa, papír, bőr, csont, természetes gumi

### Polimerek jellegzetes tulajdonságai:

- Vegyszerállóság
- Szűk hőmérséklet-tartományban alkalmazhatóak
- Kis hő- és villamosvezető képesség
- Könnyű feldolgozhatóság (kis átmérőjű szálak, vékony fóliák)

## Bevezetés

Természetes alapú műanyagok előállítása: kaucsuk

Alapanyag:

kaucsukfa kérgéből kifolyó latex

Közbülső termék: kaucsuk

Végtermék: természetes gumi

Adalékolás korommal, krétopporral

Vulkanizálás kénnel (láncmolekulák összekötése kénhidakkal)

2...3% kéntartalom rugalmas gumit eredményez, 32% keménygumit (ebonit)

Adalékolás korommal, krétopporral

Vulkanizálás kénnel (láncmolekulák összekötése kénhidakkal)

2...3% kéntartalom rugalmas gumit eredményez, 32% keménygumit (ebonit)

Mesterséges alapú műanyagok feldolgozási lépései

Alapanyagok: szén, kőolaj, földgáz, víz, levegő, adalék anyagok

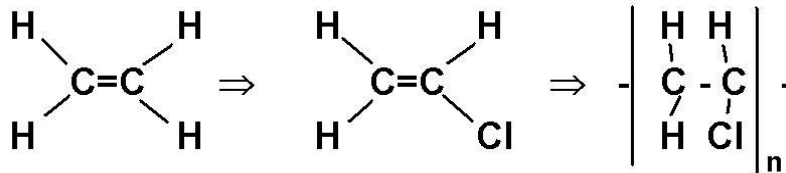
Közbülső termékek: polimerizálható, kettős vagy többszörös kötéseket tartalmazó monomerek

Végtermék: polimerizáció, polikondenzáció, poliaddíció és vulkanizálás útján létrejött anyagok

Formázás: különféle eljárásokkal

## Polimergyártás eljárásai:

**Polimerizáció:** telítetlen kettős kötést tartalmazó (C=C) monomer molekulákat, melléktermék képződése nélkül, segédanyag hozzáadása nélkül (monomerek önmagukkal kapcsolódnak), hosszú láncba (>103 monomert tartalmazó) építjük, kovalens (C-C) kötésekkel összekapcsolva, láncreakcióban. (PE, PVC, PS, PMMA, szintetikus kaucsuk)



**Polimerizációs láncreakció:** a folyamat elindítása, iniciálása után a folyamat ismétlődő lépésekből áll, mely újabb energiabevitelt nem igényel, „önműködően”, hőenergia-felszabadulással járó (exoterm) folyamat, mely az alapanyag közel teljes felhasználódásáig, vagy a folyamat külső adalékkal történő lezárásáig tart.

## Polimergyártás eljárásai:

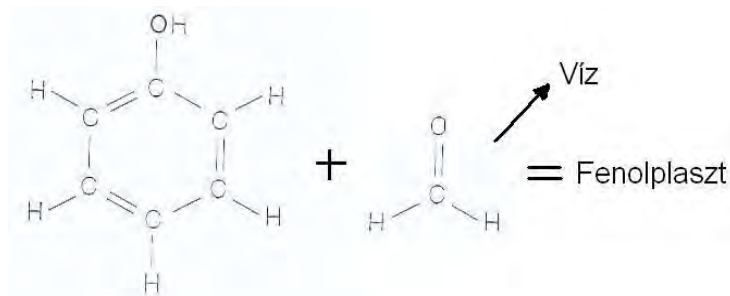
PVC-gyártás

Etiléngyártás kőolajszármazékokból vagy földgázból

Az etilén klórozásával vinilklorid előállítása

A vinilklorid polimerizálásával polivinilklorid gyártása

**Polikondenzáció:** melléktermék kilépésével járó kondenzációs reakciók lépésenkénti ismétlése során épül fel a makromolekula. A melléktermék általában víz, de ettől eltérő is lehet. (PA, PET, fenolplaszt)



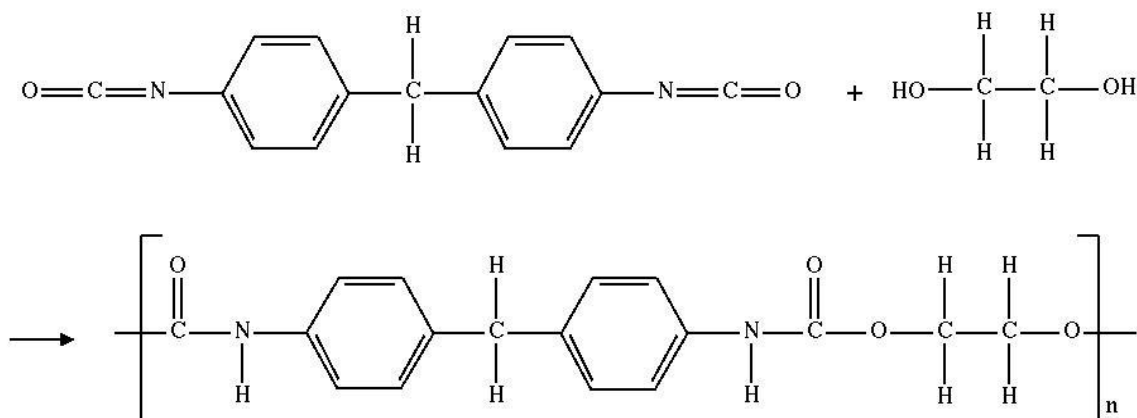
A fenol és a formaldehid polikondenzációs összekapcsolódásával keletkezik a fenolplaszt, víz melléktermék keletkezése mellett.

Polikondenzációs műanyag → különböző típusú monomerek kapcsolódnak össze polimerré, melléktermék (víz, ammónia) keletkezése során.

- a melléktermék képződés során az anyag zsugorodik, kopolimerek,
- polikondenzációs folyamat lassú,
- összekapcsolódása térhálós szerkezetű.



Poliaddíció: viszonylag kis sebességgel végbemenő, melléktermék keletkezése nélküli, lépcsős reakció.(PUR)



A poliuretán (PUR) melléktermék keletkezése nélküli polimerizációs reakcióval jön létre. Gumyszerű lágy változata és kemény elasztikus változata is ismert.

Poliaddíciós műanyag → a folyamat során az egyes atomok a többfajta monomer között átmennek az egyikről a másikra,

- nincs szénből álló gerincük,
- melléktermék nem keletkezik,
- a folyamat sebessége lassú,
- lakkok, gyanták, ragasztók anyaga készül az eljárással.

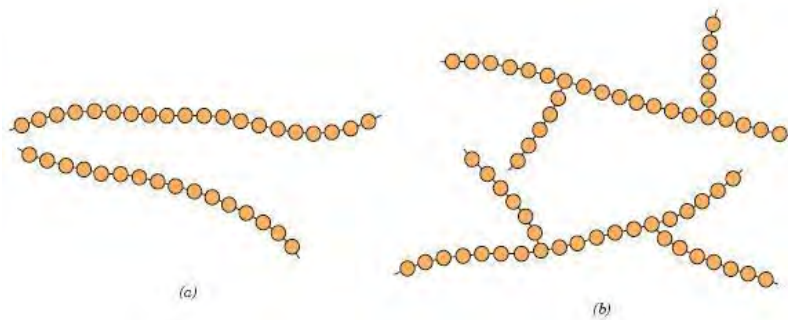
**Polimerek szerkezete:**

Polimerizáltság foka ( $n$ ) az adott polimert felépítő monomerek száma, mely a polimer molekulatömegének ( $M_n$ ) és a monomer molekulatömegének ( $m$ ) a hányadosa.

$$n = \frac{M_n}{m}$$

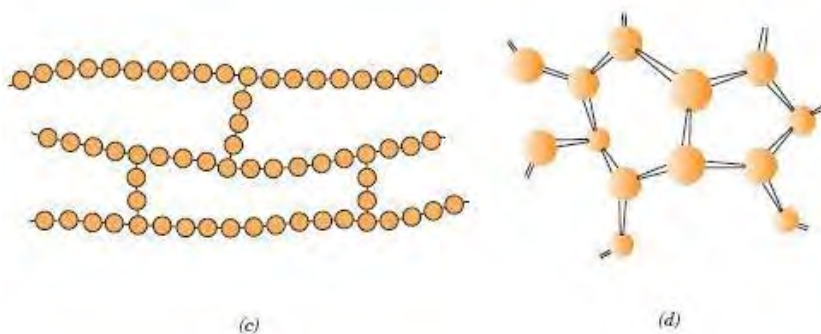
**Lineáris molekulaszerkezet:** a monomereket összekapcsoló kötések, van der Waals- vagy hidrogénhidkötés van, a polimerlánc vonalszerű (a. ábra). Ilyen szerkezetű polimerek pl. PE, PVC, PMMA stb.

**Hálós szerkezet:** (b. ábra)



**Részben térhálós:** (c. ábra) a lineáris láncokat egy hozzáadott atom vagy molekula kovalens kötéssel kapcsolja össze, irreverzibilis kémiai reakció során, melyet vulkanizációnak nevezünk.

**Térhálós:** háromdimenziós szerkezet, (d. ábra), epoxigyanták, fenol-formaldehid.



### Műanyagok szerkezete

A makromolekula alakja, nagysága, elhelyezkedése hatással van:

- kristályosodási hajlamra,
- sűrűségre,
- mechanikus és termikus tulajdonságokra,
- vegyi és elektromos tulajdonságokra,
- duzzadási és oldódási tulajdonságokra.

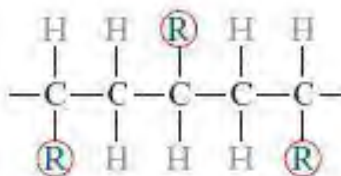
Másodlagos szerkezeti jellemzők szintén befolyásolják az anyag tulajdonságait, pl. láncmolekulák típusai:

- nyújtott láncmolekula (cellulóz)
- gombolyag láncmolekula (polisztirol)
- hajtogatott láncmolekula (polietilén)
- spirálmolekula (polipropilén)

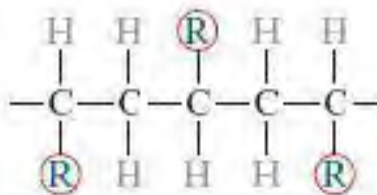
**Molekulaszerkezet:** a polimerláncot monomerek építik fel, a monomer gyöke (**R**) egy atom vagy egy molekula



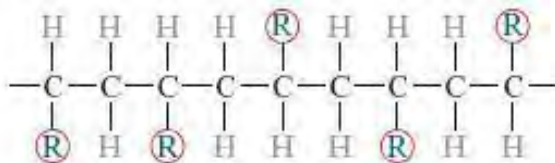
**Szindiotaktikus szerkezet:** **R** gyök szabályosan, egyik, majd másik oldalon helyezkedik el a szerkezetben



**Izotaktikus szerkezet:** az **R** gyök mindig azonos oldalon helyezkedik el a szerkezetben



**Ataktikus szerkezet:** **R** gyök véletlenszerűen, egyik, majd másik oldalon helyezkedik el a szerkezetben



**1. példa**

Határozza meg 200 g/mol PE polimerizáltságának fokát!

**Megoldás**

PE esetén  $C_2H_4$

C molekula tömege 12 g/mol

H molekulatömege 1 g/mol

A monomer molekulatömege:

$$m = 2 \cdot 12 + 4 \cdot 1 = 28 \text{ g/mol}$$

A polimerizáltság foka:

$$n = \frac{M_n}{m} = \frac{200000 \text{ g/mol}}{28 \text{ g/mol}} = 7142,857$$

## Műanyagok főbb fajtái

- **Hőre nem lágyuló műanyagok:**
- Fenolplasztok → törékeny, rideg anyag, jó szilárdsági tulajdonságokkal; csapágyak,
- perselyek, kapcsolók, fékbetétek, fogaskerekek stb. készítéséhez.
- Aminoplasztok → jó szilárdsági tul. faipari ragasztó, szigetelőhab stb.
- Poliészterek → polikondenzációs mű. vegyszer-, hő- és korrózióálló, üvegszállal
- erősítve is alk. → hajótestek, tartályok, karosszériaelemek,
- építőipar stb.
- Epoxigyanták → edzőanyag hozzáadásával térhálósítható, zsugorodnak,
- tapadóképességük jó → lemezalakító szerszámok, idomszerek,
- sablonok, hajótestek, karosszériaelemek stb.
- Szilikongyanták → jó hőállóság 300 °C-ig, villamosipar használja.

### Műanyagok főbb fajtái

Közönséges műanyagok: → tömegcikkek előállítása, csomagolótechnika pl. PVC, polisztirol, polietilén.

Általános műszaki műanyagok: → technikai, gépészeti felhasználás, jobb mechanikai-szilárdsági tulajdonságok, pl. polikarbonát, poliamid.

Nagy teljesítményű műszaki műanyagok: → speciális tulajdonságokkal, nagy hőállóság, szilárdság, igényes műszaki megoldásokhoz szükséges tulajdonságokkal rendelkeznek. pl. poliamid, poliészter.

- **Hőre lágyuló műanyagok**

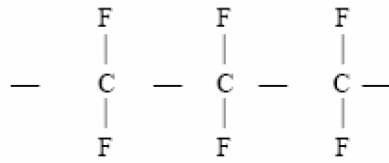
- Poliamidok
- (pl. danamid) → kopásálló, szívós, nagy hajlítószilárdság, kis súrlódás → önkendő csapágyak, fogaskerék, golyóskosár, korrózióálló bevonatokra.
- Poliuretán → kopásállóságuk igen jó, rugalmasak, jól tömítenek, habanyagként
- kiváló hő-, hang- és rezgésszigetelő.
- PVC → elektromos szig. tul. kiváló, vegyszerállóság szintén → csövek, lemezek,
- vegyszerálló bevonatok, csomagolófóliák, borítóanyagok,
- kábelszigetelés, műbőr, padlóburkoló stb.
- Polietilén → a mindennapi életünkben talán a legtöbbet a **polietilén** szerepel.
- Polipropilén → egészségügyi berendezések, kórházi felszerelések → jól sterilizálható.
- Poli(izo-butadién) → jó víz- és vegyszerállóság.
- Polikarbonátok → jó mechanikai tulajdonságok → fogaskerekek, csapágyak, gépalkatrészek stb.

A polietilén két fő típusát –a magas- és alacsony nyomású polietilént – az előállításuk technológiája szerint különböztetik meg. A magas nyomású polietilént több mint 200 MPa nyomás alatt és kb. 200 °C-on polimerizálják, az alacsony nyomásút –0,3–0,6 MPa és 80 °C között. Tulajdonságaik abban különböznek, hogy a magas nyomású polietilénben 55–70% a kristályos fázis aránya, míg az alacsony nyomású polietilénben 85–90%, ami meghatározza a mechanikai szilárdságukat is.

– vegyszerálló, elektromos tul. jók, alacsony a lágyulási ill.

olvadáspontja → csövek, csőcsatlakozások, korrózióálló bevonatok, csomagolóanyag, háztartási cikk, tekercsek-kábelek szigetelésére használják.

- Fluoroplasztok → fluorszerves anyagok, közülük legfontosabb a poli(tetrafluor-etilén) –
- teflon, melynek képlete:



- A teflon egy sor kiváló tulajdonsággal rendelkezik: vegyi ellenálló
- képessége jobb, mint a nemesfémeké, nem ég, nem nedvesedik,
- aránylag hőálló ( +250 °C-ig). Hátrányai közé tartozik, hogy
- aránylag lágy anyag, érzékeny a részecskesugárzásra → bevonat
- készítésre, súrlódó felületek anyagaként, korrózió elleni védelemre
- stb. használható.
- Cellulózészter → természetes alapú műanyagok, szívós szaruszerű jelleg, gyúlékony → burkolatok, díszítőelemek stb.
- Szilikonolajok és zsírok → kenőanyagként, hőközlő folyadékként és rezgéscsillapításra használják.



## **A műanyagok feldolgozása**

### **Hőre nem lágyuló műanyagok feldolgozása**

Sajtolás

Fröccssajtolás

Fröccsöntés

## Hőre lágyuló műanyagok feldolgozása

Fröccsöntés

Extrudálás

Kalanderezés

PVC-fólia-gyártás

Palackfűvés

## Nyírássebességek a különböző feldolgozási eljárásokban

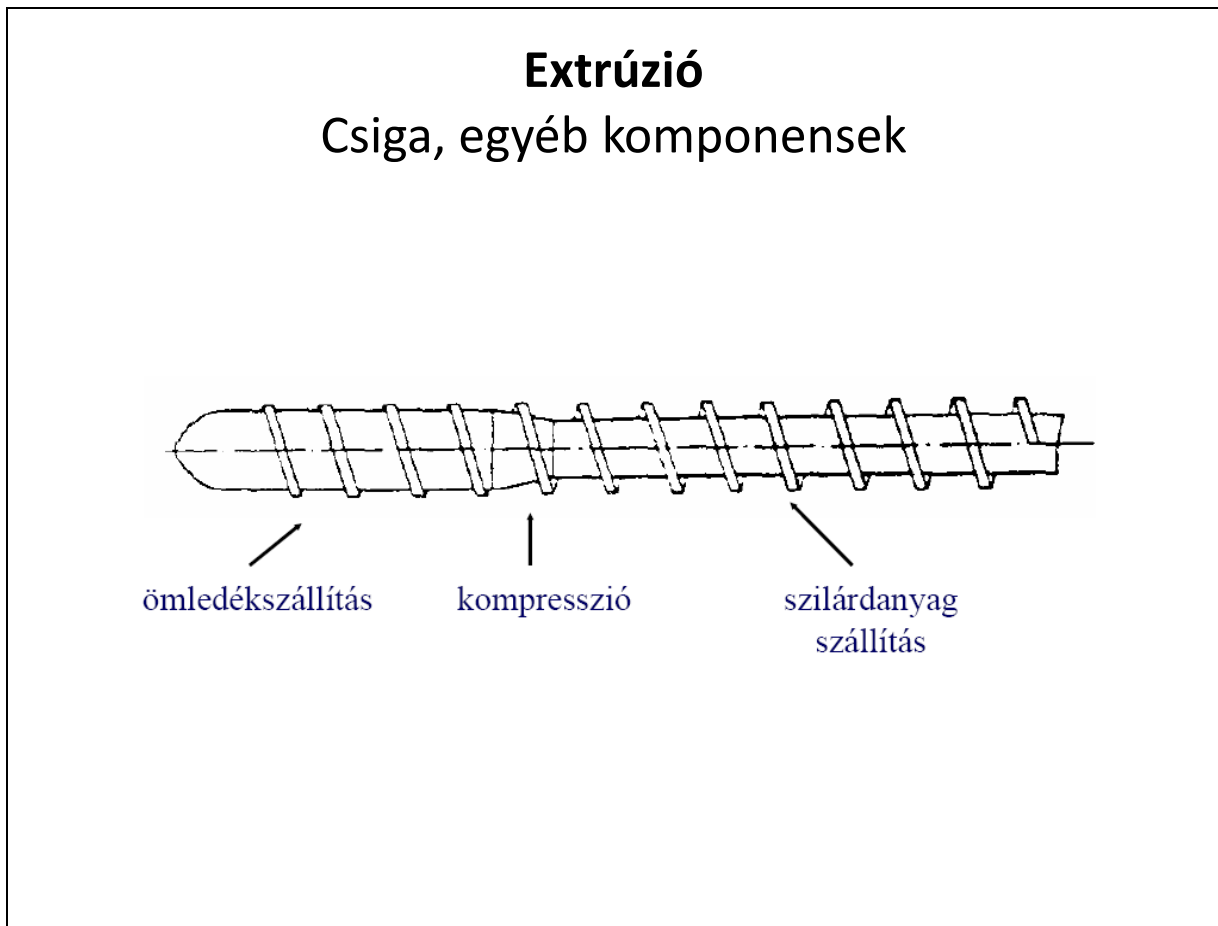
Feldolgozási technológia	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )
Prézelés	1 – 10
Kalanderezés	10 – 10 <sup>2</sup>
Extrúzió	10 – 10 <sup>3</sup>
Fröccsöntés	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>5</sup>

Műanyagok: **nagy termelékenység**, különleges tulajdonságok

Feldolgozás: nem egyensúlyi folyamatok és állapotok – **nyírás**

*Kalanderezés* alatt azt a polimerfeldolgozási műveletet értjük, amelynek során a hőre lágyuló polimerből két vagy több forgó henger között fóliát vagy lemezt állítunk elő, illetve valamilyen (többnyire textil) hordozóra polimerbevonatot készítünk.

A polimerekből készülő termékek közel 40%-a extrúziós eljárással készül. Az eljárás egyik lényeges tulajdonsága, hogy a termék 3 dimenziós kiterjedése az egyik dimenzióban végtelen, ami lehet cső, síklap, profilos hasáb, fólia stb.



Komponensek: törőtárcsa, szűrő; szerszám; kalibrálóegység; hűtés; lehúzó és követőberendezések  
Az *extrúzió* a polimerfeldolgozás egyik leghatékonyabb, legjelentősebb technológiája, amelynek során a (tipikusan hőre lágyuló) polimert az extruder

- *képlékeny* állapotba hozza, majd a viszkózus ömledéket
- *homogenizálja*, s ha kell, gáztalanítja, ezután
- *nyomás* alá helyezi (komprimálja),
- adott, változatlan keresztmetszetű, nyitott *szerszámon keresztülsajtolja*, a továbbiakban a – követőberendezésekkel
- méretállandóságot biztosítva *lehűti*, s így
- állandó keresztmetszetű polimerterméket gyárt tetszőleges hosszúságban, *folytonos üzemben*.

## Extrúzió

### Az extruderben lejátszódó folyamatok

#### Ömledék szállítás

- vivőáram

$$Q_v = K_1 N$$

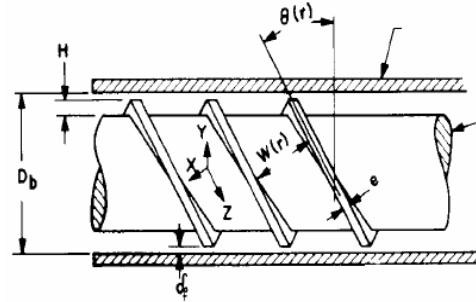
- torlóáram

$$Q_t = -K_2 \frac{\Delta P}{\eta}$$

- résáram

$$Q_r = -K_3 \frac{\Delta P}{\eta}$$

#### A csiga jellemző mérete



#### Szilárdanyag szállítás

$$Q_s = f\left(K, N, \frac{f_b}{f_s}\right)$$

## Extrúzió

### Szállítóteljesítmény, munkapont

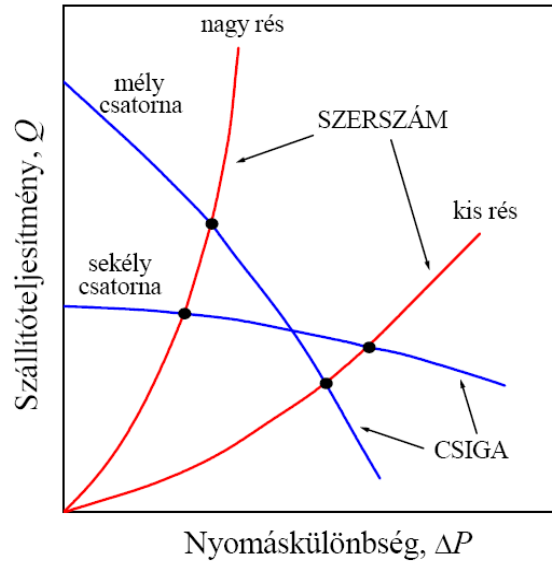
#### Szállítóteljesítmény

- extruder

$$Q_e = K_1 N - (K_2 + K_3) \frac{\Delta P}{\eta}$$

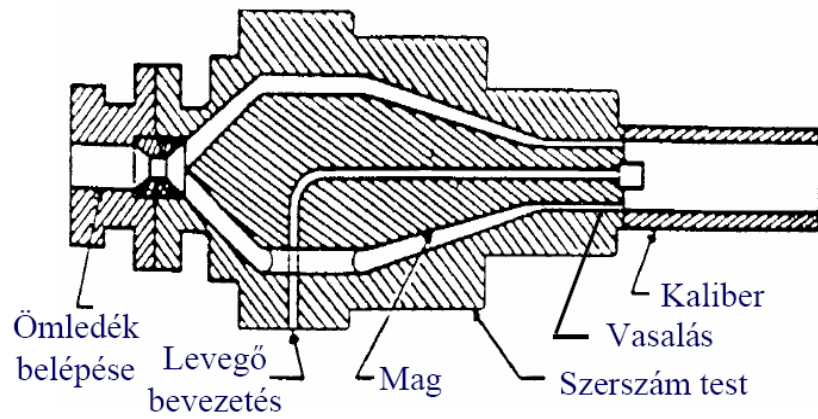
- szerszám

$$Q_{sz} = K_4 \frac{\Delta P}{\eta}$$



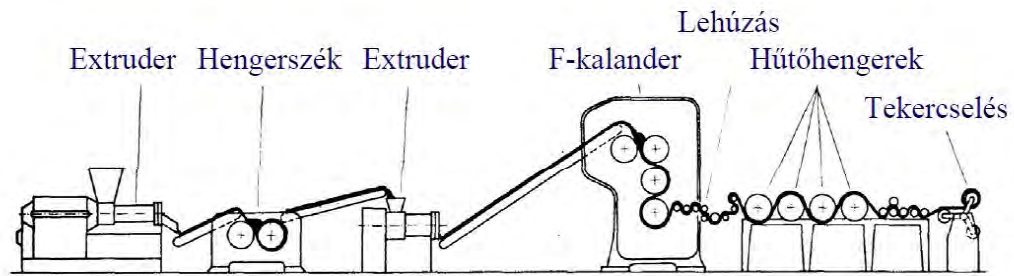
## Extrúzió

### Szerszám, termék



Termék: csövek, profilok; filmek, lemezek; kábelbevonatok;  
többrétegű fóliák; granulátumok

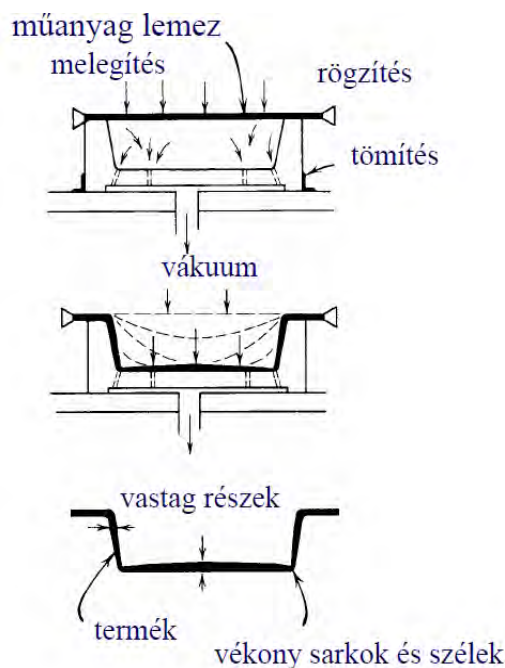
## Üreges testek kalanderezéssel



Fő lépések: a komponensek bemérése; előkeverés, homogenizálás; megömlesztés, zselizálás; az ömledék homogenizálása; a kalander táplálása; kalanderezés, alakadás; lehúzás, hűtés; prézelés, nyomtatás, kezelés; feltekerés, tárolás



## Üreges testek, termoformázás, egyéb műveletek

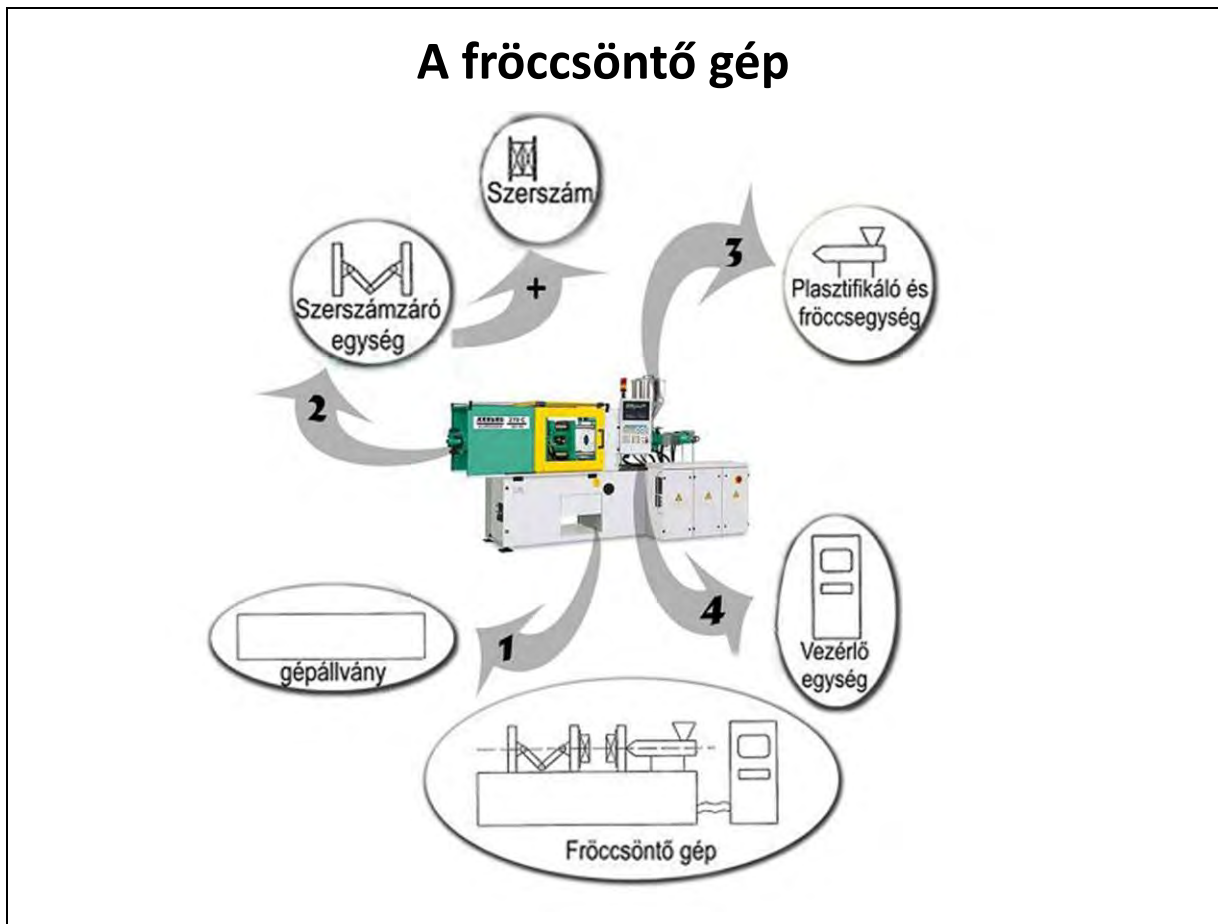


- Termoformázás
  - tejföls pohár
  - nagy termelékenység
- Hegesztés
  - direkt hegesztés
  - indirekt hegesztés
- Sajtolás, préselés
- Előkezelés, keverés
- Mechanikai megmunkálás

A fröccsöntési technológia kialakulása részben a fémek fröccsöntésének (nyomás alatti öntésének) analógiájára, részben a polimerek folyamatos alakcsiszolásához alkalmazott berendezéseken szerzett tapasztalatokra támaszkodott. A fejlesztés kezdetben csaknem kizárólag az ömlesztőkapacitás növelésére, az ömlesztés (plasztifikálás) folyamatának tökéletesítésére irányult. A fémek fröccsöntéséhez használt ömlesztőkamrát torpedóval látták el, így növelték a hőátadó felületeket, csökkentették az ömledékréteg vastagságát, ezáltal javították az ömledék homogenitását. Az így kialakított berendezések az ún. dugattyús fröccsöntő gépek voltak.

Az ömlesztőkapacitás növelésének elvileg is új módszere az előplasztifikálás volt, amelyet kezdetben dugattyús-torpedós előplasztifikáló hengerrel felszerelt, dugattyús fröccsgépeken alkalmaztak. A később kialakított csigás előplasztifikálás az extrúzió és a fröccsöntés előnyeit kapcsolta össze.

Mind a dugattyús, mind a csigás előplasztifikálás az ömlesztőtér kilépő nyílásának zárhatóvá tételét követelte meg, és a fröccsdugattyú hátrafelé történő mozgását szabályozhatóan biztosító torlónyomás megvalósítását szolgálta. Még mielőtt ezen nem egyszerű feladatokat tökéletesítették volna, megjelent a sokkal egyszerűbb és jobb csigadugattyús fröccsgép, mely óriási előnyt jelentett a plasztifikálás meggyorsítása és az ömledék homogenitásának fokozása terén. A továbbiakban a fröccsöntésen a csigadugattyús fröccsöntést értjük.



## A fröccsöntő gép

A fröccsöntéssel sokféle nagyságú, alakú és anyagú terméket lehet előállítani, amelyek optimális gyártáshoz különböző felépítésű, nagyságú, és a legkülönbözőbb kiegészítőegységekkel ellátott gépeket fejlesztettek ki.

A **gépállvány és hidraulikus rendszer** (– 1) feladata a többi egység rendszerbe foglalása, azok rezgésmentes kapcsolásának a megvalósítása.

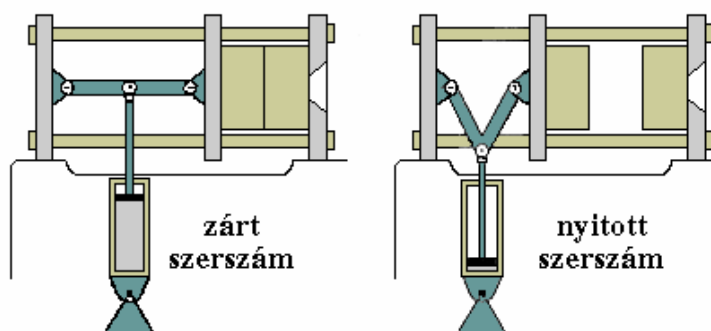
A **szerszámozó egység** (– 2) feladata – legegyszerűbb esetben – a gépvázon rögzített álló szerszámfélhez képest a mozgó szerszámfél megfelelő mozgatása, az osztósíokban történő nyitás-zárás. Amíg a befroccsöntés alatt a nagy fröccsnyomásból származó erőkkel szemben a szerszámot tökéletesen zárva kell tartani (a max. szerszámozó erő a fröccsgép egyik alapvető jellemzője), addig a termék adott hőmérsékletre történő lehűlése után a szerszámot nyitni kell, hogy a gyártmány eltávolítható legyen.

A **plasztifikáló- és fröccsegység** (– 3) a fröccsgép legfontosabb egysége, feladata az alapanyag tökéletes megömlesztése és a szerszámüregbe juttatása.

A **vezérlőegység** (– 4) feladata a fröccsgép teljes körű kontrollálása és a kapcsolattartás biztosítása az ember és a gép között.

A fröccsöntéshez szükség van alakadó szerszámra (– +) is, de azt nem sorolják a fő egységek közé, mivel az több gépen is felhasználható, illetve egy gép több szerszámmal is üzemelhet.

## KÖNYÖKEMELŐS SZERSZÁMZÁRÓ EGYSÉG VÁZLATA



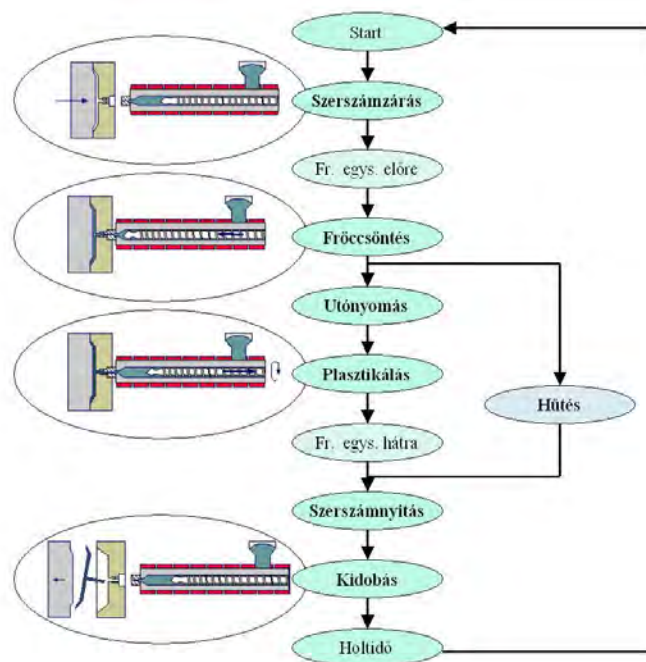
A szerszámzáró egység lehet (könyökemelő) mechanikus, vagy hidraulikus.

## A fröccsöntés folyamatának lépései

1. Az alapanyag eljuttatása az adagolótölcsérbe.
2. Az alapanyag szállítása, megömlesztése (*alakítható állapotban hozás*), homogenizálása
3. Az ömledék bejuttatása (befröccsöntése) a zárt szerszámba, nagy nyomással (*alakadás*).
4. Az ömledék lehűtése a hűtött (temperált) szerszámban (*alakraögzítés*).
5. A késztermék eltávolítása a szerszámból.

Fröccsöntéssel leginkább hőre lágyuló (termoplasztikus) műanyagokat dolgoznak fel késztermékké.

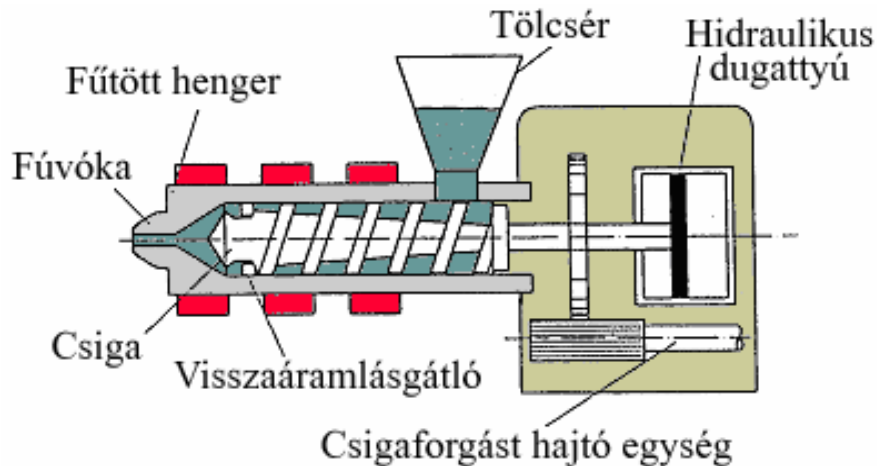
## A fröccsöntés elvi folyamatábrája



A szerszám, illetve fröccsegység zárása után, a megelőző ciklusban plasztifikált (ld. később) anyagot a csiga mint dugattyú, nagy nyomással bejuttatja a szerszámüregbe (**befröccsöntés**). Ezután az anyag a szerszámüregben kihűl és megdermed a hűtés hatására, miközben a következő ciklus számára előállítja a fröccsegység az ömledéket. A fröccshengerben forgó csiga szállítja előre az anyagot, amely a külső fűtés és a súrlódási hő hatására megolvad (**plasztifikálás**). Elegendő mennyiségű anyag megömlesztése után a csigaforgás megáll, majd a fröccsegység eltávolodik a szerszámtól, hogy megszűnjön a hőátadás a fűtött csigacsúc és a hűtött szerszám között. Miután a darab megdermedt, a szerszám kinyílik, és a késztermék eltávolítható (**kidobás**). A fröccsöntés folyamata ezután előlről kezdődik.

## A fröccsöntés részegységei

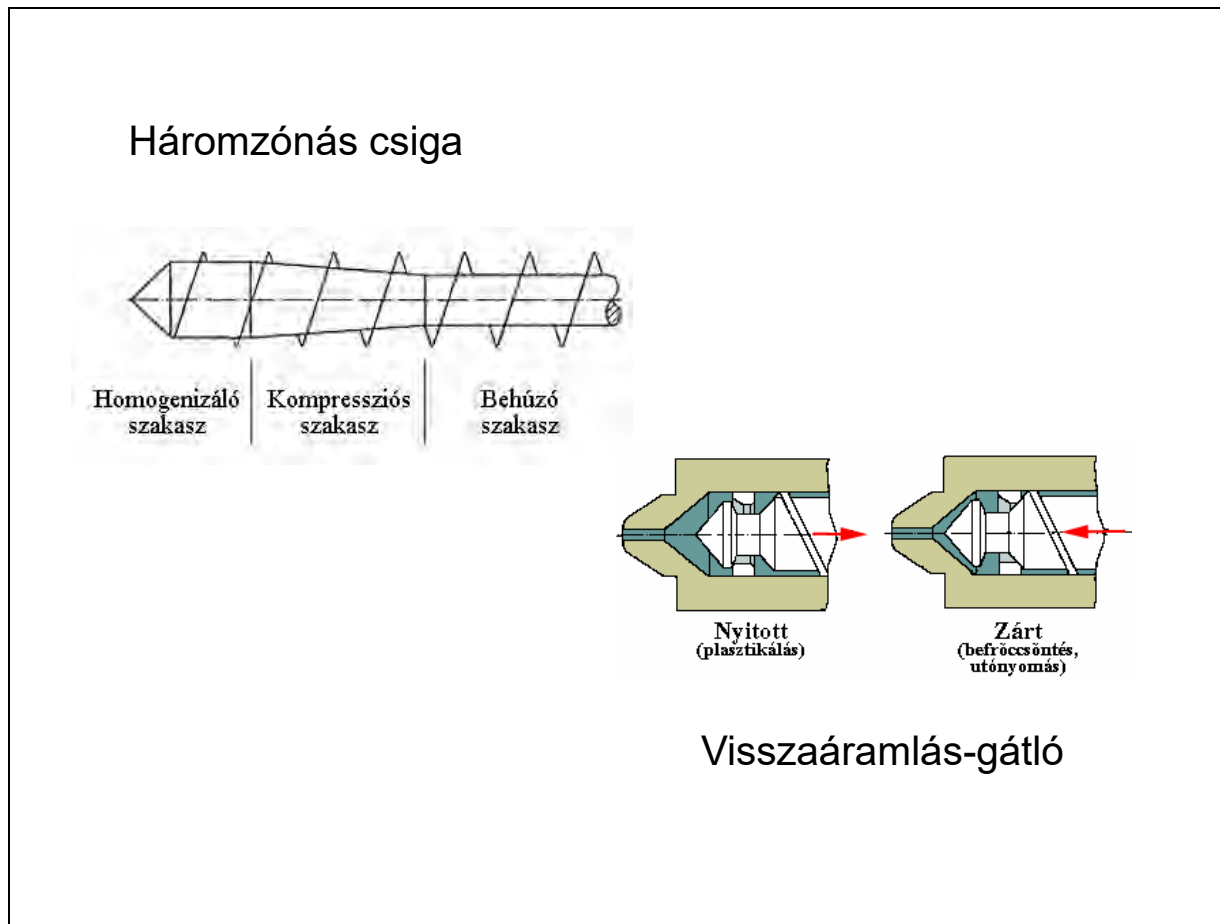
### PLASZTIFIKÁLÓ- ÉS FRÖCCSEGYSÉG



A plastifikáló- és fröccsegység a folyamat szempontjából a legfontosabb részegység, amelynek fő funkciói az alábbiak:

- Az alapanyag megömlesztése
- Az ömledék szállítása, homogenizálása
- Az ömledék tárolása
- Az ömledék befröccsöntése a szerszámba
- A szükséges utánnnyomás biztosítása

A **plastifikálási folyamat** lényege a következő: Az adagolótölcsérből a granulátum a gravitáció hatására a csiga etető- (behúzó) zónájába kerül. Az anyag szállítása a csigacsúcs (fúvóka) irányába a csiga forgatásának hatására történik, miközben az anyag a (szabályozhatóan) fűtött hengerfallal való érintkezés és a súrlódás hatására folyamatosan melegszik, végül megolvad. Az ömledék jó homogenitása (anyagban és hőmérsékletben) tehát a palástfűtéssel, valamint a csiga geometriájával illetve fordulatszámával szabályozható.



Mivel az ömledéket gyorsan és jól kell homogenizálni, az egyes technológiai folyamatoknak megfelelően a csigát geometriailag általában 3 szakaszra osztják. A csiga hátsó szakasza az etető-, vagy más néven behúzózóna, amely a szilárd granulátumot az etetőtölcsérből a fúvóka felé szállítja.

A csiga középső része az ömlesztő- vagy más néven kompressziós zóna, ahol az anyag megolvad, tömörödik és légtelenedik. A kitoló- vagy más néven homogenizáló zónában történik az ömledék homogenizálása. A csiga forgása következtében a fúvókához érkezett polimer ömledék nem kerül azonnal a szerszámba. Az anyag szerszámba juttatásának ugyanis nagy sebességgel kell történnie, hogy az ömledékállapotban töltsse ki a szerszámüreget. A plasztifikáló aggregát teljesítményét nem lehet (nem célszerű) úgy beállítani, hogy az a jó homogenizálás mellett a kívánt sebességgel bejuttassa az ömledéket a szerszámüregbe. A plasztifikálás és a befröccsöntés között tehát az ömledéket tárolni kell. Ebből kifolyólag a csigadugattyús fröccsgép csigája axiálisan elmozdítható. A fúvóka irányába történő anyagáramlás következtében az ömledék a csigacsúcs előtt gyűlik. Ekkor a csiga – miközben tovább forog – a csigacsúcs előtt ébredő **torlónyomás** hatására hátrafelé elmozdul (csigarövidülés). Egy meghatározott, előre beállítható visszafutás után a kívánt ömledékmennyiség a csigacsúcs előtt felgyülemlik. Ekkor a csiga forgása leáll, és ezzel együtt a további anyagszállítás megszűnik.

A csigaház (fröccshenger) szerszám felőli végét a fúvóka (dúzni) zárja le. Ezen a fúvókán keresztül jut majd az ömledék a szerszámba, de a fröccsöntési (befröccsöntési) fázison kívül máskor nem szabad anyagnak kikerülni innét. Ezért a fúvókának – legalább a plasztifikálási folyamat alatt – zárhatónak kell lennie (tűfúvóka).

A **befröccsöntés** – a plasztifikáló- és fröccsgység másik fontos feladata – a csigacsúcs előtt összegyűlt plasztifikált és homogenizált ömledék bejuttatása a zárt szerszámba. Ezt nagyon gyorsan kell végrehajtani, nehogy a hideg szerszámmal érintkező anyag még idő előtt megdermedjen. Mivel az ömledéknek viszonylag nagy a viszkozitása, a befröccsöntéshez nagy nyomás szükséges, ezért a csigának nagy sebességgel és nagy erővel kell előre

mozognia. Ezt az axiális mozgást a hidraulikus dugattyú biztosítja. Természetesen ezt a folyamatot is szabályozni kell, nehogy a szerszám, illetve az ömledék túlzott igénybevételnek legyen kitéve.

A kitöltési fázis alatt természetesen gondoskodni kell arról, nehogy visszafelé áramoljon az ömledék. Erre szolgál az ún. visszaáramlás-gátló, amely mindaddig megakadályozza az ömledék hátrafelé történő áramlását, ameddig a csigacsúcs előtt nagyobb a nyomás, mint mögötte.

A nagy sebességű befröccsöntést követően az ömledék a hideg (temperált) szerszámüregben lehűl, és eközben zsugorodik. Az ekkor fellépő térfogatcsökkenést további ömledékadagolással még pótolni kell. Ez az ún. **utónyomás** szakasza, amikor is a csiga még lassan előre mozog, további ömledéket juttat a szerszámba mindaddig, amíg – általában a legszűkebb keresztmetszetben – meg nem szilárdul az anyag (lepecsételődési pont). A csigacsúcs előtt tehát a teljes folyamat alatt egy ömledék puffernak kell lennie, és ezen a párnán keresztül adódik át a csigadugattyú nyomása.

Az utónyomás befejezése után a csiga forogni kezd, a torlónyomás hatására axiálisan hátrafelé elmozdul, így újra kezdődik a plasztifikálás.

A szerszámüregben megszilárdult ömledéket, amely most már a gyártmány, a szerszámból el kell távolítani.

A késztermék kellő merevségének elérése után a szerszám kinyílik, a gyártmány eltávolítható, majd egy adott várakozási idő után a szerszám zár, és kész az új ömledék befogadására. A nyitási és zárási sebességek a korszerű gépeken már szabályozhatóak.



## A fröccsöntés folyamata az állapothatározók függvényében

Állapothatározók:  $p$ ,  $v$ ,  $T$

- *polimerek fajlagos térfogata:*  $\left( v = \frac{1}{\rho} \right)$
- *Spencer és Gilmore egyenlete:*

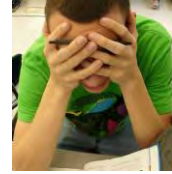
$$(p + a)(v - b) = \frac{RT}{M}$$

A polimerek fajlagos térfogatát  $v$  a külső (hidrosztatikus) nyomás ( $p$ ) és a hőmérséklet ( $T$ ) nagymértékben befolyásolja. A polimerek fajtérfogat-változása azonos nyomáson a hőmérséklet függvényében szilárd halmazállapotban is nagyobb mértékű, mint a többi szerkezeti anyag esetében: ez a magasabb hőtágulási együtthatóban is megnyilvánul.

*Spencer és Gilmore* írta le először (1950) hogy a polimerömladék állapothatározóit a termodinamikából ismert gáztörvényhez hasonló egyenletbe foglalhatjuk:

ahol  $p$  a hidrosztatikus nyomás,  $v$  a fajtérfogat,  $R$  az egyetemes gázállandó,  $T$  az abszolút hőmérséklet,  $M$  a polimerlánc *monomer egységének* móltömege,  $a$  (a „kohéziós nyomás”), az anyagra jellemző nyomáskorrekciós állandó és  $b$  a makromolekula *saját térfogatát* figyelembe vevő korrekciós állandó.

## Kérdések és feladatok



- 1) Mit nevezünk polimernek?
- 2) Sorolja fel a polimerizációs eljárásokat!
- 3) Mit nevezünk polimerizációnak, illetve polimerizációs láncreakciónak, milyen polimereket gyártunk polimerizációval?
- 4) Mit nevezünk polikondenzációnak, milyen polimereket gyártunk polimerizációval?
- 5) Mit nevezünk poliaddíciónak, milyen polimereket gyártunk poliaddícióval?
- 6) Mit jelent a polimerizáltság foka, hogyan határozható meg?

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol – magyar kifejezések

Magyar	Angol
fröccsöntés	injection molding
fröccsegység	barrel
beömlőcsatorna	sprue
elosztócsatorna	runner
csigadugattyú	reciprocating screw
fröccsnyomás	injection pressure
utónyomás	holding/packing pressure
szerszám	mold
hűtés	cooling
zsugorodás	shrinkage
vetemedés	warpage
összecsapási vonal	weld line
záróerő	clamping force
szerszámzáró egység	clamping unit

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol – magyar kifejezések,

csiga	screw
deformáció komponens	deformation component
extrúzió	extrusion
fólia	foil
gerjesztés	stimulus
késleltetett rugalmas deformáció	viscoelastic deformation
kúszás	creeping
maradó deformáció	viscous deformation
ömlédékáram	melt flow
pillanatnyi rugalmas deformáció	elastic deformation
rugalmassági modulus	elastic modulus
válaszfüggvény	model response
viszkozitási tényező	coefficient of viscosity

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Czvikovszki T.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2005.
- [2] W. D. Callister: Materials Science and Engineering, John Wiley and Sons, Inc. Danvers, 2003.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok II. Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003.
- [4] Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2004.
- [5] D. R. Askeland: The science and engineering of materials, Nelson, Noida, 2006.
- [6] <http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/muanyag/Mua-8Eloadas.pdf>
- [7] [http://www.pt.bme.hu/segedletek/a2\\_froccsontes\\_v01.pdf](http://www.pt.bme.hu/segedletek/a2_froccsontes_v01.pdf)



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 15. A fémes szerkezeti anyagok korróziója

Szerző: Dobránszky János  
dobi@eik.bme.hu

## Tartalom

A szerkezeti anyagok károsodásának típusai .....	497
A korrózió gazdasági kihatásai .....	499
Korróziós jelenségek osztályozása .....	500
A korróziós folyamatok csoportosítása .....	502
A korrózió mint felületi jelenség .....	503
A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai .....	504
A korrózió sebessége .....	509
A fémek passzíválódása .....	514
A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők.....	516
A korrózió különböző megjelenési formái.....	519
További korróziós ismeretek .....	531

## A fejezet tananyagának szerkezete

Az itt következő tananyagrészt szerkezete sajátos felépítést követ. A diára gyakran csak az adott fogalomkör szövege van felírva. A nagyszámú illusztráció és magyarázó ábra pedig az egyes diákon hivatkozott és az Anyagtudomány tananyaghoz tartozó példatárban tekinthető meg:

peldatar\_anyagtudomany\_elemi-pelda-1\_korrozios-tananyag-abrai.pdf

A fejezet szerzője bízik benne, hogy a tisztelt olvasó így alaposabb szakmai ismeretekhez juthat.

Az Anyagtudomány tananyaghoz tartozó példatár: peldatar\_anyagtudomany\_elemi-pelda-1\_korrozios-tananyag-abrai.pdf példája letölthető:

A <http://minosegoktatas.hu/peldatar/> honlapon:

[http://minosegoktatas.hu/peldatar/index2.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=dd\\_download&fid=205&format=html&Itemid=154](http://minosegoktatas.hu/peldatar/index2.php?option=com_sobi2&sobi2Task=dd_download&fid=205&format=html&Itemid=154)



## **Bevezetés**

### **A szerkezeti anyagok károsodásának típusai**

A gépészeti szerkezeti anyagok – vagyis azok a fémek és ötvözetek, polimer anyagok, kerámiák, valamint társított anyagok (kompozitok), amelyeket elsősorban gépipari berendezések anyagaként alkalmaznak – biztonságos és tartós üzemelését a rájuk ható igénybevételek jelentősen befolyásolják. Az igénybevételek fajtái – mechanikai, termikus, környezeti és ezek együttes hatása – károsodási folyamatokat indítanak el a szerkezet vagy annak egyes alkatrészei felületén vagy/és belsejében, amely károsító hatásokkal szemben az alkatrész tartóssága meghatározó módon függ az anyag ellenálló képességétől. A szerkezeti anyagoknak a különféle károsító hatásokkal szembeni ellenállását anyagtulajdonságoknak tekintjük.

## **Bevezetés**

### **A szerkezeti anyagok károsodásának típusai**

Természetesen az ellenálló képesség jellegű anyagtulajdonságok száma szinte vég nélkül sorolható, de legfontosabbaknak a következőket tekintjük:

- a ridegtöréssel szembeni ellenállás,
- a kifáradással szembeni ellenállás,
- a kúszással szembeni ellenállás,
- a koptatóhatásokkal szembeni ellenállás,
- a korróziós hatásokkal szembeni ellenállás.

## **Bevezetés**

### **A szerkezeti anyagok károsodásának típusai**

A felsorolt károsodástípusok tárgyalása sokféle összefüggésben végezhető a szerint, hogy milyen tematikájú szakmai ismeretanyaggal van dolgunk. A töréssel, kúszással kapcsolatos ismeretanyag a tankönyv 8. fejezetében olvasható. A jelen fejezet a korróziós károsodással kapcsolatos ismeretanyag alapjait mutatja be, mégpedig csak a fémes szerkezeti anyagok vonatkozásában. A kopási károsodással a 16. fejezet foglalkozik. Az üzemelő berendezések, építmények, szerkezetek anyagai gyakran kerülnek érintkezésbe agresszív hatású közegekkel, környezetekkel; ezek a közegek többnyire folyadék- vagy gázfázisúak, esetenként szilárd vagy vegyes fázisúak. A szerkezeti anyag és a környezet határfelülete egy sajátos fizikai és kémiai rendszer, amely termodinamikailag stabilabb állapotba igyekezik kerülni; ennek eredménye a korrózió jelensége. A korrózió a felület és a környezet közötti kölcsönhatási folyamat, amely az anyag károsodásával jár.

## Bevezetés

### A korrózió gazdasági kihatásai

A korrózió gazdasági kihatásai hatalmasak: világszerte egész ipari ágazatok „köszönhetik létüket” annak, hogy a korrózió folyamatosan károsítja a szerkezeti anyagokat. A korróziót tárgyaló szakkönyvek gyakran vállalkoznak is a korróziós károk számszerűsítésére. Hivatkoznak különféle becslésekre, pl.

- a fejlett országok nemzeti jövedelmének 4%-át tették ki 1995-ben a korróziós károk,
- 1978-ban a National Bureau of Standards a nemzeti jövedelem 4,2%-ára (70 Mrd USD) becsülte az USA-ban, 1975-ben keletkezett a korróziós károk nagyságát,
- a korróziós károk évente Magyarországon meghaladják a 200 milliárd forintot,
- idézik egy állítólagos, 1937-es brüsszeli korróziós kiállítás egyik feliratát: „*while you read this, 760 kg iron has been corroded*” (vagyis: mialatt ezt a szöveget elolvassa, 760 kg vas korrodálódik).

## **Bevezetés**

### **Korróziós jelenségek osztályozása**

Az ilyen drámai hangvételű kijelentéseket azonban soha nem követi annak a megemlítése, hogy ennek a „rettenetes” károkozásnak a másik serpenyőjében olyan óriási iparágak jövedelemtermelő és munkahelyteremtő tevékenysége áll, mint pl. a festékipar.

A korrózió egyaránt érinti a fémes anyagokat (pl. az acélok, alumíniumötvözetek), a polimereket (pl. a PVC, a poliamid, a fa) és a kerámiákat (pl. az alumínium-oxid, a szilícium-oxid, az üvegek). Ebben a fejezetben csak a fémes anyagok korróziójával foglalkozunk.

## **Bevezetés**

### **Korróziós jelenségek osztályozása**

A korróziós jelenségek osztályozhatók különféle szempontok alapján, például:

- az eredetük szerint: endogén, illetve exogén (belső, az anyagban magában leledző, illetve külső, a környezeti feltételekből eredő),
- kiterjedése, megjelenési formája, fajtája szerint: általános, illetve helyi korrózió,
- a közeg halmazállapota, fajtája szerint: légköri, tengervízi vagy talajkorrózió,
- a közeg különlegessége szerint: nagy hőmérsékletű, nukleáris korrózió
- a reakciók lefolyási módja, mechanizmusa szerint: kémiai, illetve elektrokémiai korrózió,
- a korróziót elszenvedő anyag fajtája szerint beszélhetünk a kerámiák, a beton, a polimerek, köztük a fa, a fémek stb. korróziójáról.

## Bevezetés

### A korróziós folyamatok csoportosítása

Peldatar-korrozio-pelda-1

Peldatar-korrozio-pelda-2

A korróziós folyamatokat tehát két nagy csoportba soroljuk aszerint, hogy a fémes anyag és a környezete között milyen kölcsönhatás megy végbe; eszerint a korrózió két fajtája:

- A *kémiai korrózió*, másként *szárazkorrózió*, amely általában nagy hőmérsékleten, oxidáló atmoszférában megy végbe (Példatár, kor-1). A kémiai reakciókban az ionok mozgásának nincs szerepük, az elektronok csak a molekulák nagyságrendjében mozognak. Ennek az igénybevételnek való megfelelés a hőállóság.
- Az *elektrokémiai korrózió*, másként *nedveskorrózió*, amelynek jellegzetes példái az acélszerkezetek, a gépkocsik hétköznapi életből jól ismert rozsdásodása vagy például a tengervízben lejátszódó korrózió (Példatár, kor-2). Az elektrokémiai folyamatokban az oxidáció (elektronleadás) és a redukció (elektronfelvétel) térben és időben elkülönül. A töltéshordozó ionok mozgását az elektrolit, az elektronokét a fémes anyag vagy az elektrolit biztosítja. Ennek az igénybevételnek való megfelelés a korrózióállóság.
- A kétféle korróziós mechanizmus nem mindenkor választható el teljesen.

## **Bevezetés**

### **A korrózió mint felületi jelenség**

A korrózió minden esetben egy felületi, pontosabban határfelületi probléma: a fém és a vele érintkező közeg, illetve környezet kölcsönhatásának eredménye. A korrózió mint probléma megoldásának lényege: a korrózióállóság biztosítása a szerkezeti anyag oldaláról és a korrózió elleni védelem a tervező, a gyártó és az üzemeltető szakemberek részéről. Az anyag–környezet korróziós kölcsönhatásban számos tényező játszik közre, amelyek segíthetik vagy gátolhatják a korróziós folyamatokat; ezt nevezzük korróziós feltételrendszernek.

Az alapvető korróziós feltétel a fémfelület és a korróziós közeg találkozása, amelynek fennállása esetén a lehetséges „fejlemények” a következők az anyag oldaláról nézve:

- a fém korróziója,
- a fém immunitása (immunis állapot),
- a fém passzivitása (passzív állapot),
- lerakódásképződés a fémfelületen.

Az itt említett „fejlemények” magyarázatához tisztázni kell a legfontosabb termodinamikai és elektrokémiai alapokat. Az itt bemutatott ismeretanyaghoz nagyszámú kép, illusztráció kapcsolódik, amelyeket a példatár vonatkozó fejezetében mutatunk be, ezért e tankönyv és a példatár együttes használatát javasoljuk.

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### Az egyensúlyi elektródpotenciál

Peldatar-korrozio-pelda-3, Peldatar-korrozio-pelda-4, Peldatar-korrozio-pelda-5

Az elektrokémiai korróziót azért is nevezik gyakran nedveskorróziónak (egyres idegen nyelvekben „vizes” korróziónak), mert a korróziós folyamat beindulásához elengedhetetlenül szükség van a fémes anyag felületén egy folyadékfázisú rétegre, az elektrolitra, amelyben a korróziós közeg és a fém ionjai, illetve elektronjai mozogni tudnak. Az elektrokémiai („nedves-”) korrózió alapfolyamata a két fázis – a fém és a folyadék – közötti villamostöltés-csere.

Egy anyag villamos potenciálja az a munka, amellyel a villamos térben egy egységnyi pozitív töltést a végtelenből az adott anyaghoz lehet mozgatni. Az elektropozitív anyag potenciálja pozitív, az elektronegatív anyagé negatív és a semleges anyagé nulla. A villamos áram a nagyobb potenciálú hely felől a kisebb potenciálú hely felé folyik. A villamos áram folyásának iránya tehát ellentétes az elektronok haladásának irányával.



## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### Az egyensúlyi elektródpotenciál

A két fázis határfelületén zajló korróziós folyamatokban a folyadékfázis az elektrolit, a másik (általában fémes) fázis pedig az ún. elektród. A fogalmat kiterjesztve, a fém–oldat együttesét is elektródnak nevezik (lásd: Peldatar-korrozio-pelda-3 és Peldatar-korrozio-pelda-4).

A saját sójának oldatába merülő fémek – pl. a  $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$ , illetve a  $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}$  – alkotta elektrokémiai rendszerben, spontán módon alakul ki potenciálkülönbség az elektrokémiai cellában a fém és az oldat között, amelynek neve: egyensúlyi elektródpotenciál. Ez az adott rendszerre jellemző elektrokémiai állandó (lásd. Peldatar-korrozio-pelda-5).

Az elektródpotenciál értéke a Nernst-egyenlet szerint függ az ionoknak az elektrolitbeli mozgékonyaságától, a hőmérséklettől és a rendszer anyagától; ez utóbbit az általában  $E^0$ -lal jelölt standard elektródpotenciál fejezi ki. A standard elektródpotenciálokat néhány rendszerre a Peldatar-korrozio-pelda-5 tartalmazza.

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### A két elektród között lezajló galvánreakciók alapjai

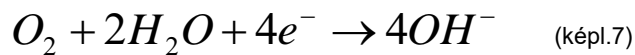
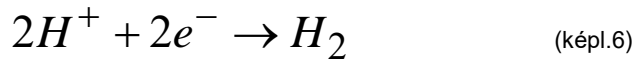
#### Peldatar-korrozio-pelda-6

Ha az elektrolitban ionok áramolhatnak két különböző anyagú elektród között, akkor az elektropozitívabb elektródon pozitív, a másikon pedig negatív polaritás alakul ki. Az ilyen, két különböző elektródpotenciálú elektród elektrolitikus csatolásával kialakuló kapcsolatot galvánpárnak nevezünk (Peldatar-korrozio-pelda-6). A két elektród között potenciálkülönbség mérhető, és ez a jelenség lesz az alapja a galvánelemek működésének is.

A két elektródot egy ohmikus ellenálláson keresztül összekapcsolva, közöttük elektronáramlás indul meg a negatívabb elektród felől a pozitívabb felé, amely ezzel ellentétesen folyó villamos áramnak felel meg. Az elektronleadást oxidációként, az elektronfelvételt pedig redukcióként definiálva látható, hogy az oxidációs részfolyamat (az elektronegatívabb fém elektronleadása) helyét anódnak, a redukciós részfolyamat (az elektropozitívabb fém elektronfelvétele) helyét katódnak nevezünk. Az anódos részfolyamatban az anód anyaga fémionok formájában folyamatosan oldatba megy, s ez az anódos oxidáció voltaképpen a korróziós folyamat. A standard elektródpotenciálok összehasonlítása megmutatja a várható elektrokémiai folyamat irányát: az elektronegatívabb fém fog feloldódni, korrodálódni, vagyis elektrokémiai értelemben oxidálódni.

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### *A korrózió termodinamikai feltétele*



$$E_R > E_M \quad (\text{képl.8})$$

A helyi galvánreakció beindulásával az elektronleadó fém a helyi galvancella – másként: helyi elem – anódjaként feloldódik az elektrolitban fémionokat képezve, a redukálódó másik fém ionjai pedig lerakódnak a katód felületére. Az elektronok a fémekben jutnak az egyik fémből a másikba az érintkezési pontokon keresztül. Az ily módon kialakuló helyi elemekben az anódosan oldódó fém fogy; ha ez egy tartály vagy cső, akkor a fala ki is lyukadhat.

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### *A korrózió termodinamikai feltétele*

Elhanyagolva az elektrolit ohmikus ellenállását, az anódos zóna (korróziós hely) és a katódos zóna (redukciós hely) között a korróziós potenciált ( $E_k$ ) kapjuk. Egy korróziós folyamatban, a kialakuló helyi elemekben lezajló folyamatok irreverzibilisek, nem írhatók le pontosan az egyensúlyi termodinamika törvényeivel. A valóságban gyakori, hogy egymástól teljesen elkülönülő anódos és katódos övezetek alakulnak ki, és a korrózió ennek a következménye. A helyi mikro-, illetve makroelemek kialakulhatnak a legkülönbözőbb inhomogenitások következtében is, pl.:

- ha koncentrációbeli inhomogenitás jön létre az elektrolitban,
- ha felületi zárványok, dúsulások vannak jelen a fém felületén,
- ha a többfázisú anyag fázisai között alakul ki galvanikus csatolás,
- ha a maradó feszültségek eltérései jelentősek stb.

A helyi elemek kialakulásának elméletével jól magyarázható minden olyan korróziós folyamat, amelyben a heterogenitások tetten érhetők. Ugyanakkor nem magyarázható ezzel az elmélettel a homogén, egyfázisú fémek korróziója, márpedig az ilyen anyagok korróziós károsodása széles körben ismert, mindennapos jelenség.

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### *A korrózió termodinamikai feltétele*

A heterogénkorróziós elméletet általánosítva azt mondhatjuk: annak, hogy egy fém korrodáljon (elektront adjon le), a szükséges feltétele az, hogy legyen egy elektronfelvevő rendszer, amely elektroncserére képes a szóban forgó fémmel. Ezek az elektronfelvevő rendszerek általában az elektrolitban vannak, mégpedig leginkább a vizes oldatokban, melyek között a két legfontosabb elektronfelvevő rendszer:

- a protonok redukciója (képl.6),
- és a vízben oldott oxigén redukciója (képl.7).

A korrózióknak ez a típusa nem igényli az elkülönült anódos és katódos övezeteket, azaz helyi elemek állandó meglétét. Az anódos és katódos övezetek ugyan léteznek, de a felületen és az időben véletlenszerűen oszlanak el, s így homogén (egyenletes) korrózióra vezetnek.

Az elektroncseréről mondottak alapján a korrózió bekövetkezéséhez az szükséges, hogy az elektronfelvevő rendszer  $E_r$  redukciós egyensúlyi elektródpotenciálja nagyobb legyen, mint az elektronleadó (korrodálódó) M fém  $E_M$  egyensúlyi elektródpotenciálja, vagyis:

$$E_r > E_m \quad (\text{képl.8})$$

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### *A közeg pH-jának szerepe a fémek korróziójában*

Peldatar-korrozio-pelda-7, Peldatar-korrozio-pelda-8

Peldatar-korrozio-pelda-9, Peldatar-korrozio-pelda-10

Az  $E_r > E_m$  korróziós feltételt erősen befolyásolják külső tényezők: az elektrolit szerepét betöltő folyadék pH-ja, a komplex ionok vagy a mikroorganizmusok jelenléte a közegben stb. A közeg pH-jának szerepe különösen jelentős, szerepe kettős:

- befolyásolja az elektronfelvételi reakciót,
- befolyásolja az elektronleadási reakciót.

A pH szerepét jól szemléltetik az egyes anyagokra az ún. Pourbaix-diagramok, amelyek az elektrokémiai potenciál ( $E$ ) és a pH hatását szemléltetik grafikusán az állandó hőmérsékleten kialakuló egyensúlyi elektródfolyamatokra. A Pourbaix-diagramok az 1960-as évek közepén készültek a korróziós folyamatokban kitüntetett figyelmet érdemlő fémekre és a vízre (Peldatar-korrozio-pelda-7-8-9).

## A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjai

### *A közeg pH-jának szerepe a fémek korróziójában*

A vas vizes közegben képződő leggyakoribb korróziótermékei a következők:

- goethit;  $\alpha$ -FeO(OH)
- akaganéit;  $\beta$ -FeO(OH)
- lepidokrokit;  $\gamma$ -FeO(OH)
- feroxihit;  $\delta$ -FeO(OH)
- ferrihidrit; FeO(OH) • 0,4 H<sub>2</sub>O
- hematit;  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- maghemit;  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- limonit (ferrohidrit); FeO(OH) • n H<sub>2</sub>O
- magnetit; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>
- ferro-hidroxid; Fe(OH)<sub>2</sub>
- ferri-hidroxid, bernalit; Fe(OH)<sub>3</sub>.

Mindazokra a szerkezeti anyagokra, amelyek korróziója a vizes rendszerekben vagy más korróziós közegekben gyakorlati fontossággal bír, meghatározták a Pourbaix-diagramokat; ezek közül mutat néhányat a (Peldatar-korrozio-pelda-10).

## A korrózió sebessége

Peldatar-korrozio-pelda-11

A valós körülmények között zajló korróziós folyamatokban egy acélból készült fémszerkezetet úgy is tekinthetünk, mint egy rövidzárlati állapotban lévő galváncellát. Egyszerűsítve a valóságban gyakran változó feltételeket, ebben a korróziós rendszerben egyetlen oxidációs és egyetlen redukciós elektródfolyamat zajlik, és a rövidzárlat miatt az anódból és a katódból álló cella eredő feszültsége nullához tart.

Addig, ameddig nincs a cellában áramvezetés, az egyensúlyi potenciál jellemzi az elektródokat; az áramvezetés megindulásakor azonban ez az érték megváltozik. Ezt a jelenséget nevezzük polarizációnak. Ennek a jelenségnek a fordítottja is igaz: az elektródok egyensúlyi potenciáljának megváltoztatása hatására az elektródokon keresztül áram fog folyni. Ennek az áramnak és az elektródpotenciálnak a kapcsolatát mutatja meg az Evans-diagram (Peldatar-korrozio-pelda-11).

## A korrózió sebessége

Állandó sebességűnek tekinthető, egyenletes korróziós viszonyok között – pl. egy folyamatosan vizet szállító csővezeték ilyennek tekinthető – megbecsülhető az anódos és a katódos övezet közötti korróziós potenciál és az átfolyó pillanatnyi korróziós áram (Stern–Geary-módszer), amelynek ismeretében számítható a korrózió sebessége ( $v_{\text{korr}}$ ):

- az időegységre és felületegységre jutó átlagos tömegveszteség vagy
- az időegységre eső falvastagság-csökkenés formájában.  $10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup> korróziós áramsűrűség mellett az acél Fe<sup>2+</sup>-ionok képződésével járó egyenletes korróziója megfeleltethető 10 mg/(cm<sup>2</sup>·év) korróziósebességnek, amely falvastagság-csökkenésben kifejezve kb. 0,1 mm/év.

## A korrózió sebessége

A fémes szerkezeti anyagokat az egyenletes korróziót okozó közegek okozta általános korrózió szempontjából csoportokba soroljuk az átlagos korróziósebesség értéke alapján. A csoportosítás többféleképpen történhet. Az európai szakirodalomban a csoportosítás korróziósebességi határokat és minősítéseket alkalmaz, továbbá külön is jelzi a helyikorróziós veszélyek (pl. lyukkorrózió) fennállását az alábbiak szerint:

- „0” →  $v_{\text{korr}} < 0,1$  mm/év: az anyag korrózióálló.
- „1” →  $0,1$  mm/év  $< v_{\text{korr}} < 1,0$  mm/év: az anyag nem korrózióálló, de adott feltételek esetén alkalmazható a közegben.
- „2” →  $v_{\text{korr}} > 1,0$  mm/év : az anyag jelentősen korrodálódik, nem alkalmazható.
- „p” → Lyukkorrózióra kell számítani.
- „c” → Réskorrózióra kell számítani.
- „s” → Feszültségi korrózióra kell számítani.
- „ig” → Szemcsehatármenti korrózióra kell számítani.

A korróziósebesség mindenkor egy bizonyos korróziós hatású anyagra vonatkozik, és jelentősen függ ennek az anyagnak a töménységétől a korróziós környezetben, valamint a közeg hőmérsékletétől. Ez utóbbi tényező általában a szobahőmérséklettől a folyadék forráspontjáig terjed. A korróziós táblázatok e paramétereit is figyelembe veszik a korróziósebesség megadásakor. A kor-2. táblázat mutat erre példát:

## A korrózió sebessége

Koncentráció (%)	1	1	5	5	5	10	10	25	25	25	25	25	50	50	50	50	70
Hőmérséklet (°C)	20	FP	20–50	85–FP	140	20–40	85–FP	20	40	85	100	FP	20	40	100	FP	FP
Szénacél	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
X12Cr13	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
X2CrMoTi18-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X5CrNi18-10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	2	0	0	2	2	2
X5CrNiMo17-12-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Titán	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

Kor-2. táblázat: A citromsav korróziós táblázata (FP = forráspon)

## A korrózió sebessége

Esetenként a korróziósebességi határokat más értékeknél rögzítik. A környezeti hőmérsékleten a friss vizek (minden, ami nem tengervíz és nem szennyvíz) okozta korrózióval szembeni ellenállás minősítésére, pl. egy hármas csoportosítás alkalmazható:

- $v_{\text{korr}} < 0,125$  mm/év a korróziós ellenállás „jó”.
- $0,125 \text{ mm/év} < v_{\text{korr}} < 1,125$  mm/év a korróziós ellenállás „közepes” (pl. ötvözetlen acélból készült vízszállító csővezetékek, tartályok).
- $v_{\text{korr}} > 1,125$  mm/év a korróziós ellenállás „gyenge”.

Az angolszász szakirodalomban a hüvelyk (inch) 2, 5, 20, 50 vagy 200 ezredrészét (mil per year = mpy; 5 mpy = 0,127 mm/év) veszik alapul a falvastagság-csökkenési határok kijelölésekor, és különféle minősítésű csoportokat képeznek. A hőerőművek hűtőtornyának vízforgalmában részt vevő szállító- és hőcserélő csövek anyagaira már jóval szigorúbb besorolásokat és tagoltabb minősítéseket alkalmaznak (kor-3. táblázat), amelyeket szabványokban is rögzítenek.

## A korrózió sebessége

A gyakorlati szempontból legfontosabb vegyi anyagokban várható korróziósebességet az izokorróziós diagramokban összegzik, amelyeknek két fajtája terjedt el: az egyik típus egyetlen szerkezeti anyagra, de többféle korróziósebességre vonatkozik (Peldatar-korrozio-pelda-12), míg a másik egyetlen korróziósebességre, de többféle szerkezeti anyagra (Peldatar-korrozio-pelda-13). Mindkettőben azonos az, hogy a diagram vízszintes tengelyén a korróziós hatású anyag koncentrációja, a függőleges tengelyen pedig a hőmérséklete szerepel.



## A korrózió sebessége

Peldatar-korrozio-pelda-12

Peldatar-korrozio-pelda-13

Anyag	Korróziósebesség		Minősítés
	$\mu\text{m}/\text{év}$	mpy	
Szénacél, szállítócső	< 25	< 1	Kiváló
	< 75	1–3	Jó
	75–130	3–5	Megfelelő
	130–250	5–10	Gyenge
	> 250	> 10	Nem elfogadható
Szénacél, hőcserélőcső	< 5	< 0,2	Kiváló
	50–130	0,2–0,5	Jó
	130–250	0,5–1,0	Megfelelő
	250–380	1,0–1,5	Gyenge
	> 380	> 1,5	Nem elfogadható
Horganyzott acél szállítócső	< 50	< 2	Kiváló
	50–100	2–4	Jó
	100–200	4–8	Megfelelő
	200–250	8–10	Gyenge
	> 250	> 10	Nem elfogadható
Rozsdamentes acél	< 3	< 0,1	Elfogadható
	> 3	> 0,1	Nem elfogadható
Rézcső	< 3	< 0,1	Kiváló
	3–5	0,1–0,2	Jó
	5–8	0,2–0,3	Megfelelő
	8–12	0,3–0,5	Gyenge
	> 12	> 0,5	Nem elfogadható

*kor-3. táblázat: A hűtőtornyok csőanyagainak besorolása a korróziósebesség alapján  
(forrás: Puckorius P: Cooling water system corrosion guidelines. Process Cooling and Equipment, 2003)*

Megjegyzés: a táblázatban szereplő mpy dimenzió jelentése: mil per year, azaz századcoll per év. A mil az inch (magyarul: „coll” vagy hüvelyk) századrésze.

## A fémek passzíválódása

Valamely fémes anyag passzíválódása alatt azt értjük, hogy a korróziós szempontból aktív felülete a képződő korróziótermék – a passzív réteg – miatt inaktív állapotba kerül. A passzíválódási folyamat kezdetét az OH<sup>-</sup>-ionok adszorpciója jelenti, melyet nagyon gyorsan követ egy jól tapadó oxidréteggé való átalakulás az Al, Ti, Zr, Nb és Ta fémeknél, míg jóval lassabban a Cr, Fe, Co, és Ni esetében. Jóllehet a passzív réteg kémiai összetétele gyakran eltér a stabil oxidokétól – különösen pl. az ötvözött acélokon vagy a fémbevonatokon –, és ezért a Pourbaix-diagramokat szigorúan véve nem lehet alkalmazni, azok mégis jó áttekintést tudnak adni a fém vagy annak bevonata passzivitási és korróziós tulajdonságairól.

## A fémek passzíválódása

A fémes szerkezeti anyagok egy része spontán módon is kitűnően passzíválódik, de az iparban egy alkatrész vagy egy készre gyártott berendezés – pl. egy vízmelegítő tartály – teljes felületének egyenletes passziválását általában célszerű egy passziváló felületkezeléssel elvégezni. Ehhez olyan passzivátort, azaz oxidálószerrel kell választani, amelynél az általa kiváltott korrózió a fém passzivitási tartományába esik a Pourbaix-diagramon: ilyenkor a korrózió sebessége a passzív állapotnak megfelelően kicsi, gyakorlatilag elhanyagolható. Az alkalmas passzivátor  $E_R^0$  redukciós potenciálja nagyobb kell legyen, mint az  $E_F^0$  Flade-potenciál, és a korróziós árama meg kell haladja az  $i_{kr}$  kritikus áramsűrűséget (Peldatar-korrozió-pelda-14a ábra). Az egyes fémekhez leginkább alkalmazott passzivátorok jellemzőit a kor-4. táblázat tartalmazza:

## A fémek passzíválódása

Peldatár, Korrózió, 14. példa

Fém	Passzivátor	$E_F^0$ (V)	$E_R^0$ (V)
Acél	H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	+0,58	+1,28
Nikkel	HClO <sub>4</sub>	+0,36	+1,28
Króm és rozsdamentes acél	HNO <sub>3</sub>	-0,22	+0,93
Titán	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-0,24	+0,13

Kor-4. táblázat: A Flade-potenciál és a passzivátor egyensúlyi redukciós elektródpotenciálja

## A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők

### *A korróziós közegek, környezetek*

A korróziós jelenségeket okozó befolyásoló tényezők és a korróziós közegek szerinti csoportosítás változatos képet mutat. A korrózió színtereként szolgáló közegek vagy környezetek – a teljesség igénye nélkül – a következők lehetnek:

- a légkör, a levegő és alkotói
- a vizek: friss víz, tengervíz, szennyvíz
- a gőz (nedves és száraz)
- a gáznemű vegyi anyagok
- a folyékony vegyi anyagok
- a szilárd vegyi anyagok
- a füstgázok (oxidáló és redukáló)
- a porok
- a folyékony fémek és ötvözetek
- a sóoldatok
- a talaj a benne élő mikroorganizmusokkal
- élelmiszerek gyártása közbeni különleges feltételek.

## A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők

### *A korróziós közegek, környezetek*

A fémes anyagok nedveskorrózióját általában valamilyen vizes oldatba való bemerítés okozza, de kiválthatja a korróziót párás atmoszféra, a felületre lecsapódó nedvesség stb. Ezek az atmoszférikus korrózió esetei, amelyek nagyon jellemzőek a szabad levegőn üzemelő szerkezeteknél, berendezéseknél. A vékony nedves filmek korróziós tulajdonságai gyakran igen speciálisak, ami a nagy felület, a kis vastagság és a jellegzetes transzportfolyamatok következménye.

## A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők

### *A korróziós környezetek, közegek jellemzői*

Noha a korrózió alapvetően az anyag + közeg párosítástól függ, a közeg korróziós agresszivitása mindenkor az alábbi tényezőktől függ:

– A közeg pH-ja. A közeg agresszivitása annál inkább növekszik, minél jobban eltér a semleges (pH = 7) értéktől, különösen a savas (pH < 7) irányba.

- A közeg oxidálóképessége alapvető jelentőségű. Sajátos összefüggés, hogy bár a közeg oxidálóképességével nő a közeg korróziós agresszivitása, e nélkül nem tudna kialakulni a számos fém felületét a korrózió ellen védő passzív réteg. A legtipikusabb oxidálószer a vízben oldott oxigén, de maga a víz is képes oxidálni a vasat, krómot, alumíniumot, titánt, cinket stb. Gyakori oxidálószerek az említetteken kívül a pl. nitrátok, kromátok, klorátok.
- A hőmérséklet. A hőmérséklet növekedése általában növeli a korróziós folyamatok sebességét, mivel szűkíti a fémek immunitási és passzivitási tartományát, gyorsítja a reakciókat és a transzportfolyamatokat.

## A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők

### *A korróziós környezetek, közegek jellemzői*

- Az oldott komponensek jelenléte. Az oldott komponensek kétféle hatást fejthetnek ki: vagy inhibítják\* a korróziós folyamatokat, vagy fokozzák azokat. A korróziós veszélyt növelő fontosabb komponensek:
  - A halogén elemek ionjai, különösen a kloridion, amely az egyik fő felelőse a helyi korróziós jelenségeknek. Egyfelől destabilizálja a felületi védőfilmeket, gyengíti azok regenerálódási képességét, másfelől helyi dúsulásukat (a lyukakban, résekben) rendkívül erős pH-csökkenés kíséri. Általában elmondható, hogy a kloridok jóval veszélyesebbek, mint az oxidánsok.
  - A reaktív S-tartalmú komponensek, mint pl. a szulfidok, tioszulfátok, politionátok, tiocianátok, amelyek főként a védőfilmek kialakulásának ártanak, és elősegítik az általános, de még inkább a helyi korróziót.
  - A komplexképző anyagok (ezeket olykor a fém, illetve az oxidja oldására használják), amelyek az oldott kationokkal stabil vegyületeket képeznek, így növelik a fémek oldhatóságát.

## A korróziós közegek és a korróziót befolyásoló tényezők

### *A korróziós környezetek, közegek jellemzői*

Amennyiben adottnak tekintünk egy korróziós környezetet, az anyag viselkedése abban a következő tényezőktől függ:

- Áramlási tényezők: egyfelől a nagy áramlási sebesség különleges korróziófajtákat idézhet elő (eróziós korrózió, kavitációs korrózió), másfelől viszont a kis sebességgel áramló közegben a határfelületi diffúzió korlátozza korróziósebességet. A közeg helyi pangása (pl. résekben) viszont erős savanyodást okozhat, ami növeli a helyi korrózió valószínűségét.
- A hőtranszportjelenségek módosíthatják a közeg összetételét a túlhevített felületekkel érintkezve, pl. forrás közben.
- A reakciótermékek lerakódásképződési hajlama is módosíthatja a korróziós folyamatokat.
- Az inhibitorok a közegből kerülnek a fémes anyag felületére, és gátolják a korróziós folyamatokat.

## A korrózió különböző megjelenési formái

A fémek nedves környezetben lejátszódó korróziója nagyon sokféle korróziótípusra bontható. Ebben a szakaszban ezeknek a felsorolása, rendszerezése, rövid jellemzése a cél.

### *Az általános korrózió*

Peldatar-korrozio-pelda-4

Peldatar-korrozio-pelda-15

Az általános (vagy egyenletes) korrózió esetén a fémes anyag fogyása hozzávetőlegesen egyenletes a korrozív környezetben lévő teljes felületen (Peldatar-korrozio-pelda-4, Peldatar-korrozio-pelda-15); ha a korrózió a teljes felületen ugyan, de kisebb-nagyobb foltokban jelentkezik, olykor „foltos korróziónak” hívják. Az egyenletes korróziós folyamat tehát a fém felületén zajlik: ilyenkor aktív felületről, illetve a fémes anyag aktív állapotáról beszélünk. A folyamat általában gyors, de esetenként lassítják azt a folyadékban kialakuló transzportfolyamatok vagy a porózus korróziótermékek.

## A korrózió különböző megjelenési formái

Az általános felületi korrózió eredménye az is, amikor a tiszta fémes felület oxidációjával egy vékony, tömör, jól tapadó oxid- vagy hidroxidréteg alakul ki, amely ezt követően megvédi a fémet a további oxidációtól: ezt passzív rétegnek (filmnek) nevezik, s lényeges a szerepe a rozsdamentes acélok, az Al-, Cu-, Ti-, Ni-ötvözetek korróziós viselkedésében.

Az általános korrózió lejátszódhat az ún. exogén (külső eredetű) filmekkel védett felületeken is, mint pl. az inhibitorfilmek, festékrétegek, felgőzölt rétegek stb.

Az általános korróziót viszonylag egyszerű számszerűsíteni a tömegvesztés, illetve a falvastagság-csökkenés rendszeres mérésével. Az általános korrózió kitétt szerkezetek tervezőinek figyelembe kell venniük a várható korróziós fogyást, és ún. korróziós ráhagyással kell meghatározni a falvastagságot: pl. a cseppfolyós propán-bután gáz tárolására szolgáló acéltartályok tervezési gyakorlatában 0,5 vagy 1,0 mm az ún. korróziós pótlék. Meg kell jegyezni, hogy az általános korrózió veszélyessége kicsi, viszont jelentős költségkihatása lehet a tervezéstől az üzemeltetésig: gondoljunk csak az acélszerkezetek (hajók, hidak, tartályok stb.) festésére.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *A helyi korrózió általános jellemzése*

Ebbe a fogalomba soroljuk azokat a korróziós formákat, amelyeknél a tömegvesztés jellemzően nem a teljes felületet érinti, hanem az anyagnak csak egyes zónáit: a helyi korrózió elsősorban a passzíválható (tehát védő oxidréteggel ellátható) anyagokat érinti, és különösen veszélyes lehet, ugyanis:

Egyes helyi korróziótípusok egészen kis korróziós veszélyességű környezetekben (pl. ivóvíz, folyóvíz) is kialakulhatnak: pl. csőlyukadások, hőcserélő lemezek lyukadása.

Nagyon kis tömegvesztés is elegendő jelentős méretű szerkezetek teljes romba dőléséhez. Nehéz észlelni azt megelőzően, hogy a károsodás súlyossá válna, emellett nagyon nehéz a károsodás mértékének számszerűsíthető minősítése.

Amikor mégis lehetséges az üzemelő szerkezetek ellenőrzése a helyi korróziós folyamatok feltárására, a vizsgálatok jelentős költséggel járnak. A nagy költség oka, hogy részletes vizuális vizsgálatokra van szükség, máskor pedig csak igen drága berendezésekkel végezhető el. Példa erre a tartályok endoszkópos vagy videomikroszkópos ellenőrzése, az erőművek hőcserélő csöveinek örvényáramos vizsgálata repedéskereső szondából, mozgatószerkezetből és jelkiértékelő szoftverből álló komplex rendszerrel. A költségek csökkentése úgy érhető el, ha sikerül tipizálni az adott szerkezet helyi korróziós szempontból leginkább veszélyeztetett helyeit (pl. hegesztési varratok környezete, csőívek, illesztési rések stb.), és a vizsgálat főleg ezekre irányul.



## A korrózió különböző megjelenési formái

### A lyukkorrózió

Peldatar-korrozio-pelda -16

A lyukkorrózió – amelyet pitting néven is emlegetnek a korróziós terminológiában – egy kis területre összpontosuló, helyi anódos feloldódás, amelynek a sebessége nagyon gyors lehet. Többé-kevésbé gömbölyded bema­ródások, gödröcskék, lyukak alakulnak ki a felületen, majd mélyednek a felület alatt nagyon változatos morfológiával, pl. oldalirányú elágazásokkal vagy a hangyafészek járataira emlékeztető csatornák formájában. A lyukkorrózió a csövek, palackok, tartályok, hőcserélők stb. kilyukadására vezet. A lyukak, lyukadások jellemző mérete milliméteres, a felületen való elhelyezkedésük többnyire véletlenszerű, bár minden felületi inhomogenitás kedvez a lyukkorróziós bema­ródás kialakulásának. A leginkább érintett anyagok a passzív réteggel védett ötvözetek: a rozsdamentes acélok, nikkelötvözetek és az alumíniumötvözetek (Peldatar-korrozio-pelda-16). A lyukkorróziós károsodás nagyon jellemző kloridion-tartalmú vagy más olyan környezetekben, ahol a korróziós ágensek képesek helyileg roncsolni, feltörni, feloldani a passzív réteget, amelynek a fém a korrózióállóságát köszönheti. A lyukkorrózió veszélyessége rendkívülinek mondható, mivel az egyébként korrózióálló­nak tekintett anyagok leggyakoribb korróziós károsodása.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A lyukkorrózió

A korrózióálló acélok és a nikkelötvözetek korrózióállóságának egyik legfontosabb mérőszáma a lyukkorróziós ellenállási tényező (PRE), amelynek a meghatározására a (kor-5. táblázat) szerint történhet, az ötvözők százalékos mennyiségének felhasználásával. A lyukkorrózióval szembeni ellenállás másik fontos jellemzője a kritikus lyukkorróziós hőmérséklet (CPT), amelynél nagyobb hőmérsékleten a szerkezeti anyag lyukkorróziós károsodására kell számítani. A kritikus lyukkorróziós hőmérsékletet szabványos korróziós vizsgálatokkal lehet pontosan meghatározni, becslése a (kor-14) egyenletekkel lehetséges\*. A nikkel- és molibdénszegény, ún. sovány duplex acélokra vonatkozóan francia kutatók kidolgozták a lyukkorrózióval és a réskorrózióval szembeni ellenállást egyesítve kifejező IRCL helyikorróziós ellenállási tényezőt.

\* A (képl.14/a) az ASTM G 48 – 3 szabvány ajánlása. A index (MARC = measure of alloying for resistance to corrosion) a lyukkorróziós ellenállást kifejező mutatószám.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A lyukkorrózió

Példatár, Korrózió, 16. példa

$$CPT = 2,5Cr + 7,6Mo + 31,9N - 41 \quad (c), \quad (\text{képl.14/a})$$

$$CPT = 2,55MARC - 29 \quad (c). \quad (\text{képl.14/b})$$

Jelölés	Képlet	Megjegyzés
<i>PRE</i>	$Cr + 3,3Mo$	Ferrites acélok
<i>PRE(N)</i> , <i>PRE<sub>N</sub></i> , <i>PREN</i>	$Cr + 3,3Mo + 20N$	Ausztenites és duplex acélok
<i>PRE(N)</i> , <i>PRE<sub>N</sub></i> , <i>PREN</i> , <i>PRE(16)</i>	$Cr + 3,3Mo + 16N$	
<i>PRE(30)</i>	$Cr + 3,3Mo + 30N$	
<i>PRE(W)</i>	$Cr + 3,3Mo + 1,65W + 16N$	W-ötvözésű acélok
<i>PRE(W)</i>	$Cr + 3,3(Mo + W) + 16N$	
<i>PRE<sub>Mn</sub></i>	$Cr + 3,3Mo + 30N - Mn$	Nagy N-tartalmú acélok
<i>MARC</i>	$Cr + 3,3Mo + 20(C + N) - 0,5Mn - 0,25Ni$	
<i>IRCL</i>	$Cr + 3,3Mo + 16N + 2,6Ni - 0,7Mn$	Sovány duplex acélok

Kor-5. táblázat: A lyukkorróziós ellenállási tényező számítására kidolgozott tapasztalati formulák

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A réskorrózió

Peldatar-korrozio-pelda-17

A réskorrózió tipikusan keskeny, zárt résekben következik be, pl. tömítőgyűrűk alatt, hézaggal érintkező lemezek között, csövek feltámasztásainál, lerakódások alatt, csőkarimák réseiben (Példatár, kor-17) stb., ahol a korróziós közeg áramlása csekély vagy teljesen pangó. A réskorrózió folyamatában rendszerint megfigyelhető egy hosszabb-rövidebb inkubációs szakasz, amely idő alatt semmi jele nem tapasztalható a gyors korróziós bemaródás kialakulásának vagy terjedésének. A réskorrózió leginkább azoknál a rozsdamentes acéloknál ismert jelenség, amelyek kloridion-tartalmú, szellőzött környezetben működnek (pl. tengervíz), de megemlíthetjük a forró kloridos környezetben üzemelő titánötvözeteket, a szénacélokat inhibítortartalmú közegekben, vagy pedig a Cr-Ni ötvöztetésű rozsdamentes acélból épített tűzivíz-csővezetékek karimás kötéseit.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A réskorrózió

Lefolyását (mechanizmusát) négy szakaszra bonthatjuk:

- 1. szakasz: A résben a közeg oxigénben elszegényedik a beinduló korrózió helyi katódos folyamata miatt, és a résbe irányuló oxigéndiffúzió nem eléggé gyors ahhoz, hogy ezt pótolja.
- 2. szakasz: A katódos folyamat a résen kívülre kerül, térben erősen eltávolodik a korrózió anódos és a katódos folyamata. A korróziós áram kialakulása és az iontranszport következtében kloridionok mozognak a rés felé, és ott felhalmozódnak, ami az oldat pH-jának csökkenését okozza.
- 3. szakasz: A kloridion-koncentráció növekedése és a pH-csökkenés olyan közeget hoz létre a résben, amely roncsolja a fém felületén lévő passzív filmet.
- 4. szakasz: Miután a passzív film megsérül, a korrózió akadálytalan terjedése kezdődik.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A réskorrózió

$$CCT = 3,2Cr + 7,6Mo + 10,5Ni + 10,5N - 81 \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (\text{képl.15})$$

$$CCT = 1,5Cr + 1,9Mo + 4,9Nb + 8,6W - 36,2 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (\text{képl.16})$$

A réskorrózió kialakulását és lefolyását számos tényező befolyásolja:

- a szerkezet konstrukciós jellemzői (szűkületek, rések, átlapolások),
- a részgeometria és a felületi érdesség (0,2–2,0  $\mu\text{m}$  felett már kialakul),
- a közeg áramlási sebessége (1,5 m/s alatt jellemző),
- a közeg, pl. víz összetétele, keménysége,
- lerakódások, üledék jelenléte,
- a hőmérséklet (tengervízben, Ni-ötvözeteknél 10  $^\circ\text{C}$  növekedés megkétszerezi a korróziósebességet).

A réskorrózióknak a lyukkorrózióval való szoros rokonsága abban is megmutatkozik, hogy a fontosabb ötvözetek kritikus réskorróziós hőmérsékletét (CCT, CCCT) is szabványos ajánlásokkal fejezik ki a rozsdamentes acélokra (képl.15) és a Ni-ötvözetekre (képl.16).

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *A galvánkorrózió*

Peldatar-korrozio-pelda-18, Peldatar-korrozio-pelda-19

A galvánkorrózió különböző elektrokémiai tulajdonságú anyagok között alakul ki olyankor, ha azok valamely villamosan vezető közegben egymás mellé kerülnek. Ezt nevezzük galvanikus csatolásnak. Minél „nemesebb” elektrokémiailag az egyik anyag, a másikkal a korróziója annál inkább felgyorsul. Klasszikus példája ennek az 1886-ban, New Yorkban felállított Szabadság-szobor, amelyen a rézlemez borítás és az acél tartószerkezet közötti galvánkorrózió súlyos károsodást okozott a beszivárgó sós pára hatására, illetve a különböző anyagú csavarkötések anódos elemének gyors korróziója (Peldatar-korrozio-pelda-18).

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *A galvánkorrózió*

Ugyanakkor a galvanikus csatolást széles körben alkalmazzák olyan korrózióvédelmi rendszerekben, ahol a megvédendő szerkezethez egy kevésbé nemes anyagot csatolnak (katódos védelem): a legismertebbek e téren a talajba fektetett tartályok, csövek, hajók, tengervízben álló fúrószigetek stb. A korróziót elszennvedő áldozati anód anyaga általában cink-, alumínium- vagy magnéziumötvözet. A katódos védelem segédanódjainak hibája esetén azonban gyors galvánkorróziós tönkremenetel is kialakulhat, amelynek gyakori esetei az édes- vagy tengervízi hajók hajócsavarjai (Peldatar-korrozio-pelda-18).

A galvanikus kapcsolatba kerülő anyagpárok közül az fog korrodálódni, amelyiknek a másikkal képest kisebb az elektródpotenciálja; a Peldatar-korrozio-pelda-19. táblázatba foglalva mutatja a leggyakrabban alkalmazott fémek szerkezeti anyagok galvánsorát.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A szemcsehatármenti korrózió

Peldatar-korrozio-pelda-20

A helyi korrózió eme típusa közvetlenül a polikristályos anyagok szemcsehatárain halad előre; a szemcsék teljes szétválását és az alkatrész mechanikai tulajdonságainak jelentős romlását eredményezheti. Számos gyakorlati esete közül a legismertebbek a következők (Peldatar, kor-20):

- A stabilizálatlan rozsdamentes acélok ( $C > 0,05\%$ ) korróziója 550–750 °C-ra hevítés után (pl. hegesztési hőhatásövezet) savas környezetben, különösen kloridion jelenlétében. A korrózióra az teszi érzékennyé a szemcsehatárt, hogy ott króm-karbidok képződnek erősen lecsökkentve a vasban oldott króm mennyiségét. A C-tartalom, az idő és a hőmérséklet hatását az ún. szenzibilizációs diagramokon (TTS) szokták megadni.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### A szemcsehatármenti korrózió

- Ausztenites rozsdamentes acélok színesfémekkel vagy könnyűfémekkel való hegesztése, fémolvadékokkal – Al, Zn, Ag, Cu – való érintkezése, pl. forrasztása.
- Egyes alumíniumötvözetek (pl. a repülőgépek építésében is használt 7075-T6 típus), korróziója kloridion-tartalmú környezetben, amelyekre jellemző a kiválások jelenléte a szemcsehatárokon.
- A titánötvözetek korróziója „vörösen füstölgő salétromsav” környezetben,
- A foszforral erősen szennyezett alumíniumbronz korróziója szulfidos vízben.

A késélkorrózió egy sajátos formája a szemcseközi korrózióknak. Általában a titánnal vagy nióbbiummal stabilizált rozsdamentes acélokban alakul ki. A korróziós bemarkódás egészen keskeny, éles bevágás jellegű, és a hegesztési varrattal közvetlenül határos, ún. összeolvadási vonalon képződik. Erről az éles bemetszés jellegéről kapta a nevét. Kialakulását az okozza, hogy a stabilizálás ellenére az érintett zónában króm-karbidok keletkezhetnek, és emiatt ott a korrózióállóságot erősen leromlik. 1050–110 °C-ra való hevítést követő gyors hűtéssel az érzékennyé vált zóna újrasztabilizálható.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Feszültségi korrózió*

Peldatar-korrozio-pelda-21

A korróziós környezetben végbemenő elektrokémiai és kémiai kölcsönhatások és a fellépő húzófeszültség – amely igen gyakran az anyagban hegesztést, képlékenyalakítást követően lévő maradófeszültség – hatására erősen csökkenhet az olyan ötvözetek képlékenysége, amelyeket egyébként kifejezetten szívós anyagnak ismerünk, mint pl. az ausztenites acélok vagy az alumíniumötvözetek. Különösen gyakori a nátronlúg és a klórvegyületek okozta feszültségkorróziós károsodás.

Megjelenési formáját tekintve a feszültségi korrózió minden esetben egy lassú, de rideg – helyi képlékeny alakváltozás nélküli – repedésterjedési folyamat: a repedés lehet szemcseközi (interkrisztallin) vagy a szemcséken áthaladó (transzkrisztallin); lásd: Példatár, kor-21. A repedésterjedést repedésképződés előzi meg: a passzíválódó anyagoknál ilyenkor megsérül a felületi passzív védőréteg. A repedésterjedést nagyon nehéz észlelni, ezért a károsodási folyamatot záró gyakran okoz katasztrofális törést; emiatt e korróziófajta veszélyessége és súlyossága különösen nagy.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Feszültségi korrózió*

A feszültségkorróziós repedésterjedést törésmechanikai módszerekkel vizsgálják és jellemzik. A szerkezeti anyagoknak a feszültségi korróziós repedésterjedéssel szembeni ellenállását a  $K_{ISCC}$  feszültségkorróziós törési szívósság jellemzi (SCC = stress corrosion cracking).

A nagyszilárdságú anyagok fokozottan hajlamosak feszültségi korrózióra, pl.:

- a hidegen alakított sárgaréz ammóniás környezetben,
- a kloridiont tartalmazó környezetben a titánötvözetek, az alumíniumötvözetek és a nagy szilárdságú rozsdamentes acélok érzékenyek.

A feszültségi korrózióra hajlamos anyagokat nem szabad alkalmazni olyan szerkezetek anyagaként, amelyek üzemi viszonyai között ez a korróziós veszély felléphet. A feszültségcsökkentő hőkezelés általában mérsékli az érzékenységet, ugyanis ezzel lecsökkenthető a maradófeszültségek nagysága a kritikus feszültség szint alá. A korróziós közeg hőmérsékletének növelése fokozza a korróziós veszélyt, és lerövidíti a repedésterjedés megindulásához tartozó inkubációs időt.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Feszültségi korrózió*

*Hidrogén okozta elridegedés, hidrogén okozta törés*

A hidrogénatom viszonylag könnyen be tud lépni a fémes anyagok kristályrácsába, és ott diffúzióval mozogni képes. Ennek nyomán az anyagnak a hidrogén behatolása által érintett zónájában szívóssága erősen lecsökken a szívósság, és hasonlóan a feszültségi korrózióhoz, ridegtörés jellegű repedésterjedés és törés következhet be. A hidrogénes elridegedést a szakirodalomban sokan a feszültségi korrózió egyik változataként kezelik, ám annál lényegesen gyorsabb lefolyású, és a repedésterjedésre az elágazásmentes transzkrisztallin jelleg jellemző.

A hidrogén az elektrokémiai korrózió anódos részfolyamatában gyakran képződik; bejutva a fémrácsba csökkenti a repedésterjedéshez szükséges energiát, illetve gázmolekulává alakulva nagy nyomást hoz létre a repedéscsúcsban, közvetlenül segítve a repedésterjedést. A hidrogénmolekulák képződése a felület hólyagosodását okozhatja a nagy hőmérsékleten üzemelő acélokban.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Feszültségi korrózió*

A hidrogén nemcsak a korróziós környezetből juthat be a fémbe, hanem galvanizálásakor az elektrolitból, hegesztéskor a hegesztőanyagokból vagy a felületi szennyeződésekből, cementáláskor a cementálógázból, illetve a – 1,2 V-nál kisebb védőpotenciált alkalmazó aktívkatódos védelmi rendszerekben. A katódos védelem ugyanakkor védelmet jelent a feszültségi korrózió ellen. Hidrogén-szulfid-tartalmú környezetben egyedi változata, a szulfidos feszültségi törés (SSC) alakul ki.

A hidrogénes elridegedésre elsősorban a nagy szilárdságú ferrites és martenzites korrózióálló acélok hajlamosak, az ausztenites acélok jóval kevésbé. A hidrogén bejutása ellen körültekintő hegesztési technológiával lehet védekezni, továbbá kis hőmérsékletű, hosszú idejű hevítéssel ki lehet „űzni” a hidrogén jelentős részét.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Szelektív korrózió*

Peldatar-korrozio-pelda-22

A korrózióknak ez a sajátos formája úgy megy végbe, hogy az ötvözet egy vagy több komponense erőteljesebben oldódik a többinél. Ennek nyomán gyakran egy porózus réteg alakul ki az alkatrész felületén, amelyet nagyrészt a fel nem oldott elemek alkotnak; a kioldott alkotó korrózióterméke is megtapadhat a felületen. Ez a korrózió csak olyankor alakul ki, ha a különlegesen jól oldódó elem mennyisége meghalad egy küszöbértéket. A legismertebb példa a szelektív korrózióra:

- a sárgarezek (Cu-Zn ötvözetek) „elcinktelenedése” pangó vizes környezetekben (Peldatar, kor-22),
- a szürke öntöttvas grafitosodása, azaz a vas kioldódása a talajban vagy vizes környezetben,
- a közepes és nagy C-tartalmú acélok dekarbonizálódása nagy hőmérsékletű oxidáló gázokban vagy hidrogénban,
- a szilíciumbronzok korróziója forró savas gőzökben,
- a bronz (ónbronz) ónvesztése forró sós oldatokban,
- a Monel-ötvözetek (28–34% Cu-tartalmú Ni-ötvözet) mindkét komponense hajlamos kioldódni különféle savak hatására,
- az aranyötvözetek Cu és Ag összetevője kioldódik szulfidoldatokban és a nyálban.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Fizikai hatásokkal együtt járó korróziófajták*

*Súrlódási korrózió, berágódásos korrózió (fretting korrózió)*

Ezek a helyikorrózió-típusokat agresszív mechanikai behatás idézi elő, amely tönkreteszti a passzíváló ötvözetek felületén kialakult védőréteget, sőt sokszor a védőréteg alatti anyagot is. A súrlódási korrózió és a berágódásos korrózió egymáson súrlódó felületek között alakul ki. Abban különböznek egymástól, hogy a felületek relatív elmozdulása mekkora. A súrlódási korrózió esetén a korróziótermékek képesek eltávozni a súrlódási zónából, míg a berágódásos korrózió esetén nem.

Maga a berágódás (az idegen nyelvű szakirodalomban: fretting) olyan súrlódásos érintkezés két felület között, amelyben a relatív súrlódási elmozdulás amplitúdója kisebb, mint az érintkező felületek elmozdulásirányú hosszúsága. Emiatt az érintkező felületek között szilárd részecskék vannak, és ezek nem távoznak el onnan.

A berágódásos korrózió (fretting korrózió) tehát olyan súrlódási folyamat, amelyben a súrlódó felületek között szilárd részecskék találhatók a korróziós hatású közegben.



## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Fizikai hatásokkal együtt járó korróziófajták*

A súrlódási korrózió meglehetősen gyakori a gépészeti berendezésekben. A fretting korrózió leginkább a vibrációnak kitett szerkezetekre jellemző, különös jelentőségű az űrtechnikai eszközöknél.

A kopást mint elsődlegesen nem korróziós folyamatot „A hőállóság és kopásállóság” fejezet ismerteti.

#### *Kavitációs korrózió*

A kavitációs korrózió a kavitáció keltette lökéshullám-sorozat nyomán alakul ki; leginkább a hajócsavaroknál és a szivattyúk járókerekeinél jelentkezik. A sebesen áramló folyadékokban vagy a nagy sebességű forgást végző alkatrészek felülete környezetében, a folyadékban buborékok – vagyis gőzfázis – képződik, mivel a nyomás a gőznyomásnál kisebb értékre csökken. A buborékképződés nagy nyomáshullámokkal terheli a fémfelületet, amelyen emiatt roncsolódik a passzív réteg, és a fém védtelen a közeg korróziós hatásával szemben.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Fizikai hatásokkal együtt járó korróziófajták*

#### *Eróziós korrózió*

A nagy sebességgel áramló folyadékok okozzák. Esete válogatja, hogy a folyadékban áramló szilárd részecskék, a folyadékcseppek ütései (pl. esőcseppek a repülőgépre) vagy egyszerűen a nagy sebességű folyadék fejt ki a fő károsító hatást. A legtöbb rézötvözet érzékeny erre a korróziótípusra, mielőtt a folyadéksebesség elér néhány m/s értéket, és egyes alumíniumötvözetekben is megfigyelték.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Mikrobás korrózió*

A fémfelületeken megtelepedett mikroszkopikus méretű élő szervezetek képesek arra, hogy helyileg jelentősen megváltoztassák a környezet kémiai jellegét, és nagyon agresszívvá tegyék azt. Az oxigénszükségletük szerint megkülönböztetünk aerob és anaerob (oxigén hiányában is életképes) baktériumokat, amelyek fő élőhelyei a különféle talajok és vizek, különös tekintettel a tengervízre. A korróziós veszélyt jelentő mikrobák közül legismertebbek a szulfátredukáló baktériumok (pl. a *Desulfovibrio desulfuricans*), amelyek a közömbös szulfátokat az anyagcsere-folyamataikban agresszív szulfidokká redukálják. E baktériumok a fő felelősei, pl. az Északi-tenger kikötői berendezéseinek korróziójáért, de nagyon komoly veszélyt jelentenek számos olajipari berendezésre nézve is. Jellemző továbbá, hogy a baktériumok képezte biológiai hártya – az ún. nyálka – fokozza a rozsdamentes acélok tengervíz okozta korrózióját, mivel megnöveli a kloridion-koncentrációt és erősebben oxidáló környezetet alakít ki.

## A korrózió különböző megjelenési formái

### *Mikrobás korrózió*

A baktériumok a talaj korróziós hatásainak fontos szereplői. A magyar szakmai nyelvben – nagyon helytelenül – „mikrobiológiai korrózió” néven vonult be a helyesen mikrobás vagy mikrobiális korrózió. Esetenként találkozunk a „biokárosodás” kifejezéssel; ilyenkor elsősorban a fa és olykor más polimer anyagok élőlények – gombák, rovarok stb. – általi közvetlen (megeszik) vagy közvetett (az anyagcseretermékek károsítják) korróziós károsodására kell gondolni. Ennek részletes tárgyalása a szakkönyvek feladata.

## További korróziós ismeretek

A fémes anyagok környezetükkel való kölcsönhatása az eddig felsorolt és a leginkább előfordulónak tekinthető korróziófajtákon kívül számos további korróziós károsodást okozhat. Ezek a kevésbé általánosítható korrózióféleségek általában valamely egyedi korróziós környezethez (pl. a talaj, a porok, a rétegvizek, a karbamid stb.), egy bizonyos szerkezeti anyaghoz (pl. az alumíniumötvözetek réteges és szálas korróziója, a vasbeton, a műanyagok, a fa korróziója stb.) vagy berendezéstípushoz (pl. a vasúti sínek rögzítőcsavarjainak és a talajba fektetett csővezetékek kóboráram okozta korróziója, a nukleáris sugárzásnak kitett berendezések korróziója stb.) kapcsolódnak. Ezek a jelenlegi kereteknél jóval átfogóbb korróziós áttekintést kívánnak, így az alapképzési tananyagban célszerűtlen a tárgyalásuk. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy mindegyik különleges jelentőséggel bír a maga üzemi feltételrendszerében.

Ugyancsak jelentős fejezete a korróziós szakterületnek a korrózió elleni védelem, amelynek különféle módszerei szintén önálló tananyagok formájában tárgyalhatók; a korróziós szakirodalom erre is számos lehetőséget kínál.

## Ellenőrző kérdések

1. A Pourbaix-diagramok miként jellemzik egy anyag korróziós viselkedését?
2. Melyek a vas fontosabb korróziótermékei?
3. Miként jellemezhető az egyenletes korrózió sebessége?
4. Mivel jellemezhető egy korrózióálló acél lyukkorrózióval szembeni ellenállása?
5. Mivel jellemezhető egy korrózióálló acél réskorrózióval szembeni ellenállása?
6. Melyek azok a korróziófajták, amelyek a korróziós hatású közegben fellépő mechanikai hatások miatt alakulnak ki?

## Keywords

Corrosion resistance  
Uniform corrosion  
Pitting corrosion  
Crevice corrosion  
Stress corrosion cracking  
Grain boundary corrosion  
Galvanic corrosion  
Selective corrosion  
Microbial corrosion  
Pourbaix diagram  
Fretting corrosion  
Erosion corrosion  
Pitting index  
Critical pitting temperature



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 16. A hőállóság és a kopásállóság

Szerző: Dobránszky János  
dobi@eik.bme.hu

## A fejezet tananyagának szerkezete

Az itt következő tananyagrészt szerkezete sajátos felépítést követ. A diára csak az adott fogalomkör címe van felírva, a tartalom részletes, szöveges kifejtését pedig a diához tartozó lábjegyzet tartalmazza. A nagyszámú illusztráció és magyarázó ábra pedig az egyes diákon hivatkozott és a példatárban összegyűjtött példákban tekinthető meg.

A fejezet szerzője bízik benne, hogy a tisztelt olvasó így alaposabb szakmai ismeretekhez juthat.

## Korrózió nagy hőmérsékleten 1

A hőállóság fogalmának meghatározása

A hőálló fémek anyagok – hőálló acélok, Ni- és Co-alapú szuperötvözetek – olyan anyagok, amelyek jól ellenállnak az oxidációnak, a felületükön a reve képződése csekély. Az anyagot addig a hőmérsékletig tekintjük hőállónak az adott közegben, ameddig a revésedés sebessége kisebb, mint  $1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , és az  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal nagyobb hőmérsékleten sem haladja meg az előző érték kétszeresét. A hőálló anyagokat  $500\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérséklettől nagyobb hőmérsékleteken alkalmazzák. A kisebb hőmérsékleteken nem a revésedéssel szembeni ellenállás, vagyis a hőállóság a fő elvárás, hanem a melegszilárdság, tartós mechanikai és termikus igénybevételnél pedig a kúszásállóság. A tűzállóság mibenlétét itt nem tárgyaljuk.

A hőálló acélok szövetszerkezetüket tekintve tisztán ausztenites vagy ferrites, esetenként pedig ausztenit + ferrit szövetszerkezetűek; a Cr-, illetve a (Cr+Ni)-ötvöztetés biztosítja a hőállóságot. A hőálló acélok alkalmazása – mechanikai terhelés nélküli esetben –  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig lehetséges. Az alkalmazási hőmérséklet határ igen erősen függ a közeg összetételétől.

## Korrózió nagy hőmérsékleten 2

A hőálló acélok alapötvözője a Cr, ugyanis a korrózióállósághoz hasonlóan a hőállóságnak is alapfeltétele a passzív védőréteg képződése a felületen. A passzív rétegnek a nagy hőmérsékleten kívánatos fokozott stabilitása érdekében a hőálló acélokat  $0,7\text{--}1,7\%$  Al-mal és  $1,3\text{--}2,0\%$  Si-mal ötvözik, emellett a Mo, a Si, a W és a Co hatása is fontos.

A hőálló acélok hőállóságát erősen gyengíti a közvetlen hősugárzás, a nyílt láng és a nagy C-tartalmú közegben való üzemelés; ez utóbbi esetben a szén bediffundál az acélba, és jelentősen felgyorsítja a revésedést, mivel a krómmal karbidokat képez. A következő üzemi feltételek jelentősen érintik a hőállóságot:

- az üzemi hőmérséklet, a csúcshőmérséklet és annak ciklussága,
- a nagy hőmérséklet mellett szilárdsági igénybevétel is hat-e,
- a kazánoknál, kemencéknél a hevítés módja; pl. szén, koks, gáz, olaj stb. esetén a tüzelőanyag kéntartalma és vanádium-pentoxid tartalma,
- a környezet oxidáló vagy redukáló jellege,
- a füstgázok agresszív összetevői: Cl, S, H<sub>2</sub>S,
- koptató hatások megléte,
- az előzetes megmunkálások: képlékenyalakítás, forgácsolás, hegesztés.



## Korrózió nagy hőmérsékleten 3

A nagy hőmérsékletű korróziós folyamatok érvényesülésekor a legfontosabb korróziós jelenségek a következők:

levegő, illetve oxigén okozta oxidáció,  
karbonizáció és ezzel összefüggésben a fém porlódása,  
szulfidizáció,  
nitridálódás,  
halogének okozta korrózió,  
hamu- és sólerakódások okozta korrózió,  
sóolvadékok okozta korrózió, valamint  
folyékony fémek korróziós hatása.

## Az oxidáció

Peldatar-korrozio-pelda-23

Az oxidáció a nagy hőmérsékleten lejátszódó legfontosabb korróziós reakció. A legtöbb ipari környezetben az oxigén jelen van a szárazkorróziós reakciókban is, függetlenül attól, hogy melyik korróziófajta a domináns. A hőálló ötvözetek hőállóságának kialakulásában lényeges előfeltétel az oxidáció, vagyis a védő oxidréteg kialakulása, amelynek révén az anyag képes ellenállni a többi korróziós reakciónak, benne a további oxidációnak is.

A környezeteket az oxigén aktivitása szempontjából osztályozzák. Eszerint oxidáló vagy redukáló környezetekről szokás beszélni. Az oxidáló atmoszférában molekuláris oxigén van jelen; ilyenkor az oxigén aktivitása nagy, és ezt az  $O_2$  koncentrációja szabályozza. Redukáló atmoszféra az égés sztöchiometrikus feltételei között alakul ki, ha nincs többlet oxigén. Ilyenkor az oxigén aktivitása nagyon gyenge, és ezt a  $CO/CO_2$  vagy a  $H_2/H_2O$  aránya szabályozza. Számos nagy hőmérsékletű korróziós folyamatban a redukáló atmoszféra korrozívabb, mint az oxidáló atmoszféra: ilyen pl. a szulfidizáció, a karbonizáció, a nitridálódás és a hamu- ill. sólerakódás okozta korrózió. A nagy hőmérsékletű oxidáció lefolyására kísérleti példát ismertet a Peldatar-korrozio-pelda-23 egy Fe-Ni ötvözetre vonatkozóan.

## A szulfidizáció

Ha egy környezetnek nagy a kénaktivitása, akkor a korróziós reakciót a szulfidizáció vezérli, de az oxigén aktivitása is befolyásolja. Az oxigénaktivitás csökkenése szulfidizálóbbá teszi a környezetet, és fordítva. Tehát a szulfidizációt a kén és az oxigén aktivitása egyaránt szabályozza. Az oxidációhoz hasonlóan a szulfidizációval szembeni ellenállás is a krómtartalommal függ össze. A szulfidizáció révén a vas rövid idő alatt vas-szulfiddá alakul át. A krómtartalom növekedése a szulfidizációval szembeni ellenálló képességet erősen növeli, és a Si is kedvező hatású. A redukáló füstgázok változó mennyiségű hidrogén-szulfidot, hidrogént, szén-monoxidot, szén-dioxidot és nitrogént tartalmaznak. Ilyen környezetekben a korróziósebesség értéke elsősorban a  $H_2S$  és a hőmérséklet függvénye.

## A karbonizáció

A karbonizáció folyamata hasonló: a karbon és az oxigén aktivitása egyaránt irányítja a reakciót. Az oxigén aktivitásának csökkenése a környezetet karbonizálóvá teszi, és fordítva.

A hőálló acélok érzékenyek a karbonizációra, ha szén-monoxidot vagy más szénhidrogént tartalmazó környezetnek vannak kitéve nagy hőmérsékleteken. A karbonizáció általában karbidok kialakulását eredményezi a fémekben, amelyek kedvezőtlenül befolyásolják a szerkezeti anyag mechanikai tulajdonságait, főleg elridegítik az anyagot. A karbonizációs problémák meglehetősen gyakoriak a gázcementáló berendezések esetében, amelyek üzemi hőmérséklete általában 840–930 °C. A szénhidrogéneket is tartalmazó gáz a szerkezeti elemek jelentős elridegését idézi elő. A petrokémiai iparban a karbonizáció igen gyakori, pl. a pirolizálókemencék csöveinél, a polimer alapanyagok (pl. etilén) gyártásánál. A szénszálgyártása ugyancsak karbonizáló atmoszférát hoz létre a kemencékben, ennek eredményeként a kemence szerelvényei gyakran cseréire szorulnak. Az acélszalagok nemesítésére szolgáló, földgáztüzelésű áthúzókemencékben a szalagvezető alagút anyaga is folyamatos karbonizációnak van kitéve.

A fém porladása a karbonizáció egyik formája: különösen a pangó terekben alakul ki 450 és 900 °C hőközben.

## A nitridálódás

A nitridálódásra is érvényes, hogy a korróziós reakció veszélyesebbé válik, ha a környezet redukáló jellegű. A nitridálódás során az acél nitrogént abszorbeál a környezetből, pl. ammóniából. Ha a nitrogén mennyisége a fémbe túllépi az oldhatósági határt, akkor a nitridek kiválnak a mátrixban, és a szemcsehatárokon. Ennek eredményeként az ötvözet elridegedhet.

Az ammónia általánosan használt nitridálógáz az acélok kérgesítésekor, amely termokémiai felületkezelést jellemzően 500–590 °C közötti hőmérsékleteken végeznek. A hőkezelő berendezés és alkatrészei ismétlődően ki vannak téve ezeknek az üzemi feltételeknek, és gyakran elridegednek. A karbonitridálás a kérgesítés egy másik fontos módszere, amely a felületi kéregben karbidokat és nitrideket eredményez. A kérgesítésnek ezt a módszerét általában 700–900 °C-on hajtják végre ammóniában, különböző C-tartalmú gázok (pl. metán) hozzáadásával. Így a hőkezelő berendezés egyidejűleg van kitéve a nitridálódás és a karbonizáció hatásának. A teljesen szétbontott ammónia általában nem okoz érdemleges nitridálódást, sőt, a rozsdamentes acélok revementes lágyításánál gyakran alkalmaznak  $N_2 + H_2$  védőatmoszférát (formálógázt). A molekuláris nitrogén önmagában csak kifejezetten nagy hőmérsékleteken és hosszú idő alatt idézhet elő károsodást.

## A halogének okozta korrózió 1

Acél	Hőmérséklet (°C)	Korróziósebesség (mm/év)
Ferrites rozsdamentes acél 1.4016 (17Cr)	300	0,2
	360	2,0
	440	40,0
Ausztenites rozsdamentes acél 1.4301 (19Cr-9Ni)	290	0,8
	315	1,5
	340	3,0
	400	15,0
	450	30,0
Ausztenites rozsdamentes acél 1.4541 (18Cr-11Ni-Ti)	418	0,6
	450	20,0
	480	72,0
Ausztenites rozsdamentes acél 1.4401 (17Cr-12Ni-Mo)	315	0,8
	340	1,5
	400	3,0
	450	15,0
	480	30,0

Kor-6. táblázat: Rozsdamentes acélok korróziósebessége oxigénmentes klórgáz (Cl<sub>2</sub>) környezetben

## A halogének okozta korrózió 2

A halogének okozta korrózió esetében az oxigén aktivitása másképpen befolyásolja a reakciót: a nagy hőmérsékleten bekövetkező korróziót klórtartalmú környezetekben a gáznemű fém-kloridok kialakulásának tulajdonítják. Az oxidáló környezetekben a korróziósebesség jelentősen növekedik a nagyon illékony oxikloridok miatt. A redukáló környezetek ilyenkor kevésbé korrozívak. A reakciót a halogén és az oxigén aktivitása egyaránt irányítja.

Sok fém könnyen reakcióba lép a halogén gázokkal nagy hőmérsékleten, és illékony fémhalogenideket alkotnak. A halogenidek olvadáspontja kicsi, némelyik még szublimál is; az így képződő gáz-halmazállapotú halogenidek súlyos károsodást idéznek elő.

Az ipari környezetek gyakran tartalmaznak halogéngázokat. Számos fém, pl. magnézium, titán, cirkónium, nióbium előállításában szerepet játszik a klórozási folyamat. Ugyanez vonatkozik a műanyaggyártásra. A vegyipari műveletekben gyakori anyag a klór, ezért nagyon sok berendezés kíván olyan szerkezeti anyagot, amely képes ellenállni a nagy hőmérsékletű klór hatásának.

## A halogének okozta korrózió 3

A Cl-t és HCl-t tartalmazó környezetekben a különböző fémes szerkezeti anyagok korróziós viselkedése erősen függ attól, hogy a környezet jellege oxidáló vagy redukáló. Ha a környezet Cl-t tartalmaz, de nincs mérhető mennyiségű oxigén, akkor az acél nagyon érzékeny a klór általi támadásra. Ha az acélhoz krómot és nikkelt ötvöznek, akkor ezzel javítani lehet a korrózióállóságát: a ferrites és az ausztenites rozsdamentes acélok nagy hőmérsékleten ellenállók. A nikkel és a nikkell alapú ötvözetek lényegesen jobban ellenállnak az oxigénmentes klór környezetben a klór támadásának, mint a hagyományos korrózióálló acélok vagy a Fe-Ni-Cr ötvözetek (mint pl. az Incoloy 800 stb.). Egyes rozsdamentes acélok korrózióállóságát oxigénmentes klórgáz (Cl<sub>2</sub>) környezetben az alábbi táblázat mutatja.

## Hamu- és sólerakódások okozta korrózió 1

Sok ipari környezet tartalmazhat olyan korrozív anyagot, amely nagy hőmérsékleten hamu-, illetve sólerakódásokat eredményez. Ezek a lerakódások lényeges károsító szerepet játszanak a korróziós reakciókban, pl. a gázturbinák szerkezeti elemeinél. A sógőzök a kisebb hőmérsékleteken lerakódnak a fémfelületeken, és ott intenzív korróziót okoznak. A folyékony sólerakódások szétroncsolják a fémfelületen kialakuló védőréteget.

A szemétegetőművekben nagyon összetett lerakódások keletkeznek, amelyekben bőségesen található S, Na, K, Zn, Pb, P stb., illetve további, kis olvadáspontú V- és Mo-vegyületek, amelyek szétroncsolják a védőréteget, és gyors, olykor katasztrofálisan gyors korróziót okoznak.

## Hamu- és sólerakódások okozta korrózió 2

A hamu és a sók lerakódása a berendezések egyes szerkezeti elemeinek felületén elég gyakori a hagyományos tüzelésű erőművekben. A sólerakódás és a korrozív gázok egyaránt részt vesznek a korróziós folyamatban. A lerakódások általában csökkentik az oxigén aktivitását, és növelik a kénaktivitást; ez megnehezíti az oxid védőréteg kialakulását a fémfelületeken. Emellett reakciók mehetnek végbe az esetleg kialakult védő oxidréteg és a só között. Különösen káros hatású a folyékony fázisú sólerakódás. A tüzelőanyag-hamu okozta korrózió a túlhevítő csövek jellegzetes károsodása a szén vagy kőolaj tüzelőanyaggal fűtött kazánokban. A korrózióknak ez a típusát a megolvadt alkálifémsók jelentik széntüzelés esetén és a vanádium-pentoxid az olajtüzelésű rendszerekben. A károsodás jellegzetessége, hogy a megolvadt vanádium-pentoxid és a nátrium-szulfát kis olvadáspontú eutektikumot alkot, amely feloldja a fém felületén kialakult oxidréteget. A károsodási folyamatokat sósavgáz jelenléte tovább gyorsítja, és az is kedvezőtlen, ha redukáló környezet alakul ki, mivel növeli a kénaktivitást és a szulfidizáció veszélyét.

## Sóolvadékok okozta korrózió

A sóolvadékok korróziós hatását is jelentősen befolyásolja az oxigén aktivitása. Az olvadékot tartalmazó edényekben a felszín közelében a legerősebb a korrózió, mivel a levegővel érintkező sóban ott a legnagyobb az oxigén aktivitása.

Sóolvadékokat alkalmaznak számos iparágban: a hőkezelési technológiáknál, az atomerőművek bizonyos típusainál, stb. A megolvadt sókban kétféle korróziós mechanizmus működik:

- Az egyik a fém feloldódása, amelyet a só idéz elő; ez viszonylag ritka jelenség.
- A második és gyakoribb mechanizmus, a fém ionokká való oxidációja hasonlóan a nedves korróziós folyamatokhoz. Ezért sokszor a sóolvadék okozta korróziót úgy tekintik, mint egy átmenetet a vizes közegekben létrejövő korrózió és az olvadt fémek okozta korrózió között.

Nagy hőmérsékleten a sóolvadékoknak is lehetnek helyi korróziós hatásai: szelektív korrózió, lyukkorrózió stb. Gyakori a galvánkorrózió, az eróziós korrózió, a fretting és a feszültségi korrózió is. Elektrokémiai szempontból a sóolvadék és a fém határfelülete nagyon hasonló a vizes oldat és a fém határfelületéhez: a fém oldódását előidéző anódos reakciók, és az oxidálószeres katódos redukciója jellemzi a folyamatot.

## Sóolvadékok okozta korrózió 2

A sóolvadékok ionvezető képessége kiváló, így elektrokémiai folyamatok színtere. Auszteniites rozsdamentes acélokban a sóolvadék okozta szelektív korrózió krómban való elszegényedést okoz, mivel a felületen krómvegyület képződik; így a króm eltávozik a mátrixból, lecsökkent Cr-tartalmú zónákat és gyakran üregeket hagyva maga után. Az üregek rendszerint a szemcsehatárokon alakulnak ki, de a szemcséken belül is képződhetnek, ha az acél Ni-tartalma nagy. A kloridsóolvadékok rövid idő alatt megtámadják az anyagokat: az auszteniites acélokban és a Fe-Cr-Ni ötvözeteknél károsodás rendszerint a szemcsehatárokon halad előre. A Cr-tartalom növekedésével erőteljesen nő a korrózió megjelenése és sebessége, ami igazolja, hogy az olvadt sók okozta korróziós támadás a krómra nézve szelektív jellegű.

Bizonyított, hogy a korróziós támadást a szabad klór okozza, amely egy erősen oxidáló anyag, és megtámadja az olyan felületeket, mint pl. a diszlokációk vagy a szemcsehatárok.



### Sóoldadékok okozta korrózió 3

A fluoridoldadékok korróziós hatása arra vezethető vissza, hogy a közeg megakadályozza a felületi védőrétegek kialakulását, ill. feloldja a védőrétegeket. A krómtartalmú ötvözetek többségénél megfigyelhető a krómban elszegényedett zónák kialakulása és az üregképződés. A fluoridsók alkalmazói azt tapasztalták, hogy minél több a króm és a vas az ötvözetben, annál kisebb volt a korrózióállóság. E tapasztalatok az adott típusú atomerőművekben az anyag kiválasztást az ausztenites korrózióálló acélok felől a nikkelötvözetek felé tolták.

A nitrátok sóoldadékait általánosan használják hőkezelő fürdőknél. Az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok felületén védő hatású oxidréteg képeződik a nitrátsó-oldadékokban, amelyek 500 °C-ig hatékonyan védik a fémet. Krómötvözéssel növelhető az acél korrózióállósága. A szulfátok oldadékaiban a 25% Cr-tartalmú hőálló acélok jó ellenállást mutatnak. Ha viszont a Cr-tartalom nem elegendő, akkor az ötvözet súlyos korróziót és szulfidizációt szenvedhet.

### Sóoldadékok okozta korrózió 4

A hidroxidoldadékokban a korrózióálló acélok szelektív korróziót szenvednek. A króm szelektív korróziójáról van szó és az ezzel együtt járó, jellegzetes üregképződésről. A nikkel lényegesen ellenállóbb ilyen környezetben, mint a korrózióálló vagy az ötvözetlen acélok. Karbonát-oldadékokban az ausztenites korrózióálló acélok kb. 500 °C-ig jó ellenállást mutatnak. Legfeljebb 600 °C-ig olyan nikkelalapú ötvözeteket alkalmaznak, amelyek krómmal is ötvözve vannak, míg 700 °C-ig már legalább 48–50% Cr-ot tartalmazó, speciális ötvözetek szükségesek.

## Fémolvadékok okozta korrózió 1

A folyékony fémek okozta korrózió első tapasztalatait az atomerőművek egyes típusainál, illetve a tűzi mártó horganyzás és alumíniumozás berendezéseinél szerezték. A folyékony fémek okozta korrózió elsősorban a következő tényezők függvénye:

- az ötvözet összetétele, főként szennyezőanyag-tartalma,
- az anyag feszültségállapota,
- az üzemi hőmérséklet,
- a folyékony fém szennyezőanyag-tartalma,
- az áramlási viszonyok, a fémolvadék áramlási sebessége,
- a hevítési, ill. hűtési feltételek,
- a folyadékfázis mellett a gőzfázis jelenléte vagy hiánya,
- a korróziót inhibáló anyagok jelenléte,
- a behatási idő.

## Fémolvadékok okozta korrózió 2

Általában a folyékony fémmel való érintkezés kezdeti időszakában a legnagyobb a korrózió sebessége. Ez az időszak rendszerint 100–1000 óra nagyságrendjébe esik. Ezután egy sokkal kisebb korróziósebesség a jellemző, mivel az oldhatósági és aktivitási viszonyok dinamikus egyensúlyba kerülnek. A folyékony fémek támadása következtében a korrózióálló acél felületén gyakran alakul ki porózus, szivacsos réteg, esetenként interkristallin korrózió. Gyakori a szelektív korrózió, például a Ni-tartalom csökkenése, kioldódása, ami azt eredményezheti, hogy az ausztenites acél felületén egy vékony, 10–20  $\mu\text{m}$ -es rétegben ferrites szövet jön létre. A higanynak az acélt repedését okozó hatása régóta ismert: ez a folyékony fémek okozta korrózió elsőként észlelt megjelenési formája. A higany lerakódásként is képes megjelenni az acél felületén, általában apró foltok formájában; galvánkorróziót, repedéseket, réskorróziót és lyukkorróziót okoz.

A folyékony ólom szelektív korróziót okoz: a nikkelt támadja meg az ausztenites acélban, a felületen porózus, szivacsos szerkezet jön létre erős bemarkódásokkal, kezdőrepedésekkel. A folyékony ón korróziós hatása jellegét tekintve hasonló az óloméhoz, csak annál jóval mérsékeltebb. A folyékony antimon felületi bemarkódásokat, gödrösödést idéz elő.

## Fémolvadékok okozta korrózió 3

A folyékony cink kezdőrepedéseket indít el az ausztenites Cr-Ni acélban, amelyek szinte mindig interkrisztallin jellegűek. Az olvadt réz kisebb foltokban tapad meg az acél felületén, galvánkorróziót, bemarkódásokat okoz, elősegíti a réskorrózió kialakulását. A lítium és a nátrium hatását az atomerőművi vonatkozások miatt vizsgálták alaposan.

Az ausztenites korrózióálló acélok többsége érzékeny a folyékony fémek támadására. A Ti-nal stabilizált, 1.4541 típusú ausztenites acél súlyos korróziós károsodást szenvedhet a lágyforrasztás miatt: a forrasztásban az ólom a veszélyes összetevő, amely a nikkelt támadja: a felületen bemarkódások, repedések, szivacsos szerkezet alakul ki. Ilyenkor egy kevésbé ötvözött anyag a megfelelő választás, pl. a szürke öntöttvas, a ferrites korrózióálló acél vagy a Cr-Mo ötvözésű melegszilárd acél. E szerkezeti anyagok mindegyike jól ellenáll a szakirodalomban „forrasztási repedékenységnek” is nevezett korróziós támadásnak, nem úgy, mint a Ni-lel is ötvözött ausztenites korrózióálló acél (Peldatar-korrozio-pelda-20).

## Védekezés a nagy hőmérsékletű korrózió ellen

A nagy hőmérsékletű korrózió elleni védelem kulcsa a fém felületét borító stabil védőréteg. A védőréteggel szemben támasztott követelmények a következők:

- Termodinamikai stabilitás, vagyis a legkisebb szabadenergiájú állapot.
- Kis gőznyomás, hogy az oxid szilárd anyagként keletkezzen, ne párologjon.
- A keletkezett oxid és az oxidációval elfogyasztott fém tömegének aránya – az ún. Pilling–Bedworth-arány – legyen  $\geq 1,0$ ; ez a feltétele annak, hogy az oxid a teljes fémfelületet befedje, és hogy a reve, ill. oxidréteg védő jellegű legyen.
- A reakcióba lépő anyagoknak legyen kicsi a diffúziós együtthatója azért, hogy a reve növekedési sebessége kicsi legyen.
- Az oxidrétegnek legyen nagy az olvadáspontja.
- Az oxidréteg erősen tapadjon a fémhez; ez általában akkor lehetséges, ha a hőtágulási együtthatója közel azonos a fémével.
- Az oxidrétegnek legyen kellő alakváltozó képessége, hogy a hőtágulási és a zsugorodási feszültségek miatt ne repedezzen meg.

## További korróziós ismeretek

A fémes anyagok környezetükkel való kölcsönhatása az eddig felsorolt és a leginkább előfordulónak tekinthető korróziófajtákon kívül számos további korróziós károsodást okozhat. Ezek a kevésbé általánosítható korrózióféleségek általában valamely egyedi korróziós környezethez (pl. a talaj, a porok, a rétegvizek, a karbamid stb.), egy bizonyos szerkezeti anyaghoz (pl. az alumíniumötvözetek réteges és szálas korróziója, a vasbeton, a műanyagok, a fa korróziója stb.) vagy berendezéstípushoz (pl. a vasúti sínek rögzítőcsavarjainak és a talajba fektetett csővezetékek kóboráram okozta korróziója, a nukleáris sugárzásnak kitett berendezések korróziója stb.) kapcsolódnak. Ezek a jelenlegi keretknél jóval átfogóbb korróziós áttekintést kívánnak, így az alapképzési tananyagban célszerűtlen a tárgyalásuk. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy mindegyik különleges jelentőséggel bír a maga üzemi feltételrendszerében.

Ugyancsak jelentős fejezete a korróziós szakterületnek a korrózió elleni védelem, amelynek különféle módszerei szintén önálló tananyagok formájában tárgyalhatók; a korróziós szakirodalom erre is számos lehetőséget kínál.

## A kopásállóság mint tulajdonság 1

A gépészeti szerkezeti anyagok – kerámiák, fémes, polimer és társított anyagok – üzemelése óhatatlanul együtt jár a felületükre ható igénybevételekkel, amelyek az élettartamukat jelentősen befolyásolják. Az igénybevételek tönkremeneteli folyamatokat indítanak el az alkatrészek felületén vagy a felület közeli rétegben. E károsító hatásokkal szemben az alkatrész tartóssága meghatározó módon függ az anyag ellenálló képességétől. A szerkezeti anyagoknak a károsító hatásokkal szembeni ellenállását anyagtulajdonságoknak tekintjük; ezek egyik legfontosabbika a koptató hatásokkal szembeni ellenállás, a kopásállóság.

Az igénybevételek és a hatásukra bekövetkező károsodási folyamatok különféle fajtáit más fejezetekben részletesen ismerteti ez a tankönyv: a töréssel, kúszással kapcsolatos ismeretanyag a xyz. fejezetben olvasható, a korróziállósággal a xyz. fejezet, a hőállósággal pedig a ennek a fejezetnek a xyz. alfejezete foglalkozik. Ebben a fejezetben a koptató igénybevételeket, a kopási jelenséget, a kopási károsodásokat és a kopással szembeni ellenállás témakörét tekintjük át, elsősorban a fémes anyagokra irányítva a figyelmet.

## A kopásállóság mint tulajdonság 2

A kopás gazdasági kihatásai a korrózióhoz hasonlóak: világszerte jelentős ipari és kutatás-fejlesztési ágazatok „köszönhetik létüket” annak, hogy a kopás károsítja a szerkezeti anyagokat: a kenőanyagokat előállító ipar, a kopásálló anyagok gyártása, a kopási károsodások megelőzésére és javítására összpontosító felrakóhegesztési és termikus szórásos iparág, illetve a járműipari fékberendezések, gumiabroncsok ipara stb. A kopást tárgyaló szakkönyvek és tudományos folyóiratok iránti érdeklődés is a szakterület jelentőségét fejezi ki.

## A koptató igénybevétel és a kopás általános meghatározása 1

Koptató igénybevételről akkor beszélünk, amikor az üzemelő berendezések egyes alkatrészei felületi érintkezésbe kerülnek más alkatrészekkel vagy anyagokkal, amely érintkezés a felületet elsődlegesen nyomó igénybevétellel terheli. A kopást okozó közegek lehetnek:

- gáz- vagy gőzfázisú anyagok,
- folyadékok,
- szilárd anyagok, pontosabban tömbös anyagok (más alkatrészek),
- szemcsés anyagok,
- porok és
- vegyes fázisú anyagok.

A koptató igénybevétel időbeli lefolyását tekintve lehet:

- tartós vagy rövid idejű,
- folyamatos vagy ismétlődő,
- a terhelésfelfutást tekintve lassan vagy dinamikusan felfutó.

## A koptató igénybevétel és a kopás általános meghatározása 2

Különös fontossággal bír, hogy az érintkező felületek között van-e relatív elmozdulás. Ha van, akkor a súrlódás válik a kopási folyamat főszereplőjévé, ám ez egy teljesen önálló szakterület, a tribológia felségterülete. A koptató igénybevétel következtében a felület képlékeny alakváltozást szenved vagy/és kis anyagdarabok válnak le róla.

A koptató igénybevételnek a fenti, meglehetősen leegyszerűsített meghatározása alapján is jól definiálható a kopás, amely tehát nem más, mint a felület és a környezete közötti olyan, elsődlegesen mechanikai terhelés okozta tönkremeneteli folyamat, amelyben az anyag felületi károsodása képlékeny alakváltozással és anyagdarabok leválásával megy végbe.

## A kopási érintkezések

A kopási folyamat csak akkor alakulhat ki, ha a felület érintkezésbe lép a kopást okozó anyaggal. A felületek kopási érintkezései a következő típusúak lehetnek:

- csúszási vagy siklási kopási érintkezés,
- gördülési kopási érintkezés,
- ütközési kopási érintkezés,
- berágódásos kopási érintkezés vagy fretting,
- szuszpenziós kopási kapcsolat.



## A kopási folyamat alaptípusai 1

A felsorolt felületi érintkezések minden esetben nyomóterheléssel terhelik a kopásnak kitett felületet; az ennek következtében fellépő alakváltozás lehet rugalmas vagy képlékeny. A kopási károsodások a kopási folyamat lefolyását tekintve különféle alaptípusokra oszthatók, amelyek a teljesség igénye nélkül a következők:

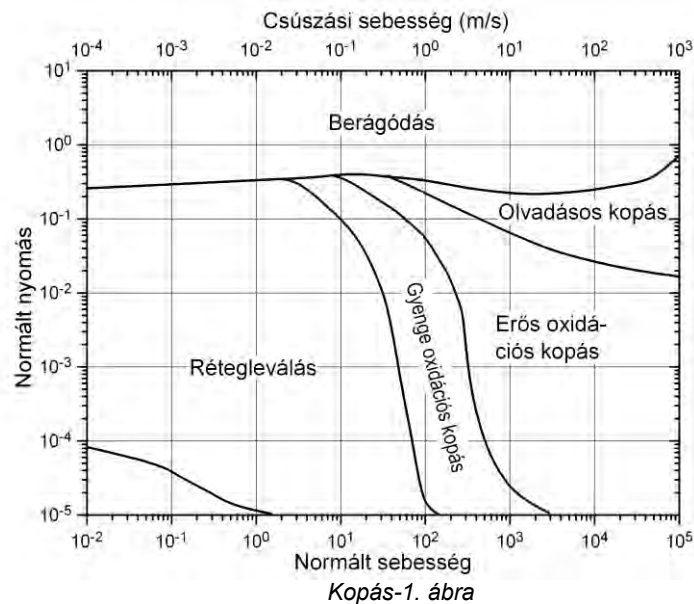
- Csiszolási kopás (abráziós kopás): két test között vagy három test között (két felület között kemény részecskék) jön létre. Megkülönböztetjük a képlékeny alakváltozással járó esetet (szívós anyagoknál), valamint a részecskeleválással járó esetet (kemény, rideg anyagok).
- A csiszolási kopás sajátos változata az erózió vagy eróziós kopás; ilyenkor a felület kopását a vele ütköző részecskék okozzák.
- Az érintkező felületek nagy relatív sebessége és erős felmelegedése estén lép fel a diffúziós kopás, amely jellemző a forgácsolószerszámok felületein.

## A kopási folyamat alaptípusai 2

- Tapadási kopás (adhéziós kopás): az érintkező felületek molekulái, atomjai között kötések jönnek létre, és ezt a kötést károsítja a kopás. Lágy kopásról beszélünk, ha csak az adhéziós kötések nyíródnak el, ellenben erős kopásról vagy berágódásos kopásról, ha a felületek egyikén feltépődések képződnek.
- Fáradásos kopás: az ismétlődő mechanikai terhelés hatására mikrorepedés képződik, amely a felület mentén terjed, és ennek következtében nagy anyagdarabkák válnak le a felületről: kipergés, morzsolódás, lehámlás, rétegleválás lehetnek e jellegzetes részfolyamatok.
- Korróziós kopás: a mechanikai igénybevételhez a közeg korróziós hatása (kémiai vagy/és elektrokémiai) is társul, és az anyag felületén lévő védőréteget ez a két hatás együttesen károsítja.

A csiszolási és a tapadási kopás csak képlékeny alakváltozási feltételek esetén alakulhat ki.

## A kopási tönkremenetelek típusai 1.



Kopás-1. ábra: Az Ashby-féle kopási mechanizmus térkép két acélfelület kopására vonatkozóan

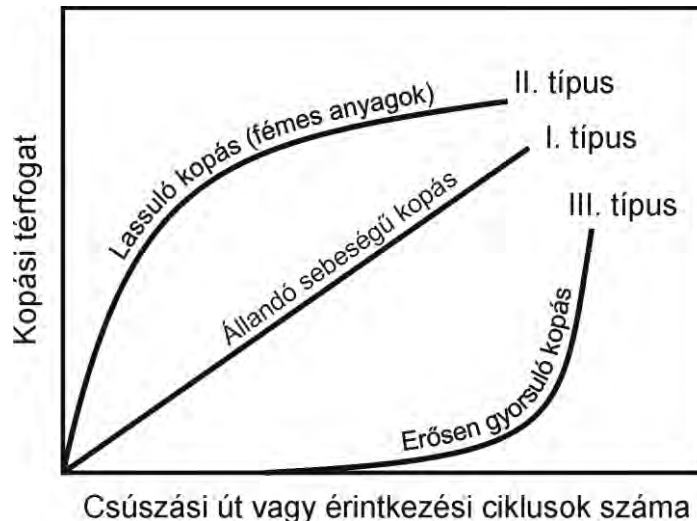
## A kopási tönkremenetelek típusai 2.

A kopási károsodások jellegét tekintve a fenti kopáslefordulási módok között a többség tisztán mechanikai jellegű kopási folyamat; az ilyen kopási folyamatok végeredménye az anyag felületi rétegében bekövetkező szívós, rideg- vagy fáradásos törés. A korróziós kopás kémiai, pontosabban tribokémiai kopási folyamat, amelynek eredményeként az anyag korróziós oxidációs és diffúziós folyamatok során kémiai feloldódik (az elektrokémiai korróziós eseteket nem is soroljuk ide). Károsodáselemzési tárgyalásban számon tartjuk még a termikus kopást, amelynek sajátossága, hogy a súrlódási hő hatására a felület egy rétege akár meg is olvadhat.

Végeredményben tehát a kopási tönkremenetelek három fő végkifejlete a következő lehet: anyagdarabok leválása, egy felületi réteg megolvadása és a felület kémiai feloldódása. A kopásra vonatkozóan is kidolgozták a kopási mechanizmusok térképét, amelyet acél–acél anyagpárra vonatkozóan a Kopás-1. ábra mutat.

## A kopás mértékét kifejező jellemzők

Kopási sebesség, fajlagos kopási sebesség, kopási tényező,  $K = \frac{W}{F \cdot v \cdot t}$



Kopás-2. ábra

Kopás-2. ábra: A kopási térfogat kialakulásának három alaptípusa

## A kopás mértékét kifejező jellemző 2.

A kopás mértékét azért lényeges számszerűsíteni, hogy ily módon különbséget lehessen tenni a feltételek veszélyessége és az anyagok viselkedése között. A kopás mértékét leggyakrabban a következő tényezőkkel fejezhetjük ki:

- **Kopási tömegvesztés:** az egyenletes kopásnak kitett felületről meghatározott feltételek – hőmérséklet, időtartam, koptatóanyag stb. – mellett levált anyag tömege.
- **Kopási vastagságcsökkenés:** az egyenletes kopásnak kitett alkatrész vastagságának csökkenése meghatározott feltételek mellett; pl. a Barber-féle kopási mérték az időegység alatt, adott hőmérsékleten és nyomáson kialakult kopási mélységet jelöli.
- **Kopási térfogat,  $W$  (mm<sup>3</sup>).** A kopás által érintett kopási térfogat a felületek közötti csúszás sebességének, időtartamának (vagy a csúszási útnak), a közöttük ható nyomásnak és az anyagminőségnek (közelebbről: a keménységnek) a függvénye. A Kopás-2. ábra mutatja a kopási térfogat kialakulásának főbb típusait. A csiszolási kopás esetére a Rhee-, a Holm- és az Archard-féle törvény a legelterjedtebb, de jelezni kell, hogy az elmúlt évtizedekben gyakran születnek új kopási törvények.

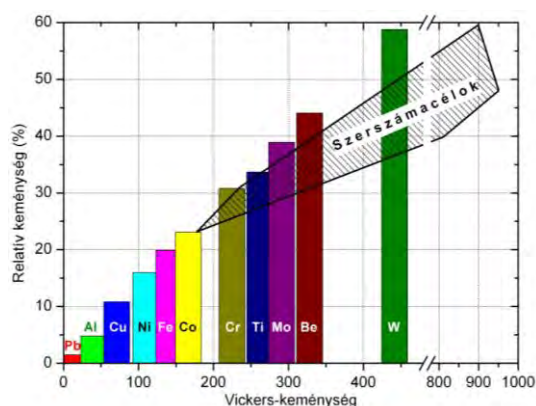
## A kopás mértékét kifejező jellemzők 3.

- *Kopási sebesség, fajlagos kopási sebesség, kopási tényező.* A fajlagos kopási sebességet a koptatóvizsgálatok jellegzetes berendezése – függőleges tengely körül forgó tárcsára nyomott koptatótűske – jellemzői határozzák meg. A fajlagos kopási sebesség a forgó tárcsa egy körbefordulása alatt a koptatótűske által leválasztott anyagterfogat; mértékegysége:  $\text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ ,  $\text{mm}^3/(\text{kg} \cdot \text{m})$  vagy esetenként a terhelőerő figyelmen kívül hagyásával  $\text{mm}^3/\text{m}$ . A  $0,01 \text{ mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ -nél nagyobb kopás már rendkívül jelentősnek számít; a hidrodinamikusan kenési feltételek biztosításával ez a kopási sebesség akár tíz nagyságrenddel is csökkenthető.
- *Eróziósebesség.* A felületnek ütköző  $M$  tömegű részecske által leválasztott  $K$  tömegű relatív anyagmennyiséggel fejezzük ki:  $v_e = M / K$ , mértékegysége  $\text{mg/g}$ . A kisebb méretű, lágyabb, kevésbé szögletes, kisebb sebességű és kisebb szög alatt becsapódó részecskék kisebb eróziósebességet okoznak. A különféle kopáslefordulási módokat vizsgálva az eróziós feltételek között kopik a leggyorsabban ugyanaz a felület.

A kopási térfogatot és a kopási sebességet egyaránt jelentősen növeli az érintkező felületek relatív keménységének növekedése. A súrlódási tényezőnek általában nincs egyértelmű hatása a kopás mértékére.

## Az anyagok kopásállósága 1.

Fajlagos kopásállóság:  $\frac{1}{K}$  ( $\text{mm}^{-2}$ )



Kopás-3. ábra

Kopás-3. ábra: relatív kopásállóság csiszolási (abrázios) kopási feltételek esetén különféle fémes anyagokra (amikor az anyagleválás előzetes képlékeny alakváltozással megy végbe)

## Az anyagok kopásállósága 2.

Számos iparágban elsőrendű követelmény az alkalmazott anyagok kopással szembeni jó ellenállása. Csak kiragadva néhány területet, a szén-, kőolaj- és kőbányászatban, a cukoriparban, a föld- és talajművelésben, az újrafeldolgozó iparágakban, a megmunkáló szerszámok anyagai esetében a kopásállóság iránti elvárás azt egyik legfontosabb felhasználói követelmény.

A szerkezeti anyagoknak a kopás különféle fajtáival szembeni ellenállása a kopásállóság. Ez egy általános fogalom, amelynek természetesen vannak egyedi, sokszor különleges esetei, pl. a repülőgépek alumíniumötvözeteinél a vízcsapok eróziós hatásával szembeni ellenállás különösen lényeges, míg a forgácsológépek szerszámoknál a nagy hőmérsékleten az élkopással szembeni ellenállás jelenti a sajátos követelményt.

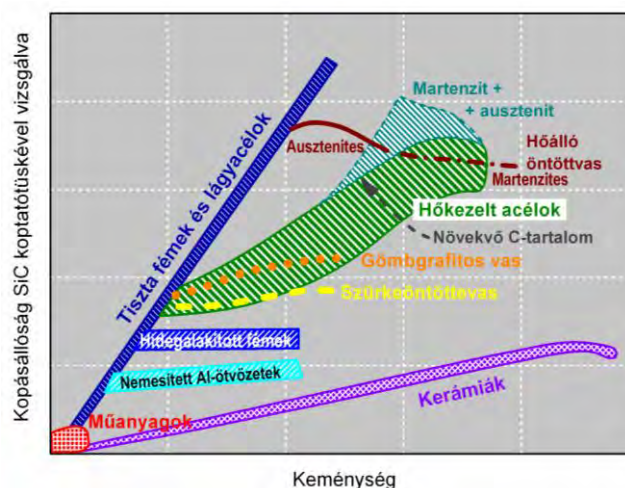
A kopásállóságot a következő tényezőkkel szokás számszerűen kifejezni:

- *Fajlagos kopásállóság*: a  $K$  fajlagos kopási sebesség reciproka.
- *Relatív kopásállóság, (%)*: valamely referencia anyaghoz viszonyított fajlagos kopásállóság vagy más kopásállósági jellemző.
- *Kopási élettartam*: a kopásnak kitett felület üzemszerű használhatóságának ideje.
- *Kopásállósági határhőmérséklet*: az a hőmérséklet, amelyet nem lehet meghaladni az alkatrész üzemszerű működésekor.

## Az anyagok kopásállósága 3.

A színfémek vagy a lágyított állapotú ötvözetek relatív kopásállóságára vonatkozóan megállapítható, hogy egyértelmű és lineáris kapcsolat áll fenn a keménység és a relatív kopásállóság között; ez azt jelenti, hogy egy lágyabb fém, pl. a réz kevésbé kopásálló, mint a keményebb króm (lásd a kopás-3. ábrát). A hőkezeléssel keményített acélok vagy a kiválásos keményedéssel növelt szilárdságú ötvözetekre is érvényes a lineáris kapcsolat a keménység és a kopásállóság között. Ugyanakkor a hidegalakítással növelt szilárdságú anyagokban gyakorlatilag nincs kopásállóság-növekedés; ennek az az oka, hogy a kopási folyamatok első szakaszában lejátszódó képlékeny alakváltozás jelentősen nagyobb keményedést okoz, mint bármely gyártási eljárás.

## Az anyagok kopásállósága 4.



Kopás-4. ábra

Kopás-4. ábra: A különféle anyagcsaládok és egyes anyagcsoportok kopásállósága

## Az anyagok kopásállósága 5.

A kopásnak kitett szerkezeti anyagok vizsgálata azt mutatta, hogy a törési szívósság növekedésével általában csökken a kopásállóság. A különféle anyagcsaládok kopásállóságát tekintve (kopás-4. ábra) nem meglepő, hogy a műanyagoknak a kopásállóság nem az erősségük, de a kerámiák gyenge kopásállósága annál inkább; ez annak tudható be, hogy az anyagleválás lényegesen gyorsabb akkor, ha azt nem előzi meg képlékeny alakváltozás. Természetesen léteznek minden anyagcsaládban olyan anyag típusok, amelyek kifejezetten a kopásállósági jellemzők terén erősek, azonban ezekbe a részletekbe, továbbá a kopásállóság növelésére szolgáló eljárásokba ebben a tananyagban nincs mód bepillantani.

A kopásnak kitett szerkezeti anyagok vizsgálata azt mutatta, hogy a törési szívósság növekedésével általában csökken a kopásállóság. A különféle anyagcsaládok kopásállóságát tekintve (kopás-4. ábra) nem meglepő, hogy a műanyagoknak a kopásállóság nem az erősségük, de a kerámiák gyenge kopásállósága annál inkább; ez annak tudható be, hogy az anyagleválás lényegesen gyorsabb akkor, ha azt nem előzi meg képlékeny alakváltozás. Természetesen léteznek minden anyagcsaládban olyan anyag típusok, amelyek kifejezetten a kopásállósági jellemzők terén erősek, azonban ezekbe a részletekbe, továbbá a kopásállóság növelésére szolgáló eljárásokba ebben a tananyagban nincs mód bepillantani.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 17. Komplex anyagjellemzők értelmezése és felhasználása

Szerzők: Varga Péter  
Pinke Péter  
Kovács-Coskun Tünde

[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)



## Tartalom

1. A komplex anyagjellemző értelmezése .....	562
2. Komplex anyagjellemzők felhasználása.....	567
3. Példák komplex anyagjellemzőkre és meghatározásukra.....	573
4. Anyagválasztás több követelmény és cél esetén .....	577

## 1. A komplex anyagjellemző értelmezése

Az anyagválasztás során az anyag teljesítőképességét befolyásoló tulajdonságot vagy tulajdonságegyüttest *anyagjellemzőnek* nevezzük.

Az anyag teljesítőképességének leírásához néha elég egy jellemző, máskor viszont több jellemző együttesen határozza meg azt.

A *követelmények* megadják a termék bizonyos tulajdonságainak elérendő határértékeit. Ahhoz, hogy a kijelölt *célokat* minél inkább megközelítsük, a megfelelő anyagjellemzők szélső értékeit kell keresnünk.

Amennyiben a cél nem kötődik szorosan egy követelményhez, a maximalizálandó vagy minimalizálandó anyagjellemző *egyszerű* lesz, egy adott tulajdonság értékeit tartalmazza. Ha azonban a cél kapcsolatban áll egy követelménnyel, az optimalizálandó anyagjellemző a tulajdonságok egy csoportját fogja tartalmazni, *komplexsége* válik.

## 1. A komplex anyagjellemző értelmezése

Ha az alkatrész funkciója a hőszigetelés, a leginkább megfelelő anyag az, amelyik a legkisebb hővezető képességgel rendelkezik, tehát hővezetési tényezője ( $\lambda$  [W/mK]) a legkisebb értékű.

A csavarrugók anyagának teljesítőképességét (a rugó energiátároló képességét befolyásolva), annak folyáshatára (illetve az abból származtatott megengedhető feszültség,  $\sigma$  [MPa]) és rugalmassági modulusa ( $E$  [MPa]) együttesen képes csak megadni. Cél a komplex anyagjellemző ( $\sigma^2/E$ ) értékének maximalizálása.

## Anyagválasztás egyszerű anyagjellemző alapján

Funkció	Mikroprocesszor hűtőborda.
Követelmények	Az anyagnak jó elektromos szigetelőnek kell lennie, a fajlagos ellenállás: $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$ . A méretek kötöttek.
Célok	Minél nagyobb hővezető képesség.
Szabad változók	Anyagminőség.

Az anyagválasztás a következő dián található hővezető képesség ( $\lambda$ ) – fajlagos ellenállás ( $\rho_e$ ) szelekciós kártya alapján történik.

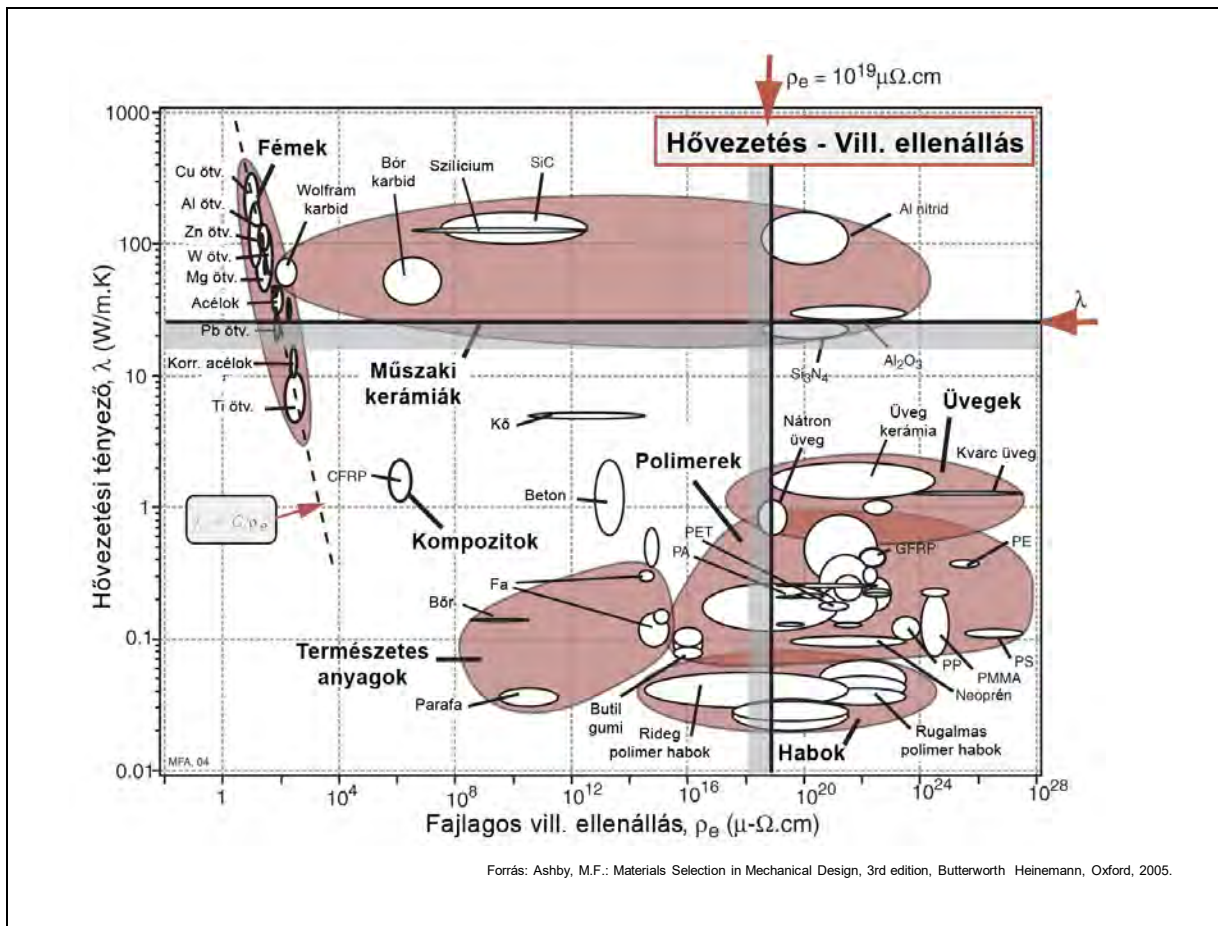
A függőleges vonal a követelményként megfogalmazott értéket jelzi, az ez alá eső anyagokat el kell távolítani a lehetséges jelöltek listájáról. A fennmaradó anyagok rangsorolása fajlagos ellenállásuk alapján történik (vízszintes vonal).

A legmagasabb értékkel rendelkező jelöltek közül ( $\text{AlN}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a kiegészítő információk alapján választunk.

A termék funkciójából adódó követelmény, hogy elektromosan szigetelő legyen, hiszen közvetlenül érintkezik a processzorral. A tulajdonság kritérium a fajlagos ellenállás, aminek határértéke  $\rho_e = 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$ . A lehetséges válasz igen-nem jellegű, amennyiben az anyag fajlagos ellenállása ennél kisebb, nem felelt meg az előzetes szűrésen, a későbbi vizsgáladásból kizárásra kerül.

Az előzetes szűrésen megfelelt anyagok között rangsort kell felállítani a megfogalmazott cél szerint. Az optimalizálandó anyagjellemző a hővezető képesség lesz, ez határozza meg az anyag teljesítőképességét.

Ha ezeket lefordítjuk a szelekciós kártyák nyelvére, a szűrés és rangsorolás gyorsan és egyszerűen elvégezhető.



## Anyagválasztás komplex anyagjellemző alapján

Funkció	Húzott rúd.
Követelmények	A rúd hossza (L [mm]). A rúd merevsége: adott értékű, egytengelyű húzóerő (F [N]) elviselése meghatározott alakváltozás ( $\Delta L$ [mm]) meghaladása nélkül.
Célok	Minél kisebb tömeg (m [kg]).
Szabad változók	Anyagminőség. Keresztmetszet mérete (A [mm <sup>2</sup> ]).

A szerkezet teljesítőképességének növelése ebben az esetben tömegének csökkentésével valósítható meg, azzal a feltétellel, hogy alakváltozása nem haladhat meg egy adott értéket.

A szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F] \cdot [L^2/\Delta L] \cdot [\rho/E]$

A maximalizálandó anyagjellemző tehát egy összetett (komplex) mennyiség lesz, a fajlagos rugalmassági modulus ( $E/\rho$  [MPa/(kg/ m<sup>3</sup>)]).

A húzó igénybevétel miatt a keresztmetszet alakja nem, csak mérete befolyásolja a teherbíró képességet.

Egy szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $P = F \cdot G \cdot M$ , ahol

P – a teljesítőképesség aminek maximalizálására törekedni kell; F - a funkcionális-, G - a geometriai jellemzők, amik a követelményekből adódnak, tehát kötöttek; M - az anyagjellemző. Így tehát az anyagjellemző lesz az, amely értékének növelésével emelhető a szerkezet teljesítőképessége.

A követelményből merevségre történő méretezés adódik. A Hooke-törvény:  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ; a terhelés:  $\sigma = F/A$ ; az alakváltozás:  $\varepsilon = \Delta L/L$ .

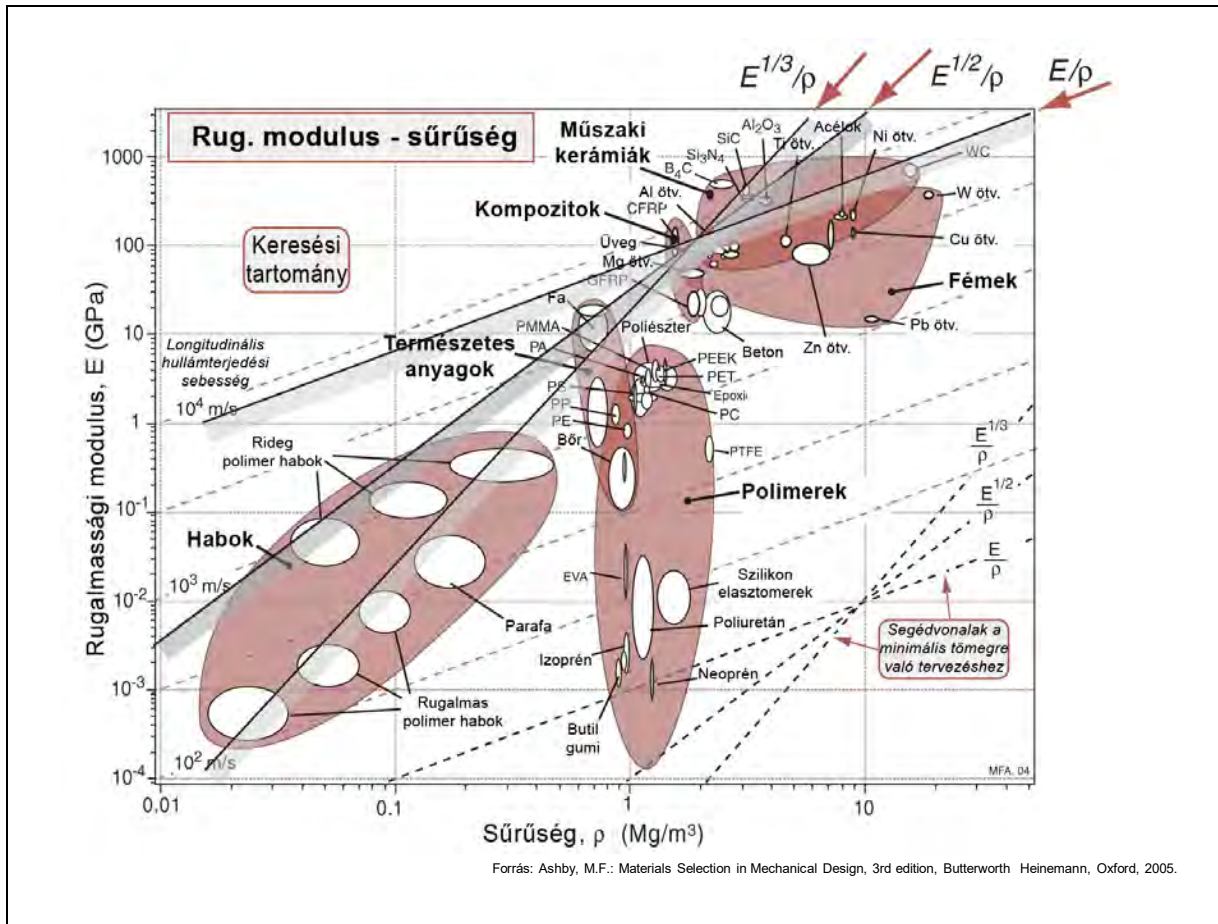
Az előzőekből:  $F = E \cdot \Delta L/L \cdot A$ , ill.:  $A = (F \cdot L)/(E \cdot \Delta L)$ .

A cél a minél kisebb tömeg:  $m = A \cdot L \cdot \rho$ .

Ezek összevonásával adódik a szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F] \cdot [L^2/\Delta L] \cdot [\rho/E]$ , ahol  $\sigma$  – az ébredő feszültség [MPa]; E - a rugalmassági modulus [MPa];  $\varepsilon$  – a fajlagos alakváltozás [-];  $\rho$  – a sűrűség [kg/m<sup>3</sup>].

A teljesítőképességi egyenlet tagjai úgy vannak rendezve szögletes zárójelekbe, hogy azok a funkcionális, a geometriai és anyagjellemzőket adják.

Mivel a teljesítőképesség maximumát keressük:  $P = 1/m$ , ebből:  $M = E/\rho$  lesz a maximalizálandó komplex anyagjellemző, ami a fajlagos rugalmassági modulus.



Az előző feladatban megfogalmazott komplex anyagjellemző szerinti rangsoroláshoz a rugalmassági modulus – sűrűség szelekciós kártya szükséges. A kártyákon adott meredekségű tervezési segédvonalak jelölhetők ki, amelyek eltolásával változik az anyagjellemző értéke.

A szelekciós kártyákon található mennyiségek logaritmikus skálázású tengelyeken jelennek meg, így ezek aránya, azaz egy komplex anyagjellemző ferde egyenesként látszik a diagramon.

A logaritmikus lépték miatt  $E/\rho = C$  (konstans), felírható:  $\log E = \log \rho + \log C$ . Tehát a  $E/\rho$  eltérő értékeihez tartozó egyenesek ugyanolyan meredekséggel, de eltolva jelennek meg a diagramon. Az eltolás mentén minél nagyobb értékű (feljebb lévő) egyenes metszi az adott anyag „buborékját”, az annál jobban teljesít (jelen esetben nem számítva a költségekkel, gyártással, stb.), annál előkelőbb helyet foglal el a felállított rangsorban.

## 2. Komplex anyagjellemzők felhasználása

Változtassuk meg az előbbi példából a terhelést húzásról hajlításra! A keresztmetszet alakja legyen négyzetes.

Funkció Középen koncentrált erővel terhelt kéttámaszú tartó.

Követelmények A tartó hossza ( $L$  [mm]).

A tartó merevsége: adott értékű erő ( $F$  [N]) hatására a lehajlás ( $\delta$  [mm]) nem haladhat meg egy meghatározott értéket.

Célok Minél kisebb tömeg ( $m$  [kg]).

Szabad változók Anyagminőség.

Keresztmetszet mérete ( $A$  [mm<sup>2</sup>]).

A szerkezet teljesítőképességének növelése ebben az esetben tömegének csökkentésével valósítható meg, azzal a feltétellel, hogy alakváltozása nem haladhat meg egy adott értéket.

A szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F^{1/2}] * [(L^5/4*\delta)^{1/2}] * [\rho/E^{1/2}]$

A maximalizálandó anyagjellemző:  $(E^{1/2}/\rho$  [MPa<sup>1/2</sup>/(kg/m<sup>3</sup>)]).

## 2. Komplex anyagjellemzők felhasználása

A követelményből merevségre történő méretezés adódik. Hajlításra:  $F/\delta = (C_1 * E * I) / L^3$ ; négyzet keresztmetszet esetén:  $I = a^4 / 12$ ; középen koncentrált erővel terhelt kéttámaszú tartó esetén:  $C_1 = 48$ ;  $A = a^2$ .

Az előzőekből:  $\delta = (F * L^3) / (4 * E * A^2)$ , ill.:  $A = ((F * L^3) / (4 * E * \delta))^{1/2}$ .

A cél a minél kisebb tömeg:  $m = A * L * \rho$ .

Ezek összevonásával adódik a szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F^{1/2}] * [(L^5/4 * \delta)^{1/2}] * [\rho/E^{1/2}]$ , ahol

$\delta$  – a lehajlás a tartó közepén [mm];  $C_1$  – a befogási és terhelési módtól függő konstans;  $I$  – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka [mm<sup>4</sup>];  $a$  – az oldalhosszúság [mm];  $\rho$  – a sűrűség [kg/m<sup>3</sup>].

A teljesítőképességi egyenlet tagjai úgy vannak rendezve szögletes zárójelekbe, hogy azok a funkcionális, a geometriai és anyagjellemzőket adják.

Mivel a teljesítőképesség maximumát keressük:  $P = 1/m$ , ebből:  $M = E^{1/2}/\rho$  lesz a maximalizálandó komplex anyagjellemző.

Ebben az esetben is az előző szelekciós kártyát kell használni az anyagok rangsorolásához, azonban logaritmizálva  $E^{1/2}/\rho = C$  egyenletet a következőt kapjuk:  $\log E = 2 * (\log \rho * \log C)$ , tehát a segédvonal meredeksége 2-re változik (a szelekciós kártyán jelölve).

Változtassunk úgy az előző példán, hogy rögzítsük a tartó szélességét ( $w$  [mm])!

Funkció Középen koncentrált erővel terhelt kéttámaszú tartó.

Követelmények A tartó hossza ( $L$  [mm]).

A tartó merevsége: adott értékű erő ( $F$  [N]) hatására a lehajlás ( $\delta$  [mm]) nem haladhat meg egy meghatározott értéket.

Célok Minél kisebb tömeg ( $m$  [kg]).

Szabad változók Anyagminőség.

Szelvényvastagság ( $t$  [mm]).

A szerkezet teljesítőképességének növelése ebben az esetben tömegének csökkentésével valósítható meg, azzal a feltétellel, hogy alakváltozása nem haladhat meg egy adott értéket.

A szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F^{1/3}] * [(L^6 * w^2 / 4 * \delta)^{1/3}] * [\rho / E^{1/3}]$

A maximalizálandó anyagjellemző:  $(E^{1/3} / \rho \text{ [MPa}^{1/3} / (\text{kg/m}^3)])$ .

A követelményből merevségre történő méretezés adódik. Hajlításra:  $F/\delta = (C_1 * E * I) / L^3$ ; négyzet keresztmetszet esetén:  $I = w * t^3 / 12$ ; középen koncentrált erővel terhelt kéttámaszú tartó esetén:  $C_1 = 48$ .

Az előzőekből:  $\delta = (F * L^3) / (4 * E * w * t^3)$ , ill.:  $t = ((F * L^3) / (4 * E * w * \delta))^{1/3}$ .

A cél a minél kisebb tömeg:  $m = w * t * L * \rho$ .

Ezek összevonásával adódik a szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F^{1/3}] * [(L^6 * w^2 / 4 * \delta)^{1/3}] * [\rho / E^{1/3}]$ , ahol

$\delta$  – a lehajlás a tartó közepén [mm];  $C_1$  – a befogási és terhelési módtól függő konstans;  $I$  – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka [mm<sup>4</sup>];  $\rho$  – a sűrűség [kg/m<sup>3</sup>].

A teljesítőképességi egyenlet tagjai úgy vannak rendezve szögletes zárójelekbe, hogy azok a funkcionális, a geometriai és anyagjellemzőket adják.

Mivel a teljesítőképesség maximumát keressük:  $P = 1/m$ , ebből:  $M = E^{1/3} / \rho$  lesz a maximalizálandó komplex anyagjellemző.

Ebben az esetben is az előző szelekciós kártyát kell használni az anyagok rangsorolásához, azonban logaritmizálva a  $E^{1/3} / \rho = C$  egyenletet a következőt kapjuk:  $\log E = 3 * (\log \rho * \log C)$ , tehát a segédvonal meredeksége 3-ra változik (a szelekciós kártyán jelölve).



## Anyagválasztás rugóhoz

A rugók elsődleges feladata rugalmas energia tárolása – függetlenül alakjuktól és terhelési módjuktól.

**Funkció**                      Rugalmas energia tárolása.

**Követelmények**    Képlékeny alakváltozás kizárása (folyáshatár vagy más tönkremeneteli feszültség ( $\sigma_f$  [MPa])).

**Célok**            Minél kisebb tömeg – tömegegységenként minél nagyobb tárolt rugalmas energia ( $W_m$  [kJ/kg]).

**Szabad változók**    Anyagminőség.

A szerkezet teljesítőképességének növelése tömegének csökkentésével valósítható meg a tárolt energia csökkenése nélkül, azzal a feltétellel, hogy alakváltozása rugalmas kell maradjon.

A maximalizálandó anyagjellemző a tömegegységenként tárolható rugalmas energiából származtatva: ( $\sigma_f^2/(\rho \cdot E)$  [kJ/kg]).

Tömbi anyag nyomásával a tönkremeneteli feszültséggel terhelve a térfogategységre jutó tárolt rugalmas energia:  $W_v = (1/2) \cdot (\sigma_f^2/E)$ .

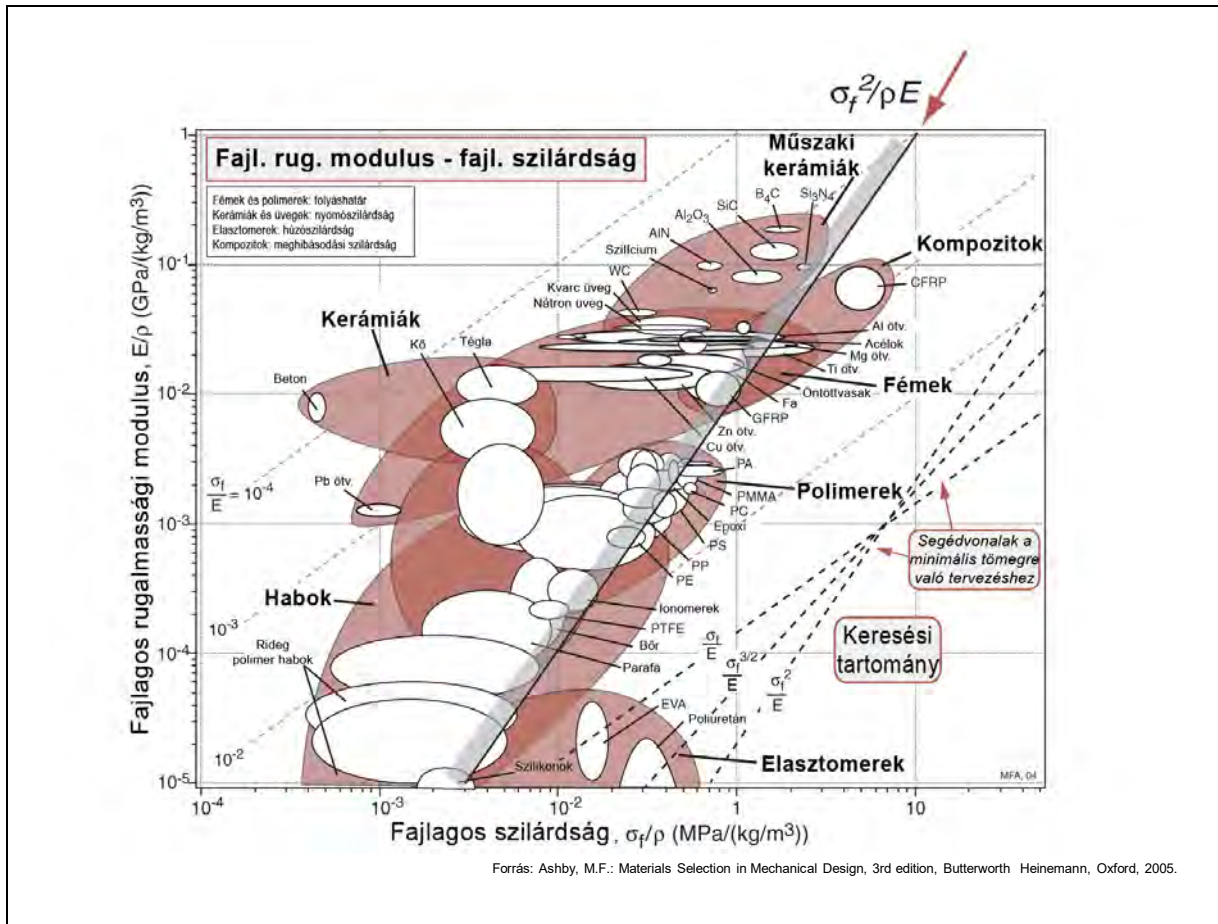
A feszültség nem egyenletes eloszlásából adódóan a laprugók és torziós rugók kevésbé hatékonyak:  $W_v = (1/4) \cdot (\sigma_f^2/E)$ , és  $W_v = (1/3) \cdot (\sigma_f^2/E)$ .

A tömegre vonatkoztatva:  $W_m = (1/2) \cdot (\sigma_f^2/(\rho \cdot E))$ .

$W_v$  – a térfogategységben tárolt rugalmas energia [kJ/m<sup>3</sup>];  $W_m$  – a tömegegységben tárolt rugalmas energia [kJ/kg];  $E$  – a rugalmassági modulus [MPa];  $\rho$  – a sűrűség [kg/m<sup>3</sup>].

A maximalizálandó komplex anyagjellemző:  $M = (\sigma_f^2/(\rho \cdot E))$ .

Látható, hogy a komplex anyagjellemző független a terhelési módtól.



ANYAG	Anyagjellemző $M = (\sigma_f^2 / (\rho * E))$ [kJ/kg]	Megjegyzések
Rugóacél	0,4 – 0,9	Túl nagy sűrűség
Ti-ötvözetek	0,9 – 2,6	Acélnál jobb, korrózióálló, drága
CFRP kompozit	3,9 – 6,5	Acélnál jobb, drága
GFRP kompozit	1,0 – 1,8	Acélnál jobb, olcsóbb, mint CFRP
Fa	0,3 – 0,7	Környezeti hatásokra érzékeny
PA	1,3 – 2,1	Acélnál jobb, nagy hiszterézis
Gumi	18 – 45	Kiemelkedően jó, nagy hiszterézis

Egyéb megfontolandó tényezők:

- Reológiai folyamatok
- Korrózió
- Üzemi hőmérséklet
- Veszteségek (csillapítás)

Nyomó terhelés esetén (tömegére nézve) ideális megoldást a lérugók adnak, ám az egyszerűsítés kedvéért bizonyos körülményeket, megfontolásokat itt nem tárgyalunk.

Mindezek ellenére a leginkább elterjedt rugóanyag az acél. Ez több okra vezethető vissza: egyszerű és olcsó gyárthatóság, olcsóság, üzemi körülmények, biztonsági tartalék töréssel szemben (képlékeny alakváltozó képesség) stb.

Magas üzemi hőmérsékleten és gyakori vagy állandó terhelés esetén (kúszás, hiszterézisveszteség miatt hőfejlődés) polimer (illetve polimer mátrixú kompozit) anyagú rugók nem alkalmazhatók.

## A komplex anyagjellemző nem mindig csak az anyagtól függő jellemző

Anyagjellemző: anyagminőségtől függő állandó.

Komplex anyagjellemző: az anyagminőségen kívül más tényezőket is figyelembe vesz.

- Alak
- Költség (előállítási, használati, újrahasznosítási)
- Gyárthatóság

Az anyagvizsgálatban anyagjellemzőnek tekintjük azt az állandót, amit – a környezeti hatásoktól (hőmérséklet, igénybevételi sebesség) és a feszültségállapottól eltekintve – kizárólag az anyag minősége (kémiai összetétele, szerkezete) határoz meg.

A komplex anyagjellemző egy optimalizálási feladat paramétere. Az anyagválasztás során figyelembe kell venni az alkatrész alakját, előállíthatóságát és a felmerülő költségeket is, így ezek mind szerepelhetnek az optimalizálandó paraméterben.

### 3. Példák komplex anyagjellemzőkre és meghatározásukra

Funkció, követelmények és szabad változók	Méretezés merevségre	Méretezés szilárdságra
Húzott rúd Terhelés, merevség adott Keresztmetszet változhat	$E/\rho$	$\sigma/\rho$
Csavart rúd, vagy cső Nyomaték, merevség adott Keresztmetszet változhat	$G^{1/2}/\rho$	$\sigma^{2/3}/\rho$
Hajlított tartó Merevség és hossz adott Keresztmetszet változhat	$E^{1/2}/\rho$	$\sigma^{2/3}/\rho$
Nyomott rúd Terhelés és hossz adott Keresztmetszet változhat	$E^{1/2}/\rho$	$\sigma/\rho$
Hajlított lemez Merevség, hossz és szélesség adott Vastagság változhat	$E^{1/3}/\rho$	$\sigma^{1/2}/\rho$
Nyomott lemez Terhelés, hossz és szélesség adott Vastagság változhat	$E^{1/3}/\rho$	$\sigma/\rho$
Lendítőkerék Tárolt energia nagysága adott	$E/\rho$	$\sigma/\rho$
Henger belső nyomással Rugalmas alakváltozás, nyomás és sugár adott Falvastagság változhat	$E/\rho$	$\sigma/\rho$
Gömbháj belső nyomással Rugalmas alakváltozás, nyomás és sugár adott Falvastagság változhat	$E/(1-\nu)\rho$	$\sigma/\rho$

### 3. Példák komplex anyagjellemzőkre és meghatározásukra

Maximalizálendő komplex anyagjellemzők merevségre, illetve szilárdságra történő méretezés esetén.  $E$  – rugalmassági modulus [MPa];  $G$  – csúsztató rugalmassági modulus [MPa];  $\sigma$  – mechanikai feszültség [MPa];  $\rho$  – sűrűség [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  $\nu$  – Poisson-tényező [-].

Funkció, követelmények és szabad változók	Konstans repedésméret esetén
Húzott rúd Terhelés, merevség adott Keresztmetszet változhat	$K_{IC}/\rho$
Csavart rúd, vagy cső Nyomaték, merevség adott Keresztmetszet változhat	$K_{IC}^{2/3}/\rho$
Hajlított tartó Merevség és hossz adott Keresztmetszet változhat	$K_{IC}^{2/3}/\rho$
Nyomott rúd Terhelés és hossz adott Keresztmetszet változhat	$K_{IC}^{2/3}/\rho$
Hajlított lemez Merevség, hossz és szélesség adott Vastagság változhat	$K_{IC}^{1/2}/\rho$
Nyomott lemez Terhelés, hossz és szélesség adott Vastagság változhat	$K_{IC}/\rho$
Lendítőkerék Tárolt energia nagysága adott	$K_{IC}/\rho$
Henger belső nyomással Rugalmas alakváltozás, nyomás és sugár adott Falvastagság változhat	$K_{IC}/\rho$
Gömbhéj belső nyomással Rugalmas alakváltozás, nyomás és sugár adott Falvastagság változhat	$K_{IC}/(1-\nu)\rho$

Maximalizálendő komplex anyagjellemzők törésmechanikai méretezés esetén.

$K_{IC}$  – törési szívósság [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ];  $\rho$  – sűrűség [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  $\nu$  – Poisson-tényező [-].

Példa:

Funkció	Húzott rúd.
Követelmények	A tartó hossza ( $L$ [mm]). A tartó terhelése: adott értékű erő ( $F$ [N]).
Célok	Minél alacsonyabb tömeg ( $m$ [kg]).
Szabad változók	Anyagminőség. Keresztmetszet ( $A$ [ $\text{mm}^2$ ]).

A törésmechanikai méretezés konstans repedésméret feltételezésével történik ( $a$  [mm]).  $F = A \cdot \sigma_{\text{meg}}$ ; négyzet keresztmetszet esetén:  $K_{IC} = \sigma_{\text{meg}} \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$ .

Az előzőekből:  $A = (F \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}) / K_{IC}$ .

A cél a minél kisebb tömeg:  $m = A \cdot L \cdot \rho$ .

Ezek összevonásával adódik a szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $m = [F] \cdot [(\pi \cdot a)^{1/2} / L] \cdot [\rho / K_{IC}]$ , ahol

$\sigma_{\text{meg}}$  – a megengedhető feszültség [MPa];  $a$  – a repedés félméret [mm].

A teljesítőképességi egyenlet tagjai úgy vannak rendezve szögletes zárójelekbe, hogy azok a funkcionális, a geometriai és anyagjellemzőket adják.

Mivel a teljesítőképesség maximumát keressük:  $P = 1/m$ , ebből:  $M = K_{IC}/\rho$  lesz a maximalizálendő komplex anyagjellemző.

Funkció, követelmények, tervezési célok és szabad változók	
Rugók Energiatárolás adott Térfogat minimalizálása	$\sigma^2/E$
Rugók Energiatárolás adott Tömeg minimalizálása	$\sigma^2/E\rho$
Rugalmas csukló Behajlási sugár minimalizálása	$\sigma/E$
Kés él, forgócsap Érintkezési felület minimalizálása, terhelés maximalizálása	$\sigma^3/E^2$ és $E$
Alakváltozó tömitések Érintkezési nyomás adott Érintkezési felület maximalizálása	$\sigma/E$ és $1/\sigma$
Membránok Erő, vagy nyomás adott Behajlás maximalizálása	$\sigma^{3/2}/E$
Forgó hajtóművek, centrifugák Átmérő adott Kerületi sebesség maximalizálása Falvastagság változhat	$\sigma/\rho$
Függőleges tartók Longitudinális vibrációs frekvencia maximalizálása	$E/\rho$
Vízszintes tartók Hajlító vibrációs frekvencia maximalizálása	$E^{1/2}/\rho$
Lemezek Hajlító vibrációs frekvencia maximalizálása	$E^{1/3}/\rho$

Maximalizálendő komplex anyagjellemzők rugalmas alakváltozási esetekre.

$E$  – rugalmassági modulus [MPa];  $\sigma$  – mechanikai feszültség [MPa];  $\rho$  – sűrűség [kg/m<sup>3</sup>].

Funkció, követelmények és tervezési célok	
Hőszigetelés Vastagság adott Hőfluxus minimalizálása állandósult állapotban	$1/\lambda$
Hőszigetelés Vastagság adott Adott idő alatti hőmérséklet emelkedés minimalizálása	$1/a = C_p \rho / \lambda$
Hőszigetelés Egy termikus ciklusra eső energiavesztés minimalizálása	$\alpha^{1/2} / \lambda = 1 / (\lambda C_p \rho)^{1/2}$
Hőtárolás Adott hőmérsékleten, adott idő alatti energiatárolás maximalizálása	$\lambda \alpha^{1/2} = (\lambda C_p \rho)^{1/2}$
Precíziós alkatrészek Hő okozta torzulás minimalizálása	$\lambda / \alpha$
Hősokk állóság	$\sigma / E \alpha$

Maximalizálandó komplex anyagjellemzők termikus feladatokra.

$\lambda$  – hővezetési tényező [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ];  $a$  – hődiffúziós együttható [ $\text{m}^2/\text{s}$ ];  $\alpha$  – hőtágulási együttható [ $1/^\circ\text{C}$ ];  $C_p$  – fajhő [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ];  $E$  – rugalmassági modulus [ $\text{MPa}$ ];  $\sigma$  – mechanikai feszültség [ $\text{MPa}$ ];  $\rho$  – sűrűség [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Egyszerűsített példa:

Funkció	Precíziós mérőeszköz váza.
Követelmények	Hőfluxus ( $q$ [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]) elviselése.
Célok	Hő okozta torzulás minimalizálása ( $\epsilon$ [-]).
Szabad változók	Anyagminőség. Keresztmetszet ( $A$ [ $\text{mm}^2$ ]).

Fourier I. szerint:  $q = -\lambda \cdot (dT/dx)$ .

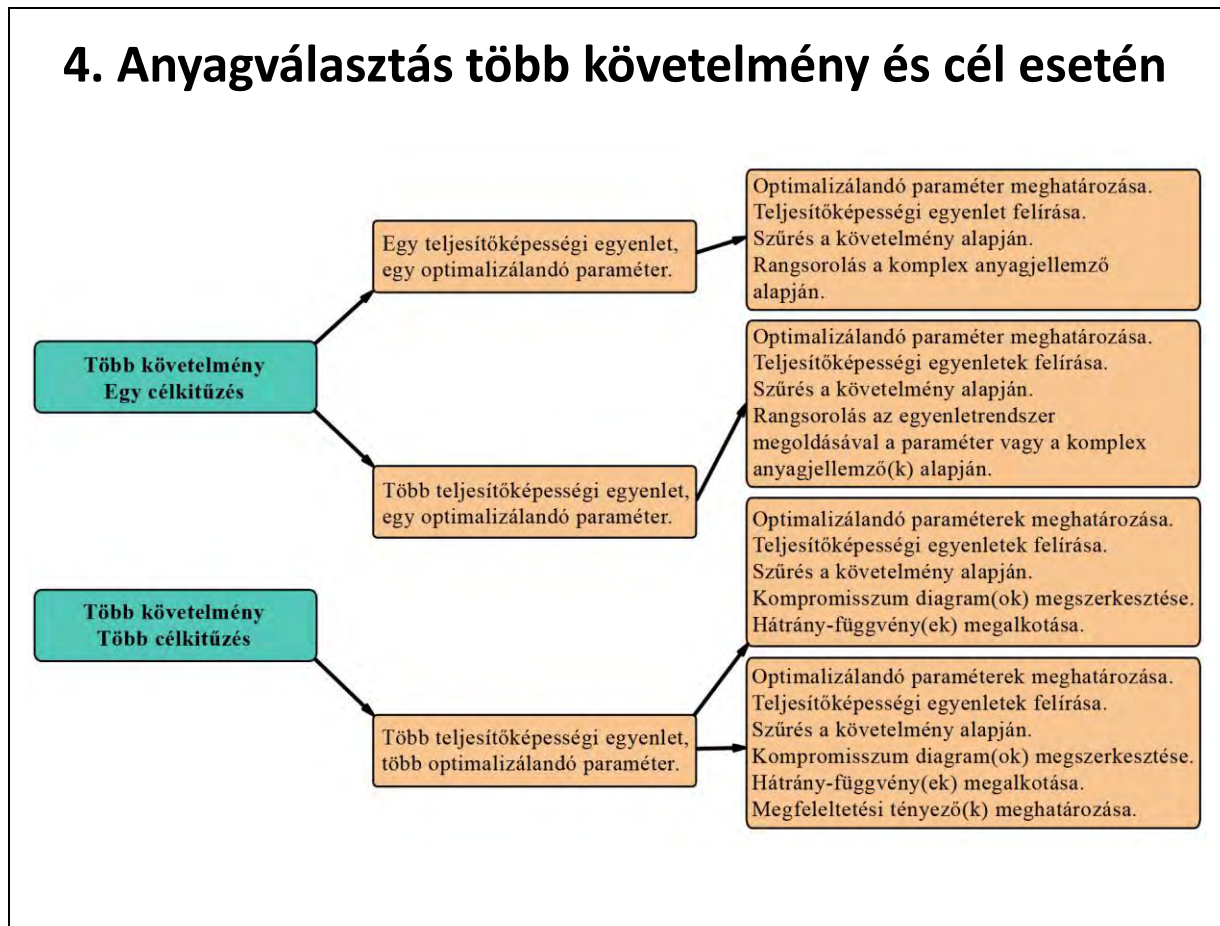
A cél a minél kisebb hőtorzulás:  $d\epsilon = \alpha \cdot dT$ .

Ezek összevonásával adódik a szerkezet teljesítőképességi egyenlete:  $d\epsilon = -[q] \cdot [dx] \cdot [\alpha/\lambda]$ , ahol  $T$  – a hőmérséklet [ $\text{K}$ ];  $x$  – a hosszegység [ $\text{m}$ ].

A teljesítőképességi egyenlet tagjai úgy vannak rendezve szögletes zárójelekbe, hogy azok a funkcionális, a geometriai és anyagjellemzőket adják.

Mivel a teljesítőképesség maximumát keressük:  $P = 1/\epsilon$ , ebből:  $M = \lambda/\alpha$  lesz a maximalizálandó komplex anyagjellemző.





## 4. Anyagválasztás több követelmény és cél esetén

A mérnöki gyakorlatban gyakran előfordul, hogy kompromisszumokat vagyunk kénytelenek kötni, miközben egymásnak ellentmondó követelményeket igyekszünk kielégíteni. Nincs ez másként az anyagválasztás során sem. A következőkben azt tekintjük át, hogyan lehet az optimális megoldást megtalálni több, egymásnak akár ellentmondó követelmény és célkitűzés esetén.

**Több követelmény, egy célkitűzés**

– Egyszerű a helyzet, amennyiben a kitűzött célt csak egy követelmény befolyásolja, tehát egyetlen teljesítőképességi egyenlet és komplex anyagjellemző írható fel.

Amennyiben a követelmények közül több is befolyással van a célként megfogalmazott jellemzőre, úgy több teljesítőképességi egyenlet (és így több komplex anyagjellemző is) írható fel az optimalizálható paraméterre.

**Több követelmény, több célkitűzés**

– Az előző esethez hasonlóan több teljesítőképességi egyenlet keletkezik, viszont az optimalizálható paraméterek száma is nagyobb lesz egynél. A paraméterek vagy a rájuk felírt egyenletekből származtatható komplex anyagjellemzők eltérő súllyal vehetők figyelembe a végső döntés meghozatalakor, sőt mértékegységük is eltérhet. Például egy katonai és egy civil repülőgépszárny főtartójának anyagválasztásakor vajon befolyásolhatja-e egyforma arányban a döntést a tömeg minimalizálására és a költségek csökkentésére való törekvés?

#### 4.1. Hagyományos módszerek a többszörös követelmények és célok kezelésére

Követelmény: Merevség  
 Cél 1: Minél kisebb tömeg  
 Cél 2: Minél alacsonyabb ár

Komplex anyagjellemzők:

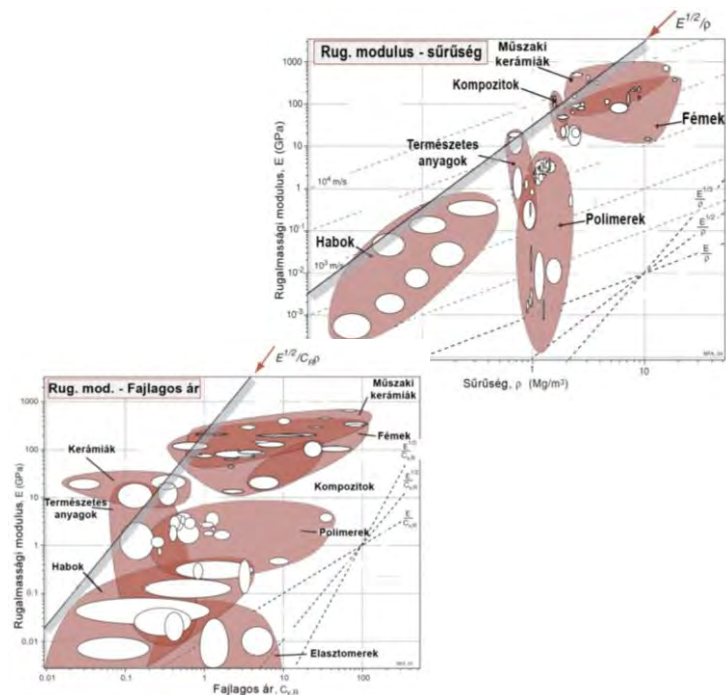
$$M_1: E^{1/2}/\rho$$

$$M_2: E^{1/2}/C_R \cdot \rho$$

Egymás után alkalmazva szűkíthető a megfelelő anyagok választéka.

Hátrány:

A módszer nem számol a célok relatív fontosságával



Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

Amennyiben olyan alkalmazásra keresünk anyagot, ahol a követelmény egy megkívánt merevség, a cél pedig a minél kisebb tömeg és ár együttesen, a két meghatározott komplex anyagjellemzőt egymás után alkalmazva szűkíthető a megfelelő anyagok köre.

Ez a módszer néhány esetben elégséges lehet, ám itt nem vehető figyelembe a tömeg és az ár egymáshoz képesti fontossága. Márpedig ez a tényező fontos szerepet játszik, hiszen bizonyos alkalmazásokban a tömeg elsőrendű szerephez jut az árhoz képest (pl. légi járművek – alumíniumötvözetek), míg máshol fordított a viszony (pl. épületszerkezeti elemek – szerkezeti acélok).

### Súlyozott jellemzők használata

– Anyagtulajdonságok vagy komplex anyagjellemzők meghatározása.

– Ezek értékeinek kiszámolása az ígéretes anyagokra.

– A jellemzők súlyozott értékeinek meghatározása:  $W = \sum w_i \frac{M_i}{(M_i)_{\max}}$

$w_i$  – az  $i$ -edik jellemző súlyozása,  $M_i$  – az  $i$ -edik jellemző,  $(M_i)_{\max}$  – a legnagyobb értékű  $i$ -edik jellemző.

– A legjobban teljesítő anyag, amelyik a legnagyobb súlyozott értékkel rendelkezik.

ANYAG	Sűrűség $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Folyáshatár $\sigma$ [MPa]	W	W (Be nélkül)
1020 acél	7,85	320	0,27	0,34
6010 Al	2,7	120	0,55	<b>0,78</b>
Ti-6-4	4,4	950	0,57	0,71
Berillium	1,86	170	<b>0,79</b>	–

Hátrányok:

- Súlyozás szubjektivitása.

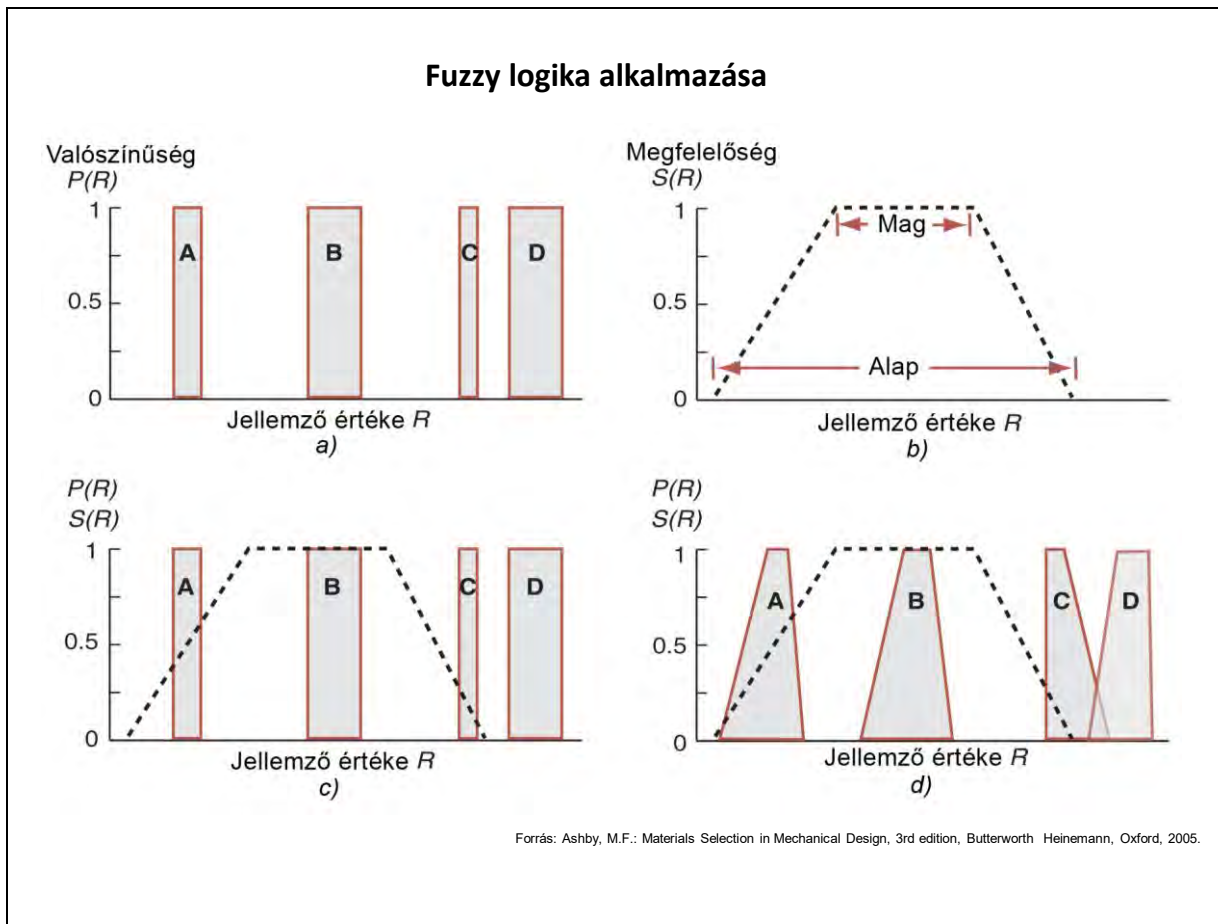
- Az eredmény érzékeny a vele össze nem függő változtatásokra is.

Súlyozással az egyes jellemzők (anyagtulajdonság, komplex anyagjellemző) között állíthatunk fel fontossági sorrendet. A súlyozás értéke 0–1 közé esik, a fontosabb jellemző kap nagyobb értéket úgy, hogy a súlyozások összértéke 1 ( $\sum w_i = 1$ ).

Mivel a jellemzők értékei széles skálán mozoghatnak, és a mértékegység megválasztásától is függenek, az egyes jellemzőcsoportokon belül az anyagok jellemzőinek értékeit ( $M_i$ ) a legmagasabb értékkel rendelkező anyagéhoz ( $(M_i)_{\max}$ ) kell viszonyítani ( $M_i/(M_i)_{\max}$ ).

Az anyagok értékelése a súlyozott viszonylagos jellemzőik összegének ( $W$ ) összehasonlításával történik. Az előbbieket miatt az az anyag teljesít legjobban, amelynek súlyozott jellemzőinek összege a legmagasabb értéket adja.

Hátulütője a módszernek, hogy a súlyozás meghatározása szubjektív, teljes egészében a tervező megítélésén múlik. Ezenkívül olyan tényezők is befolyásolják a módszer eredményét, amelyek nincsenek hatással az anyagok teljesítőképességére. Minél könnyebb, ugyanakkor nagy szilárdságú szerkezethez keressük a megfelelő anyagot. A fenti táblázat a leginkább megfelelő jelöltek jellemzőinek értékeit mutatja. A súlyozott jellemzők összegei alapján a berillium alkalmazása lenne ideális. Második helyen a Ti-ötövözet, harmadikon az Al-ötövözet végzett. Ám amennyiben figyelembe vesszük a berillium magas árát és mérgezőségét, kiesik a jelöltek közül. A berillium nélkül újrászámolt súlyozott jellemzők a jobb oldali oszlopban láthatók. Vegyük észre, hogy a két számolás eredményeképp az Al-ötövözet és a Ti-ötövözet helyet cserélt egymással.



Az *a)* ábrán különböző anyagok jellemzői (anyagtulajdonság, komplex anyagjellemző) találhatóak. A jellemzők értékei határozott tartományokba esnek.

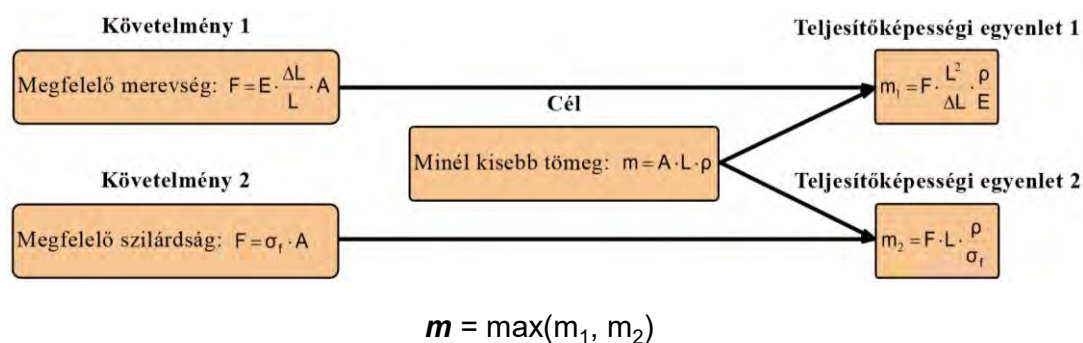
A kritérium – amely alapján a választás történik – definiálása ettől eltérő (*b)* ábra). A jellemző értékének *magja* a leginkább megfelelő értékek tartományát foglalja magában, míg az ennél szélesebb tartományt felölelő *alap* a megfelelőség alsó határához tartozik. A köztes értékek a megfelelőség különböző szintjeihez tartoznak.

Ha a két diagramot egymásra helyezzük (*c)* ábra), az egyes anyagok megfelelőségét jellemezhetjük. Az anyagok megfelelőségét jellemzőik valószínűségének ( $P(R)$ ) és a kritérium által meghatározott jellemző megfelelőségének ( $S(R)$ ) szorzata adja. A „B” anyag elfogadhatósága 1, kisebb súlyozást kap az „A” (~0,5) és „C” (~0,25) jelű anyag, A „D” jelű anyag súlyozása 0, tehát egyáltalán nem elfogadható a tulajdonságai.

A lépéseket annyiszor kell megismételni, amennyi jellemző meghatározásra került a követelmények és célok alapján. A megfelelőségi értékeket (súlyozásokat) összeszorozva lehet értékelni az egyes anyagokat egymáshoz viszonyítva.

A módszer tovább finomítható azzal, ha az anyagok jellemzőinek is fuzzy határokat adunk (*d)* ábra). Bár több módszer is létezik a jellemzők mag- és alapértékeinek meghatározásához, az alapvető probléma mégsem szűnik meg: a megfelelőség értékeinek megítélése szubjektív marad.

#### 4.2. Anyagválasztás több követelmény esetén: az aktív követelmény módszere Analitikus megoldás



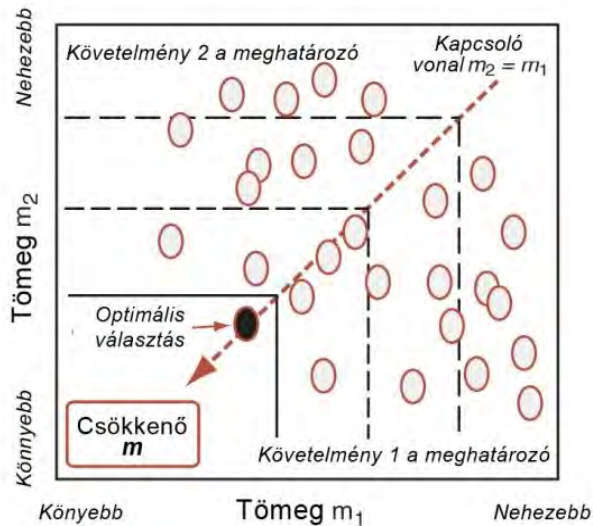
ANYAG	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	E [GPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$m_1$	$m_2$	<b><i>m</i></b>
<b>1020 acél</b>	7850	205	320	1,15	2,45	2.45
<b>6010 Al</b>	2700	70	120	1,16	2,25	2.25
<b>Ti-6-4</b>	4400	115	950	1,15	0,46	<b>1.15</b>

A súlyozott jellemzők és a fuzzy módszer alkalmazása előnyös, amikor nem célszerű a szigorú és részletes vizsgálat, illetve alkalmasak a választás első lépésének megtételére. Ha azonban egy összetett feladathoz valóban az optimális anyagot szeretnénk meghatározni, ezeknél összetettebb eljárásokra van szükségünk: az *aktív követelmények* és a *hátrány függvény* módszereire. Ezek használatakor a célokat, anyagtulajdonságokat, komplex anyagjellemzőket úgy kell megfogalmazni (egyenletekkel leírni), hogy értékeiket *minimalizálni* kelljen, különben a módszerek nem működnek.

Amennyiben több követelmény is hatással van a célra, több teljesítőképeségi egyenlet írható fel. A funkcionális és geometriai jellemzők ismeretében az egyenletek megoldhatók, és az anyagok rangsorolhatók.

Ha a merevség a meghatározó (aktív) követelmény, a rúd tömege  $m_1$  lesz, ha a szilárdság  $m_2$ . Mindkét feltételnek a nagyobb tömeg képes megfelelni (***m***). Az optimális választás a legkisebb ***m***-el rendelkező anyag.

## Grafikus megoldás



A teljesítőképességi egyenletek eredményei közös diagramban ábrázolva.

Minden buborék egy anyagot jelöl.

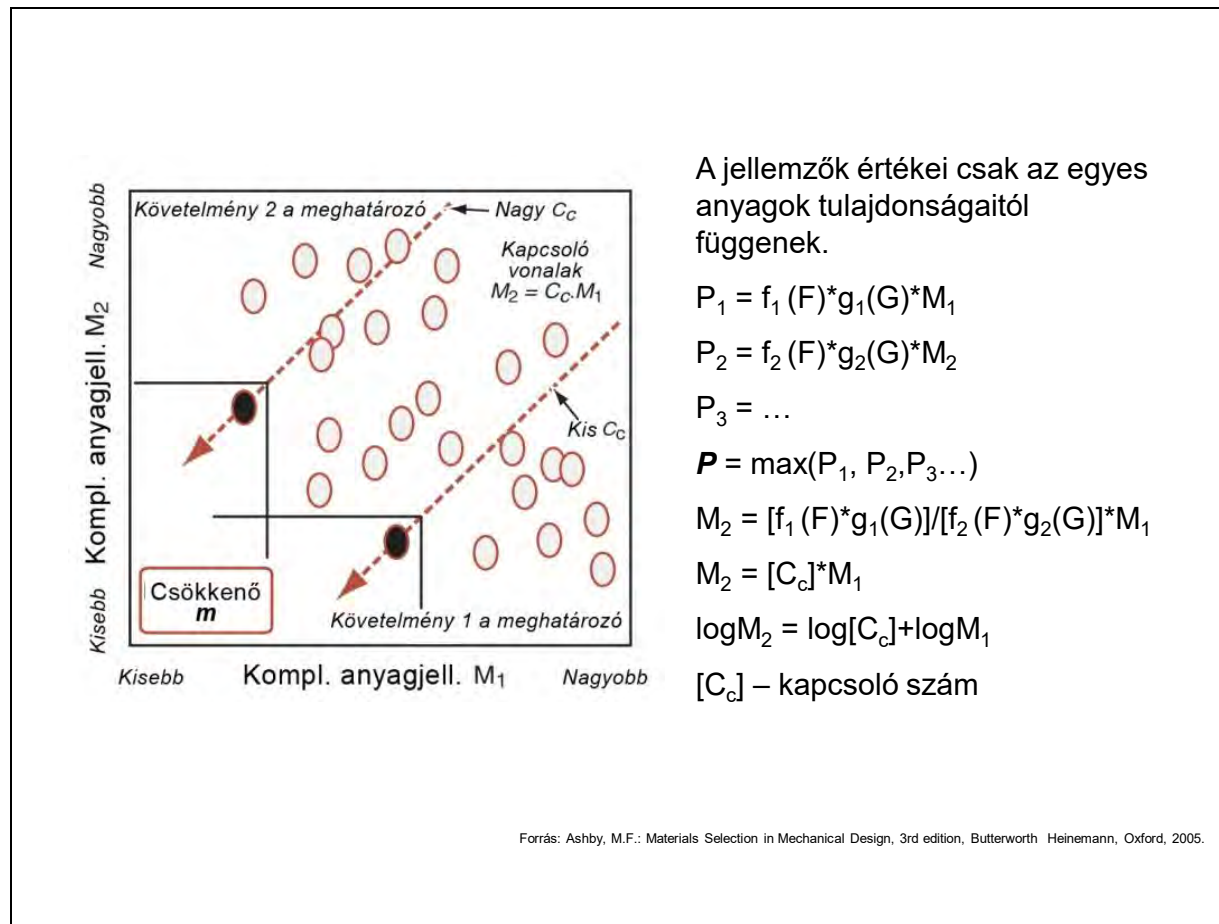
A kapcsoló vonal mentén az optimalizálandó paraméterek súlyozása megegyező.

A funkcionális és geometriai jellemzők értékeinek változtatása esetén új diagram készítése szükséges.

Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

Amennyiben az előző példa teljesítőképességi egyenleteinek megoldásait (az optimalizálandó tömeget) közös diagramban ábrázoljuk, az egyes anyagokra kapott eredmények „buborékokat” jelölnek ki. A kapcsoló vonalon a két egyenlet eredménye megegyező. Efölött a 2-es követelmény a meghatározó, tehát az  $m_2$  értékét kell csökkenteni, alatta pedig az 1-es követelmény dominál, így az  $m_1$  értékének csökkentése vezet el az ideális megoldáshoz. Ezekből a szelekciós terület egy négyszög alakú „dobozként” jelenik meg, és a területet a bal alsó sarok felé csökkentve egyre jobb teljesítményű anyagok találhatók.

Az analitikus módszer számadataival ellentétben a diagramban megjelenített értékek szemléletesebbek, így a feladat rugalmasabb, kreatívabb megoldását teszi lehetővé.



Ha az előbbi teljesítőképességi egyenletről kifejezzük a komplex anyagjellemzőket (úgy, hogy minimalizálni kelljen értéküket!), és ezek értékeit jelenítjük meg diagramban, az egyes anyagok által elfoglalt hely független lesz a funkcionális és geometriai jellemzők értékétől.

Az előző példával élve:

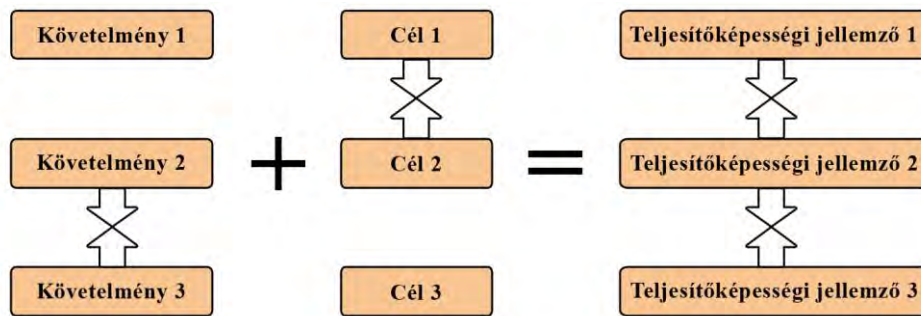
Meg kell határozni a minimalizálandó jellemzőket, és felírni a teljesítőképességi egyenleteket.  $P_i = f_i(F) \cdot g_i(G) \cdot M_i$ , ahol  $i$  – a jellemzők száma;  $f$  és  $g$  – a funkcionális- és geometriai követelményeket tartalmazó kifejezések.

$$M_1 = [F] \cdot [L^2/\Delta L] \cdot [\rho/E], \quad M_2 = [F] \cdot [L] \cdot [\rho/\sigma_f]$$

Attól függően, hogy melyik követelmény aktív, egyik vagy másik egyenlet határozza meg a teljesítőképességet. A két egyenletet összevonva:  $M_2 = (L/\Delta L) \cdot M_1$

A két jellemző viszonyát a *kapcsoló szám* ( $C_c$ ) írja le. Amennyiben a 2 követelmény az aktív értéke nagy, ha az 1 követelmény az aktív értéke kicsi lesz. A kapcsoló szám értékét a követelmények határozzák meg. A funkcionális vagy geometriai követelmények változtatásával tehát a kapcsoló vonal toródik el a diagramban, amely a szelektációs területet is megváltoztatja. (Megjegyzés: a fenti diagramban két eset egyszerre van ábrázolva.)

### 4.3. Anyagválasztás több követelmény és több cél esetén



- Egymásnak ellentmondó célok → ellentmondás a teljesítőképességi jellemzőkben
- Teljesítőképességi jellemzők egysége és mértékegysége eltérhet

→ nehéz optimalizálni

→ kompromisszumstratégiák

A szerkezetek, gépelemek anyagválasztásában a leggyakoribb eset, hogy több követelmény és cél befolyásolja a döntést. Alapvető célok lehetnek: tömeg csökkentése, térfogat csökkentése, költségek csökkentése, környezetre gyakorolt hatás csökkentése.

A nehézséget az okozza, hogy a célok gyakran ellentmondanak egymásnak (pl. tömeg és költség együttes csökkentése), így amikor az egyik teljesítőképességi jellemző értéke optimális, a másik biztosan nem lesz az. A legjobb választás ezekben az esetekben azt jelenti, hogy a két (vagy több) jellemző értékei között (az egyenkénti optimalizálás helyett) kompromisszumot kell kötni, csak annyira tudjuk ezeket az optimális értékük felé közelíteni, amennyire egymástól való függésük engedi.

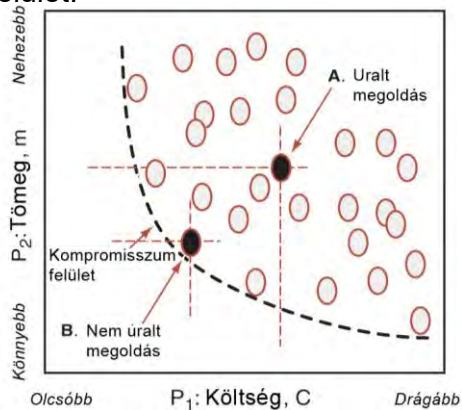
A másik felmerülő probléma, hogy a jellemzők értékeinek egysége és mértékegysége az esetek többségében eltérő. A tömeget nehéz összevetni a költséggel, a térfogatot a környezeti hatásokkal.

A megoldást a *kompromisszumstratégiák* jelentik.

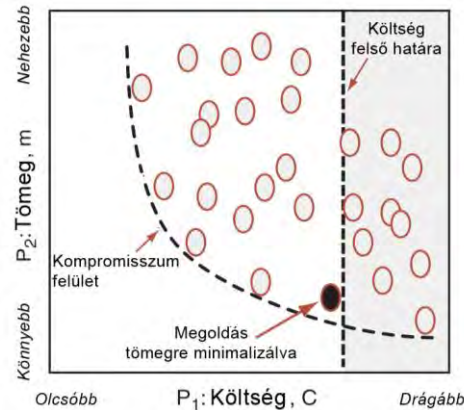


### Kompromisszumstratégiák

- Nem uralt megoldások (anyagok): nincs olyan megoldás, amely kisebb  $P_1$  és  $P_2$  értékekkel rendelkezne.
- Kompromisszum felület: nem uralt megoldásokra illeszhető vonal vagy felület.



Rangsorolás a nem uralt megoldások között intuíciók alapján.



Egyik célt követelményként kezelve a legjobb megoldás, amihez a másik cél legkisebb értéke tartozik.

Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

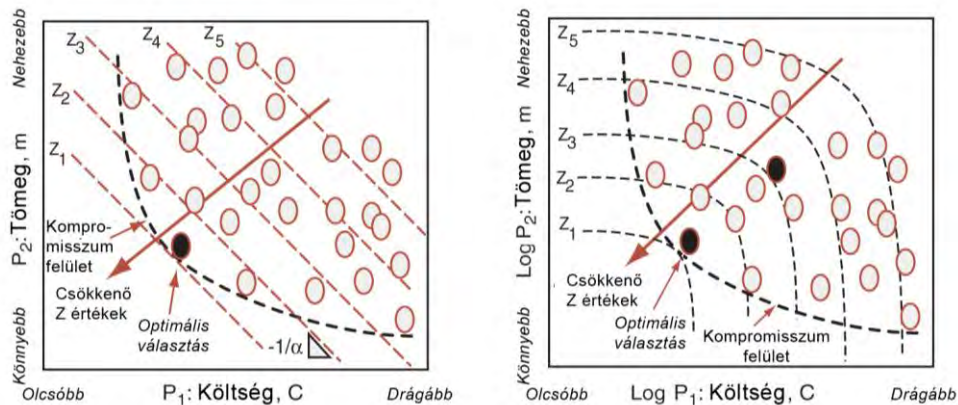
A követelményeket teljesítő (az előzetes szűrésen megfelelt) anyagok teljesítőképessége – mint az előzőekben láttuk – eltérő lehet, ha egyik vagy másik célt vesszük figyelembe. Vannak azonban olyan anyagok, amelyeknél nincs kisebb teljesítőképességi értékű megoldás, ha mindkét célt egyszerre vesszük figyelembe. Ezek az úgynevezett *nem uralt megoldások*, amelyeket összekötve lehet kijelölni a *kompromisszumfelületet*. A kompromisszumfelület kijelöli azoknak a megoldásoknak a körét, amelyek a legjobb kompromisszumot jelentik a célok között. A rajta fekvő anyagok egyik vagy másik cél alapján teljesítenek jobban. Mi alapján lehet az optimálisat kiválasztani közülük?

A nem uralt megoldások között a rangsor felállítása történhet intuíciók alapján. A tervező a döntést a feladatonként változó egyedi igények alapján (pl. helyi viszonyok ismerete) hozza meg. A rangsort meghatározó döntés nem számszerűsített, a sorrend tervezőnként változhat.

Egy másik módszer szerint, ha az egyik célként megfogalmazott jellemző értékének meghatározzuk egy felső határát – azaz úgy kezeljük, mintha követelményként szerepelne –, a másik cél értékét minimalizálva található egy optimális megoldás.

E két eljárás nem igazi optimalizáció. Ahhoz megoldást a *hátrány-függvények* bevezetése jelent.

## Hátrányfüggvény



A különböző célok egy függvénybe való egyesítése a hátrányfüggvény.

$$Z = \alpha_1 \cdot P_1 + \alpha_2 \cdot P_2 + \alpha_3 \cdot P_3 + \dots$$

A megfeleltetési tényező,  $\alpha$ :  $\alpha_i = \left( \frac{\partial Z}{\partial P_i} \right)_{P_j, j \neq i}$

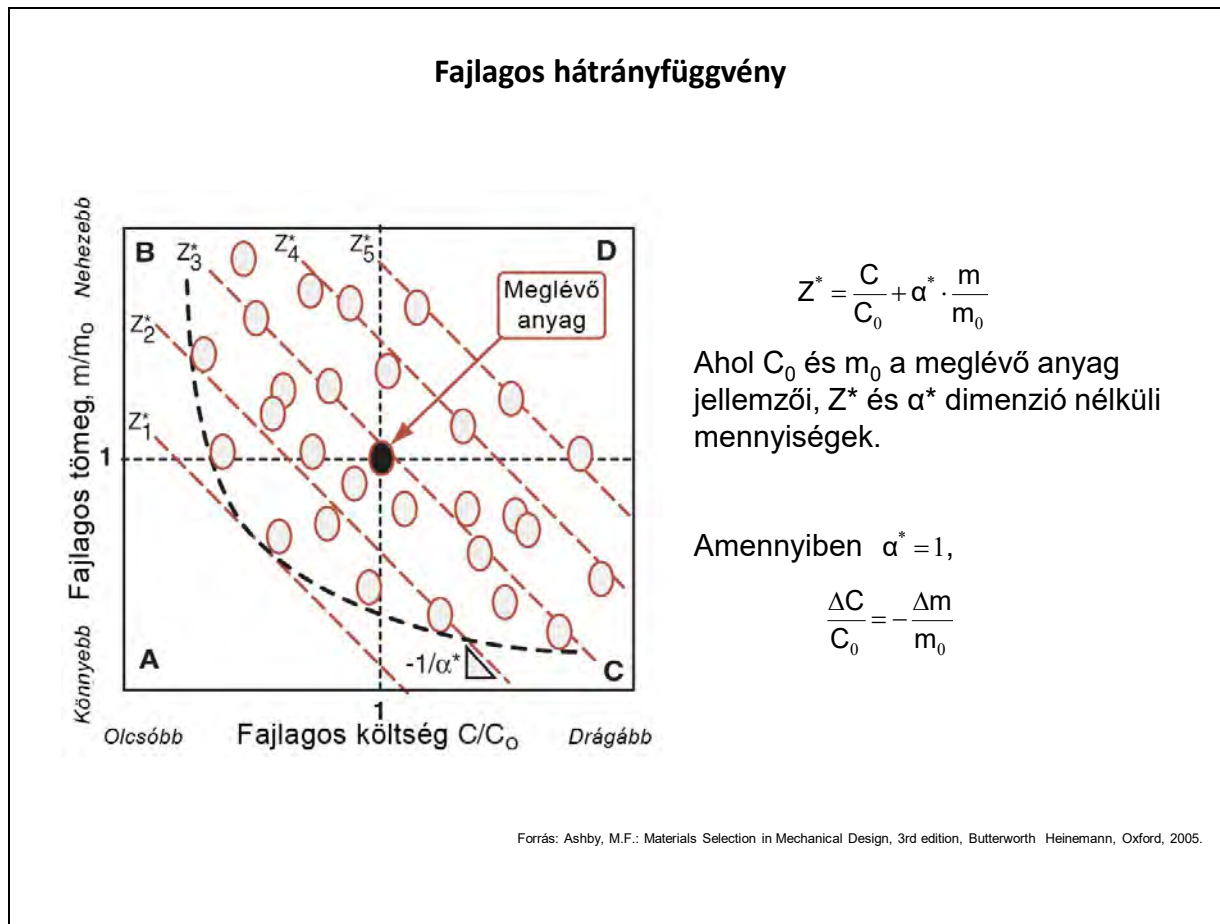
Például:  $Z = C + \alpha \cdot m$ , ebből  $m = -\frac{1}{\alpha} \cdot C + \frac{1}{\alpha} \cdot Z$

Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

Ahhoz, hogy csak egy paraméterértéket kelljen változtatni az optimális megoldás megtalálása érdekében, a célokat egy függvényben szükséges egyesítenünk. Ez az úgynevezett *hátrányfüggvényt* adja. Mivel a teljesítőképességi jellemzők egységei eltérők, szükséges egy olyan tényező bevezetése, mely átváltja ezeket egy közös mértékbe. A *megfeleltetési tényező* megadja, hogy adott jellemző változása mennyire befolyásolja a függvény értékét.

Az anyagok rangsorát Z csökkenő értékei adják. Az optimális megoldás az a pont a diagramon, amelyikben a hátrányfüggvény érinti a kompromisszumfelületet. Az ehhez legközelebb eső anyagok kerülnek rangsorolásra, közülük a kiegészítő információk segítségével lehet választani.

Az előző példával élve ( $P_1 = C$ ,  $P_2 = m$ ), ha a hátrányfüggvény értékét pénzegységben fejezzük ki, akkor:  $Z = C + \alpha \cdot m$ . Mivel ebben az esetben C és Z egysége megegyezik,  $\alpha_1 = 1$ . A hátrányfüggvény egy  $-1/\alpha$  meredekségű egyenes lesz.



Ha egy meglévő alkalmazásban használt anyagot szeretnénk megfelelőbbel kiváltani, célszerű a meglévő anyag hátrányfüggvényének értékét viszonyítani a lehetséges többiéhez. Ezzel a *fajlagos hátrányfüggvényt* határozzuk meg. A *fajlagos megfeleltetési tényező* ( $\alpha^*$ ) megmutatja, hogy egyik jellemző értéke változtatásának hatására mennyivel változik a másik jellemző értéke.

Ismét a költség és tömeg csökkentését tartva szem előtt, amennyiben  $\alpha^* = 1$ , a tömeg felére való csökkentése az ár duplájára növekedését eredményezi a meglévő megoldáshoz képest.

A diagramon az A területre eső megoldások mind tömegükben, mind árukban kedvezőbbek az eredetinel. A B területre esők olcsóbb, de nehezebb megoldást jelentenek, a C területre esők pedig ennek a fordítottját: drágább, de könnyebb. A D területen lévők minden tekintetben rosszabb megoldások, mint a meglévő anyag.

### Megfeleltetési tényező

$$Z = C + \alpha \cdot m$$

Szállítóeszközök	Becslés alapját képező jellemző	Megfeleltetési tényező $\alpha$ [USD/kg]
családi autó	üzemanyag-megtakarítás	1-2
teherautó	szállítási kapacitás	5-20
polgári repülő	szállítási kapacitás	100-500
katonai repülő	szállítási kapacitás, teljesítmény	500-1000
űreszköz	szállítási kapacitás	3000-10000

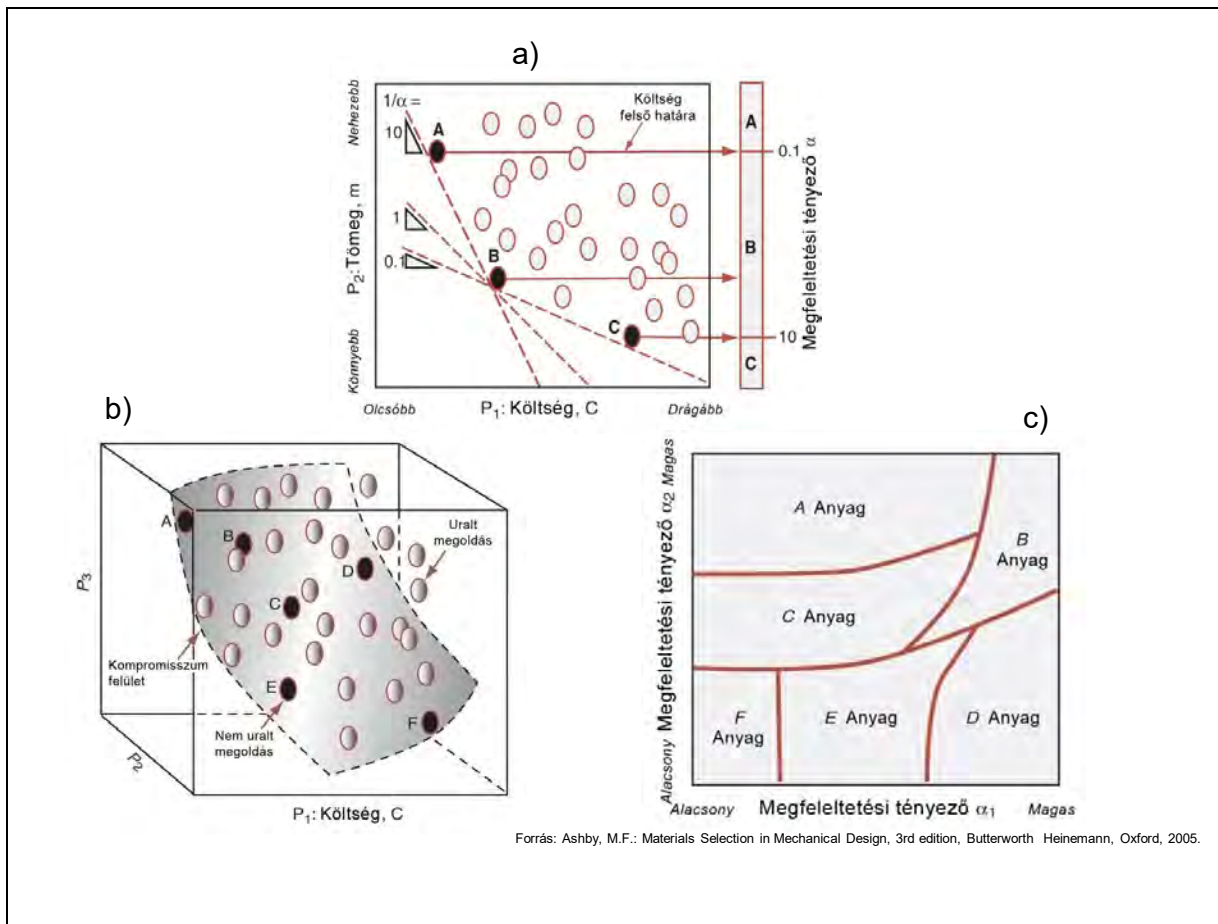
Az előzőeket alapul véve, a megfeleltetési tényezők ismeretében szisztematikusan felépített anyagválasztásra van lehetőség.

Értéke és mértéke a funkcióból származtatható a termék teljes életútját figyelembe vevő modellek segítségével.

Például szállító járművek esetén a tömegcsökkentés értéke származtatható az üzemanyag-megtakarításból, a szállítási kapacitás növekedéséből vagy a teljesítmény növekedéséből. A táblázatból kitűnik, hogy a jármű feladata és „üzemi környezete” nagyban befolyásolja értékét, valamint a meghatározás alapját képező jellemzőt.

Egy családi autó esetén 1 kg tömegcsökkenésre 1-2 USD megtakarítás jutna a fogyasztás csökkenése révén. Teherautó esetén értékét a szállítási kapacitás növekedésében lehet lemérni, ugyanígy egy űreszköznél, viszont ebben az esetben sokkal többel lehet nyerni a tömeg egységnyi csökkentésével. Ez nyilvánvaló, hiszen sokkal több energiát igényel 1 kg tömeg űrbe juttatása, mint földi mozgatása.

Ezzel magyarázható, miért nem terjedt el széleskörűen az alumíniumötvözetek használata a földi szállításban, ellentétben a repülőiparral. Miért használják sokkal nagyobb volumenben a titánötvözeteket a katonai, mint a civil repülés területén, és miért korlátozódik a berilliumötvözetek alkalmazása az űreszközök építésére.



Mivel az anyagok meghatározott (diszkrét) helyeket foglalnak el a kompromisszumfelületen, egy anyag optimális választás lehet a megfeleltetési tényező bizonyos határok közötti változása esetén is (a) ábra). A „B” anyag a  $0,1 < \alpha < 10$  értékek között adja az optimális választást. E fölött a „C”, ez alatt az „A” anyag a megfelelő választás.

Amennyiben három teljesítőképességi jellemző alapján vetjük össze az anyagokat és ebből egyik a költség, amire:  $\alpha_1 = 1$  (b) ábra), úgy két megfeleltetési tényezőt kapunk. Ennek eredményeképp az anyagok megfelelőségét  $\alpha$  értékei alapján egy térképen lehet ábrázolni (c) ábra).

## Kérdések és feladatok

- 1) Milyen esetekben lesz az optimalizálandó anyagjellemző komplex anyagjellemző?
- 2) Mit jelent a tervezési segédvonalak párhuzamos eltolása?
- 3) Mi befolyásolja a tervezési segédvonalak meredekségét?
- 4) Az anyagminőségen kívül milyen tényezők jelenhetnek meg a komplex anyagjellemzőben?
- 5) Mennyi teljesítőképességi egyenlet írható fel, amennyiben a követelmények közül több is befolyással van a célként megfogalmazott jellemzőre?
- 6) Mi a hátránya a súlyozott jellemzők használatának több megfogalmazott cél esetén?
- 7) Az aktív követelmények és hátrányfüggvény módszereinek használatakor minimalizálni vagy maximalizálni kell a teljesítőképességi jellemzőket?
- 8) Milyen esetekben használjuk a hátrányfüggvény módszert?
- 9) Mire van hatással a megfeleltetési tényező értéke?

## A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol - magyar kifejezések

active constraint method – aktív követelmények módszere  
dominated solution – uralt megoldás  
exchange-constant – megfeleltetési tényező  
non-dominated solution – nem uralt megoldás  
penalty function – hátrány-függvény  
performance equation – teljesítőképességi egyenlet  
performance metric – teljesítőképességi jellemző  
relative exchange-constant – fajlagos megfeleltetési tényező  
relative penalty function – fajlagos hátrány-függvény  
trade-off strategies – kompromisszum stratégiák  
trade-off surface – kompromisszum felület  
weight-factor – súlyozás  
weighted index – súlyozott jellemző

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] Ashby, M.F.: New Approaches in Materials and Manufacturing Education, PowerPoint Lecture Units, Granta Design Ltd., Cambridge, 2009.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III. Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003
- [4] ASM Handbook Volume 20., Materials Selection and Design, ASM International, 1997.
- [5] Cebon, D., Ashby, M.F., Bream, C., Lee-Shothaman, L.: CES EduPack 2009 User's Manual, Release 4, Granta Design Ltd, Cambridge, 2009



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 18. Anyagszelekciós diagramok alkalmazása, optimalizálási feladatok

Szerzők: Pinke Péter  
Varga Péter  
Kovács-Coskun Tünde

[pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)



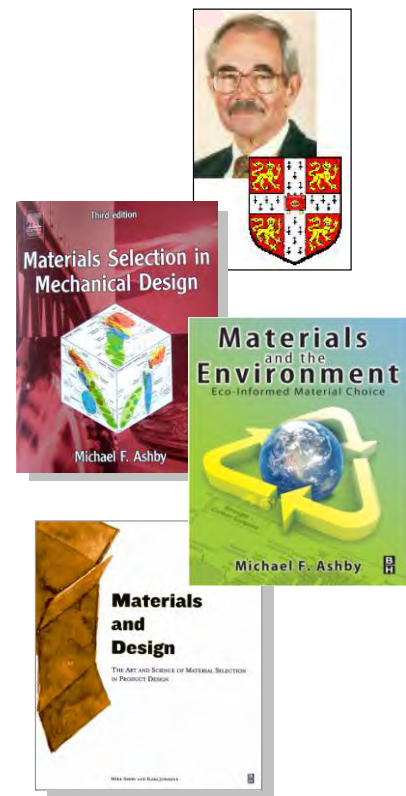
## Tartalom

1. Bevezetés.....	594
2. Az Ashby-féle anyagválasztási koncepció.....	596
3. Szelekciós kártyák.....	604
4. Az anyag lehetséges alakjának figyelembevétele anyagválasztásnál.....	608
5. Szelekciós kártyák alkalmazása – optimalizálási feladatok .....	609
6. Cambridge Engineering Selector (CES) program .....	620

## 1. Bevezetés

A mérnöki tervezés során, komplex anyagjellemzők segítségével történő anyagválasztáshoz, az összes rendelkezésre álló anyag figyelembevételével M. F. ASHBY professzor (Cambridge University, UK) és munkatársai **szelekciós kártyák**at szerkesztettek.

A **műszaki anyagok** piaci **választéka** igen **nagy számú** és **folyton bővülő** anyagféleséget jelent, amit hagyományos módszerekkel áttekinteni, elemezni gyakorlatilag lehetetlen. A megoldást az **informatika** kínálja számítógépes tervezőrendszerekbe lehívható **anyagadatbázisok** formájában, amelyeket a piaci ármegmozgások naprakész követését biztosító hálózati információforrásokkal kapcsolnak össze. Önmagában azonban még ez is kevés, az adatokat fel kell dolgozni, meg kell határozni a köztük való **szelektálás kritériumait**, az **optimális** (vagy kvázioptimális) **megoldás**hoz való eljutás lépcsőit, szempontjait.



**Merev  
Szilárd  
Szívós  
Könnyű**

← **megfelelő anyagminőség**

← Nem kellően merev  
(nagyobb  $E$  szükséges)

← Nem kellően szilárd  
(nagyobb  $\sigma_f$  szükséges)

← Nem kellően szívós  
(nagyobb  $K_{Ic}$  szükséges)

← Túlágosan nehéz  
(kisebb  $\rho$  szükséges)

Az anyagminőség és az anyagjellemzők kapcsolatának fontossága  
( $E$  – rugalmassági modulus,  $\sigma_f$  – határfeszültség,  $K_{Ic}$  – törési szívósság,  
 $\rho$  – sűrűség)

## 2. Az Ashby-féle anyagválasztási koncepció

Az egyes anyagok „előzetes alkalmassági vizsgálata“ a **koncepcionális tervezés** szakaszában funkcionális vagy egyéb szempontból kiemelten fontos anyagjellemzők (pl. tömeg, sűrűség, költségek stb.) alapján, **anyagfőcsoportok** szerint végezhető el.

Ez az előzetes anyag kiválasztás **grafikus összehasonlító módszerek** segítségével, **anyagtulajdonság-diagramok** által előnyösen végrehajtható és szemléltethető.

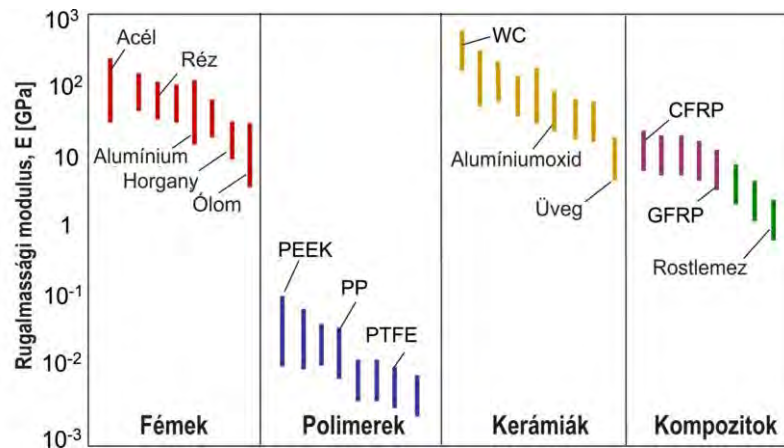
Az anyagtulajdonság diagramok:

- nagy mennyiségű információt tömörítnek, jól áttekinthető, rendszerezett formában,
- megvilágítják az ábrázolt tulajdonságok közötti kapcsolatokat,
- lehetőséget teremtenek az anyagválasztás teljesítőképeségi alapon való optimalizálására.

Az anyagtulajdonság-diagramok ábrázolhatók:

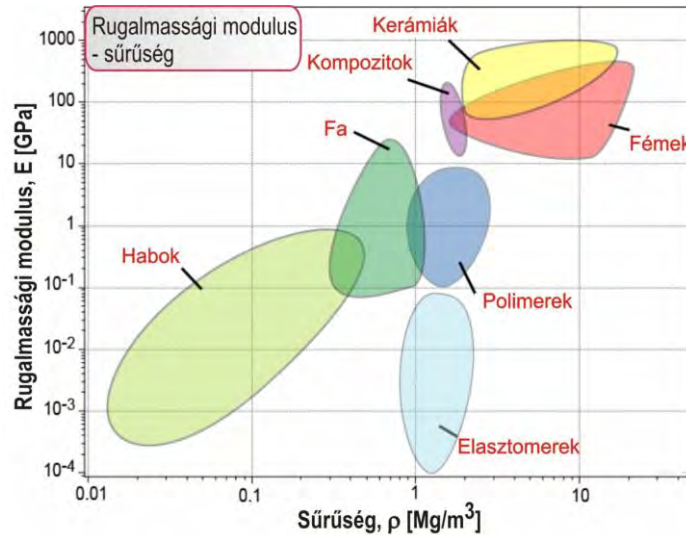
- **oszlopdigramok** által – amely egyparaméteres tulajdonságábra, minden oszlop egy-egy anyagot jelent, az oszlop hossza jelzi a tulajdonság tartományát,
- **szelekciós kártyák – buborékdigramok** által – amelyek két vagy több tulajdonság kapcsolatát rendszerezik a tulajdonság „térben“

Az **oszlopdiagram** függőleges tengelye valamilyen anyagtulajdonságot mutat (értéktartománnyal együtt), a vízszintes tengelyen pedig az anyagfőcsoportba tartozó egyes anyagok szerepelnek. Az anyagok csoportokba, osztályokba rendezhetők, elkülöníthetők.



Oszlopdiagram – néhány anyag rugalmassági modulusa

A **szelekciós kártyák** két paraméter (anyagtulajdonság) kapcsolatát szemléltetik. Bármelyik paraméter lehet egy konkrét anyagtulajdonság (mechanikai, termikus, elektromos stb.) vagy több tulajdonság származtatott függvénye.



Szelekciós kártya – a rugalmassági modulus és a sűrűség kapcsolata

A szelekciós kártyák a komplex kétalkotós jellemzőket derékszögű koordináarendszerben ábrázolják. A tengelyek (amelyek általában logaritmikusak) léptékét úgy választják meg, hogy az ábrázolandó anyagok teljes spektrumát lefedje. Az anyagcsoportok egy-egy buborékkal burkolt tartományt jelentenek.

Az ábrán a rugalmassági modulus–sűrűség szelekciós kártya látható, nagyobb területekre (foltokra) koncentrálódnak az egyes anyagcsoportok rugalmassági modulusát és sűrűségét kifejező értékpárok. E fő területeken (pl. fémeken) belül kisebb foltot fednek le az egyes ötvözetcsoporthoz (pl. acélok) értékpárjai. Végül egyetlen anyag (pl. meghatározott acél adott hőkezelési állapotban) értékpárja egy pontot határoz meg.

A koncepcionális tervezés során **komplex anyagjellemzők**et (teljesítőképességi indexeket vagy másként **anyagindexeket**) definiálnak, illetve alkalmaznak.

Például, húzásra terhelt rúd tömegének minimalizálásánál, megengedett rugalmas alakváltozás esetében (merevségre történő méretezés), az  $m$  tömegre levezethető az alábbi teljesítőképességi egyenlet ( $F$  – terhelő erő,  $L$  – rúdhossz,  $\Delta L$  – rugalmas alakváltozás,  $E$  – rugalmassági modulus,  $\rho$  – sűrűség):

$$m = F \frac{L^2}{\Delta L} \frac{1}{\left(\frac{E}{\rho}\right)}$$

komplex anyagjellemző ← maximalizálendő

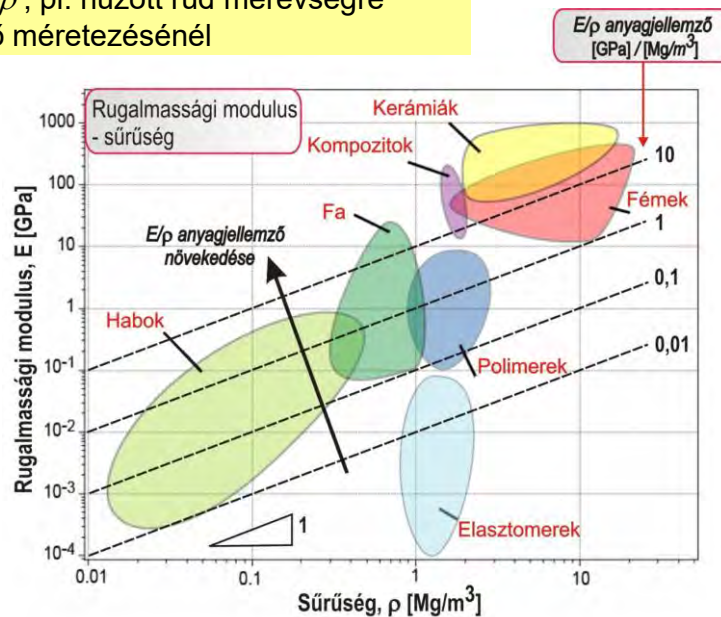
Ha a komplex anyagjellemzőt  $M$ -el jelöljük és feltételezzük, hogy állandó értékkel rendelkezik

$$\frac{E}{\rho} = M$$

logaritmálás és rendezés után  $\log E = \log \rho + \log M$

Az egyenlet  $\log E - \log \rho$  koordináta-rendszerben egy egyenes egyenlete, amelynek iránytangense 1.

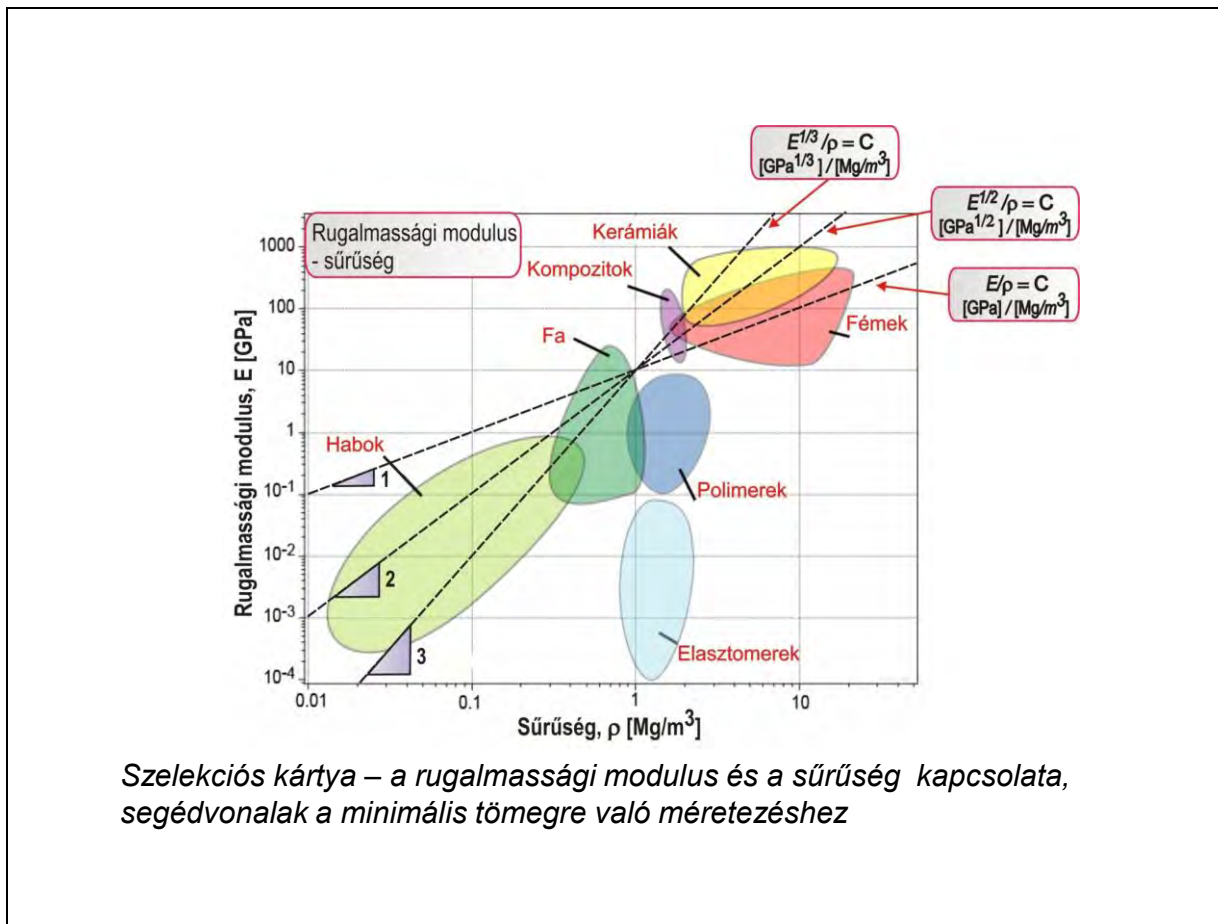
Maximalizálendő komplex anyagjellemző  
 $M = E/\rho$ , pl. húzott rúd merevsége  
 történő méretezésénél



Szelektációs kártya – a rugalmassági modulus és a sűrűség kapcsolata, az  $E/\rho$  komplex anyagjellemző néhány értékének ábrázolása segédvonalak által

A szelektációs kártyákon átlósan elhelyezkedő egyenesek jelzik az  $E/\rho$  komplex anyagjellemzők konstans értékeit. Az egy egyenesre eső anyagok azonos értékűek. Az egyeneseket önmagukkal párhuzamosan felfelé tolva, a konstans értéke növekszik, lefelé tolva csökken. Az optimális anyagcsoport az anyagjellemző megkívánt maximális értéke esetén az az anyagcsoport, amelyet a felfelé tolt egyenes utoljára metsz.





Eltérő igénybevételi módok esetében a rugalmassági modulus különböző hatványai szerepelnek optimum kritériumként, pl. minimális tömegre való méretezés esetén. Húzó-nyomó igénybevétel szempontjából a  $p=1$  kitevő a legkedvezőbb, hajlított rudakra, valamint kihajlásra a  $p=1/2$ , más terhelési esetekben a  $p=1/3$  is kiadódik mint optimális kitevő.

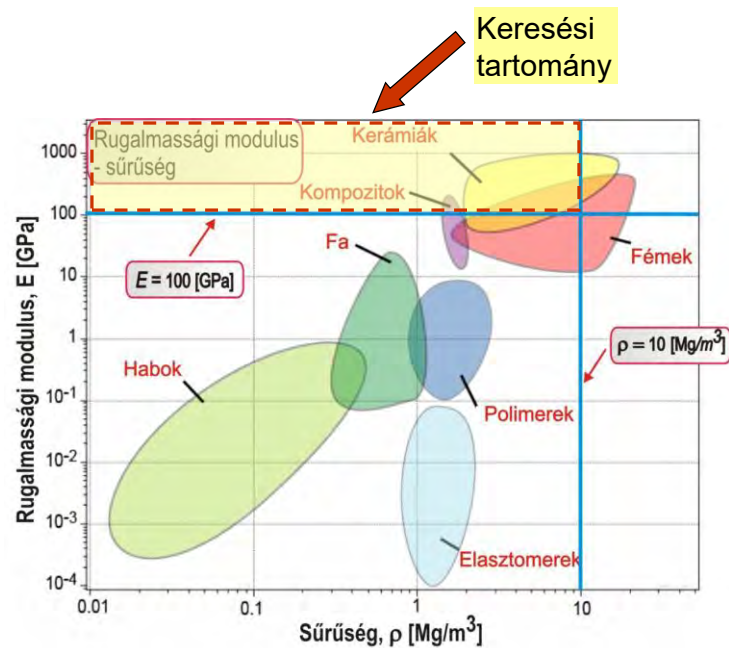
$$\text{Általánosan felírva az optimum kritériumot: } \frac{E^p}{\rho} = C \Rightarrow E^p = \rho C$$

$C$  – konstans – maximális értéke adja a legkedvezőbb választást

$$\text{Logaritmizálva az egyenlet mindkét oldalát } p \log E = \log \rho + \log C$$

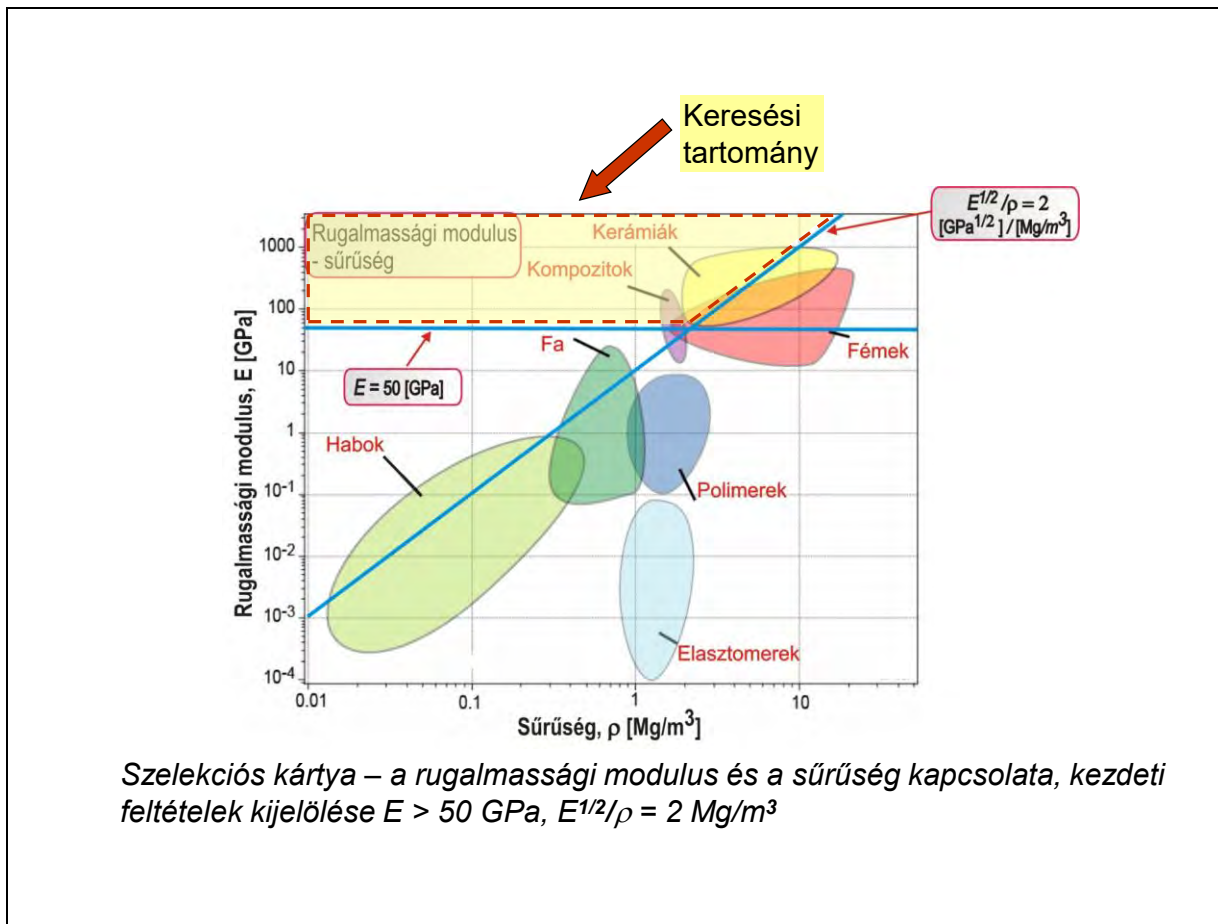
$p$ -vel osztva és az  $m = 1/p$ , valamint  $b = m \cdot \log C$  jelölést bevezetve kapjuk  $\log E = \log \rho + b$

A megkapott egyenlet a  $\log E - \log \rho$  koordináta-rendszerben egyenest ad, amelynek meredeksége  $1/p$ .



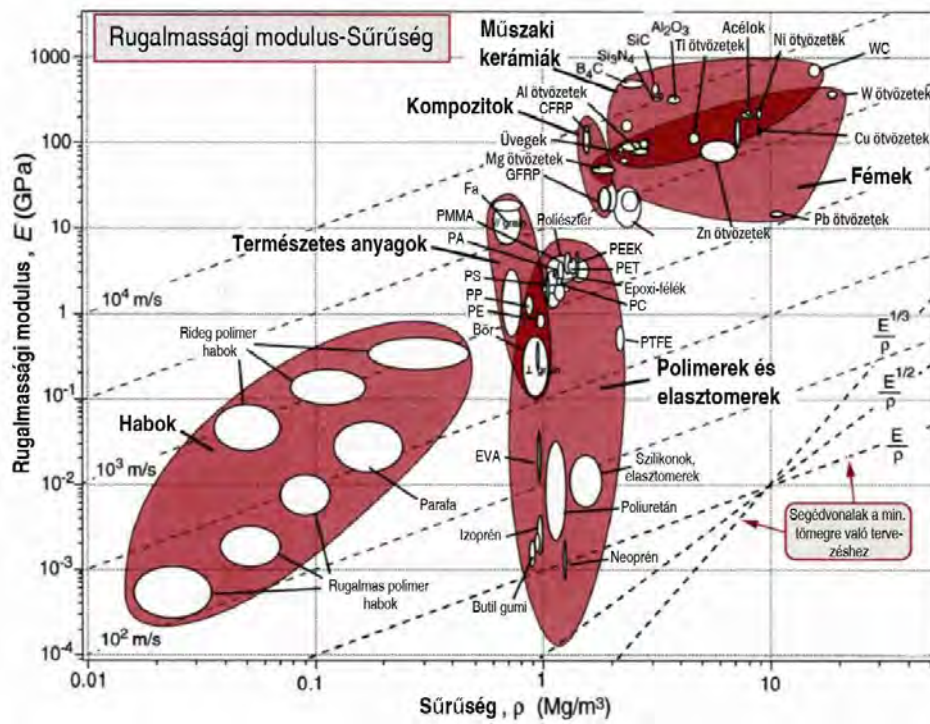
Szelektációs kártya – a rugalmassági modulus és a sűrűség kapcsolata, kezdeti feltételek kijelölése  $E > 100 \text{ GPa}$ ,  $\rho < 10 \text{ Mg/m}^3$

A szelektációs kártyákon kezdeti feltételek (megfontolások) is kijelölhetik a számításba vehető anyagfajtákat. A vázolt feltételek, tehát az  $E > 100 \text{ GPa}$  és  $\rho < 10 \text{ Mg/m}^3$ , kijelölik az anyagválasztáshoz alapul vehető keresési tartományt.

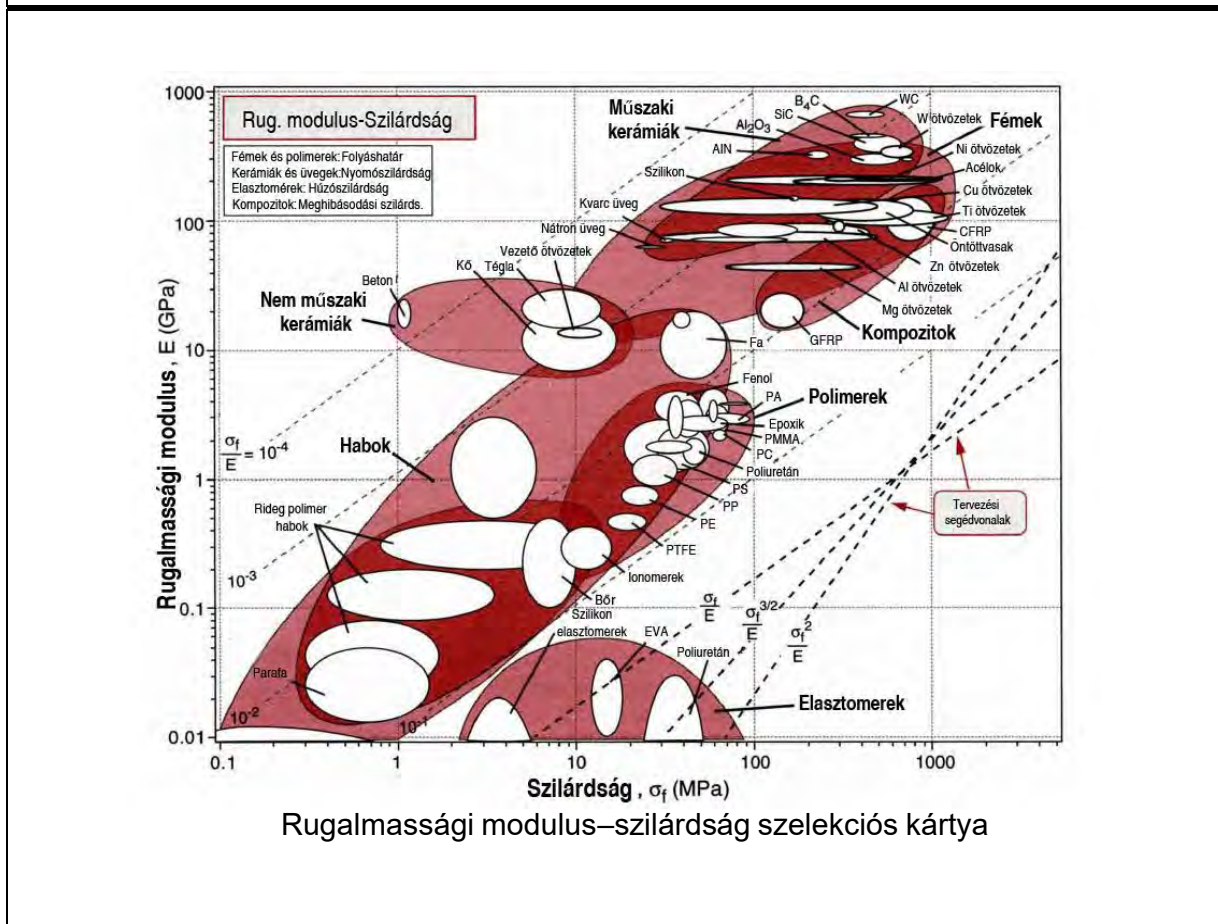
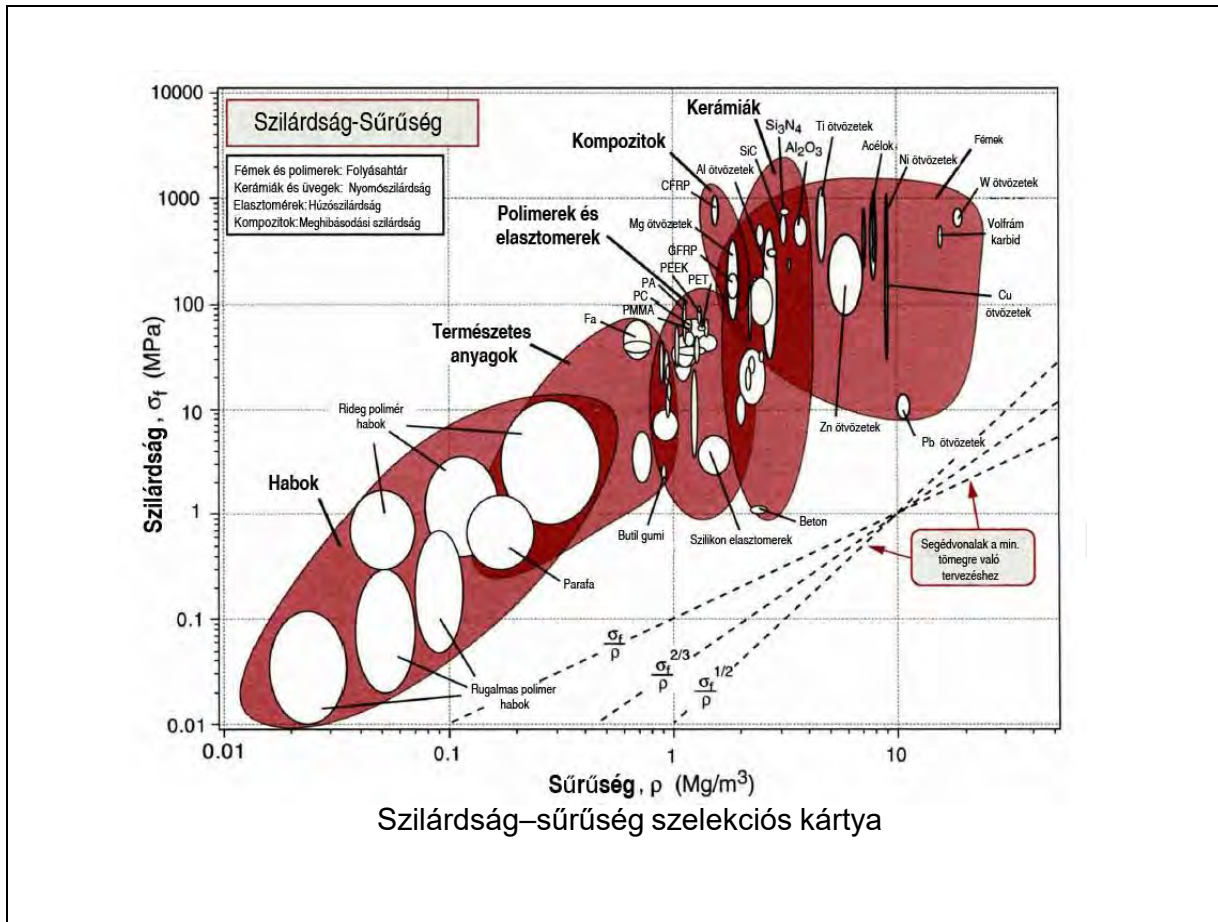


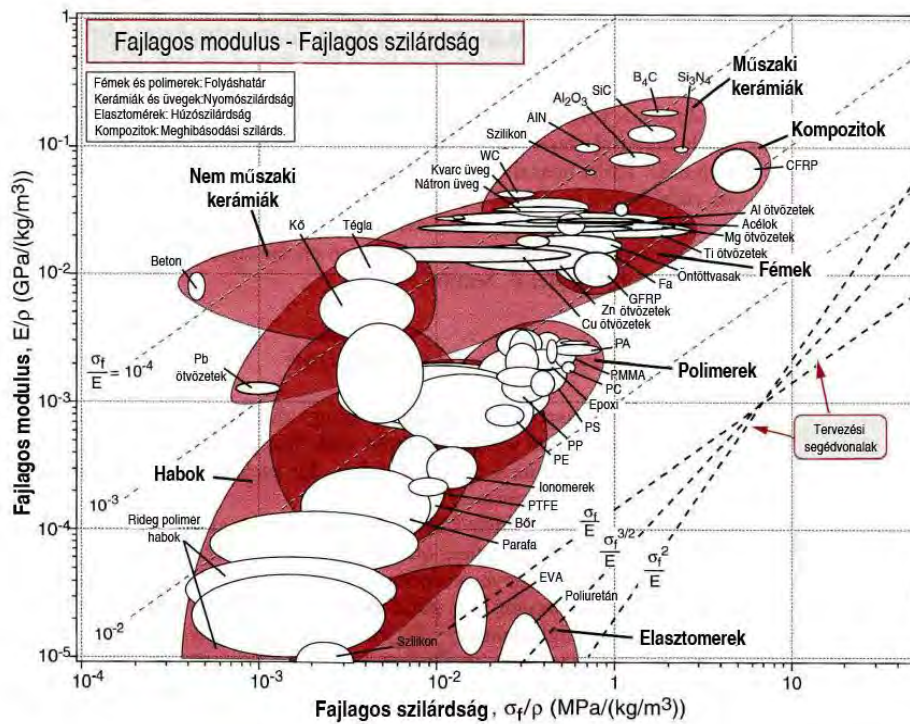
Az anyagválasztás során a választékot tovább szűkítheti, ha a kezdeti feltételek és a komplex jellemző maximalizálása együttes feltétel.

### 3. Szelekciós kártyák

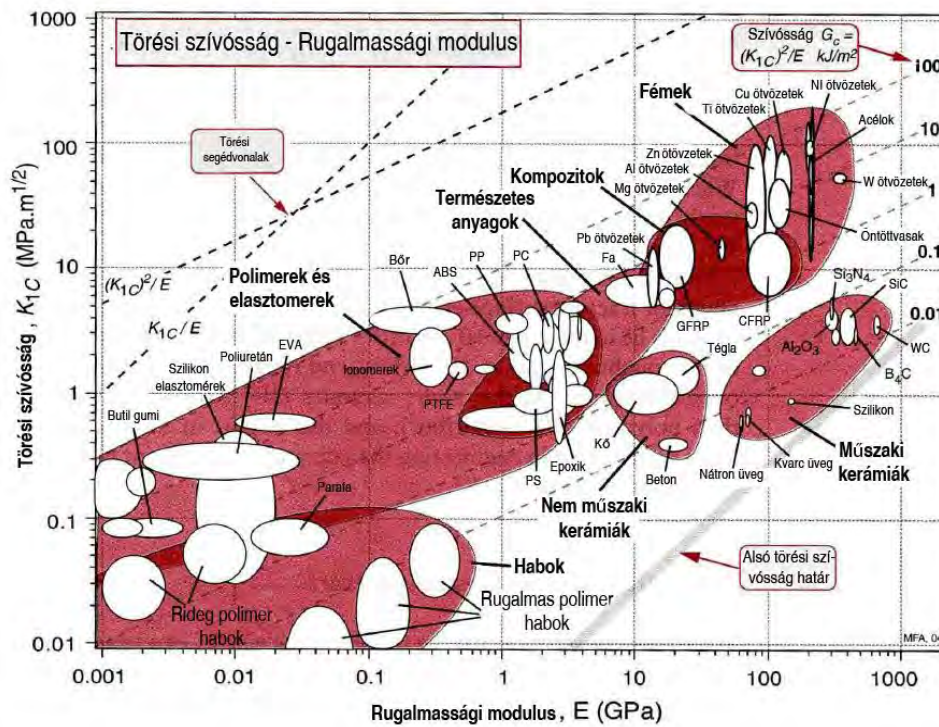


Rugalmassági modulus–sűrűség szelekciós kártya

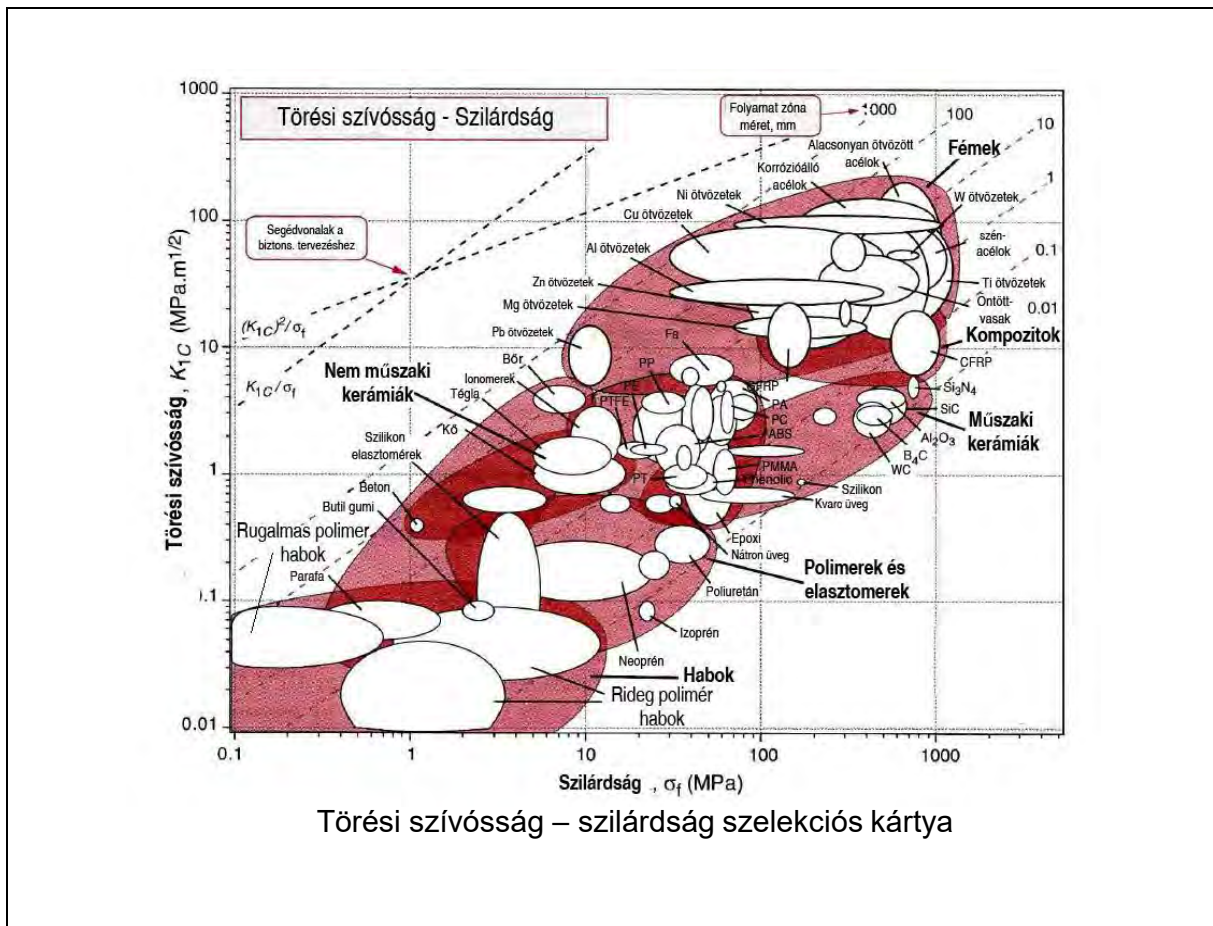




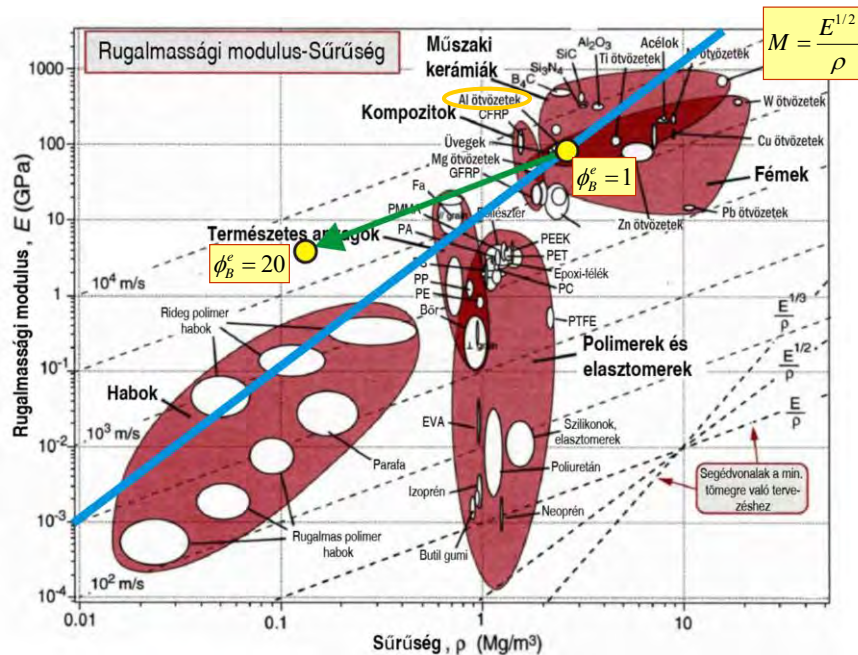
Fajlagos rugalmassági modulus – fajlagos szilárdság szelekciós kártya



Törési szívósság – rugalmassági modulus szelekciós kártya



## 4. Az anyag lehetséges alakjának figyelembevétele anyagválasztásnál



Alaktényezővel módosított adatok elhelyezése a szelektációs kártyán (hajlított tartó alumíniumötvözetből)

### 4. Az anyag lehetséges alakjának figyelembevétele anyagválasztásnál

A szelektációs kártyák ismertetésénél csak anyagtulajdonságokból származtatott komplex jellemzőkről volt szó és nem történt említés az anyag alakjáról, illetve hallgatólagosan feltétel volt az azonos alak (tömör négyzetszelvényű rúd). Az anyag alakjából és az igénybevétel módjából következő alaktényezők és a szelektációs kártyák könnyen kapcsolatba hozhatók.

Egy 1-es alaktényezőjű tömör négyzetszelvényű rúdhhoz képest egy 20-as alaktényezőjű alumíniumötvözetből készült cső a szelektációs kártyákon új anyagnak minősül, ahol az új anyag látszólagos rugalmassági modulusa  $E^* = E / \phi_B^e$  és látszólagos sűrűsége pedig  $\rho^* = \rho / \phi_B^e$

A szelektációs kártyákkal történő anyagválasztás a megfelelő igénybevételre vonatkoztatott alaktényezővel kiegészítve az anyagok minőségét és alakját egyaránt képes figyelembe venni.



## 5. Szelekciós kártyák alkalmazása – optimalizálási feladatok

### 1. feladat

Javasoljon megfelelő anyagminőséget könnyű és merev evezőlapát készítéséhez, ha az igénybevétel hajlítás és a tervezés merevségre történik!

### Megoldás

Funkció

Evezőlapát – könnyű, merev tartó

Cél

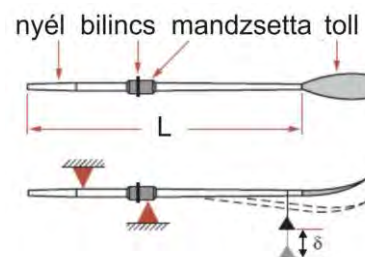
- Az  $m$  tömeg minimalizálása

Követelmény

- Az  $L$  hossz előírt
- Az  $S$  merevség előírt
- A szívósság  $G_{IC} > 1 \text{ kJ/m}^2$

Szabad változók

- Az evezőlapát átmérője
- Anyagválaszték



*Az evezőlapát felépítése és merevségi próbája*

## 5. Szelekciós kártyák alkalmazása – optimalizálási feladatok

Az evezőlapátok merevségét úgy vizsgálják, hogy a bilincstől számítva 2,05 m távolságban 10 kg tömegű terhelést függesztenek a lapátra. Merevnek számít az evezőlapát akkor, ha a lehajlása 30 mm (vagy attól kisebb), a kevésbé merev evezők lehajlása akár 50 mm is lehet.

Az evezőlapát merevségére írható  $S = \frac{F}{\delta}$

ahol a lehajlás  $\delta = \frac{FL^3}{CEI}$

Kör keresztmetszetű evezőlapátot feltételezve,  
az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet

$$m = 2 \left( \frac{SL^5\pi}{C} \right)^{1/2} \frac{1}{\left( \frac{E^{1/2}}{\rho} \right)}$$

Anyagválasztás a legnagyobb  $M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$  alapján lehetséges

$m$  – tömeg  
 $F$  – terhelőerő  
 $S$  – merevség  
 $\delta$  – lehajlás  
 $L$  – hossz  
 $C$  – állandó  
 $\rho$  – sűrűség  
 $I$  – másodrendű nyomaték  
 $E$  – rugalmassági modulus  
 $M$  – anyagjellemző

Anyag	Anyagjellemző $M [GPa]^{1/2} / [Mg / m^3]$	Megjegyzések
Faanyagok	3,4–6,3	Olcsó, hagyományos, többféle faanyag kombinálható
CFRP kompozit	5,3–7,9	Drágább, előnyösebb, egyenletesebb tulajdonságokat ad, mint a fa

Anyagválaszték evezőlapáthoz

Az evezőlapát merevségére az  $F$  terhelőerő és a  $\delta$  lehajlás alapján írható

$$S = \frac{CEI}{L^3}$$

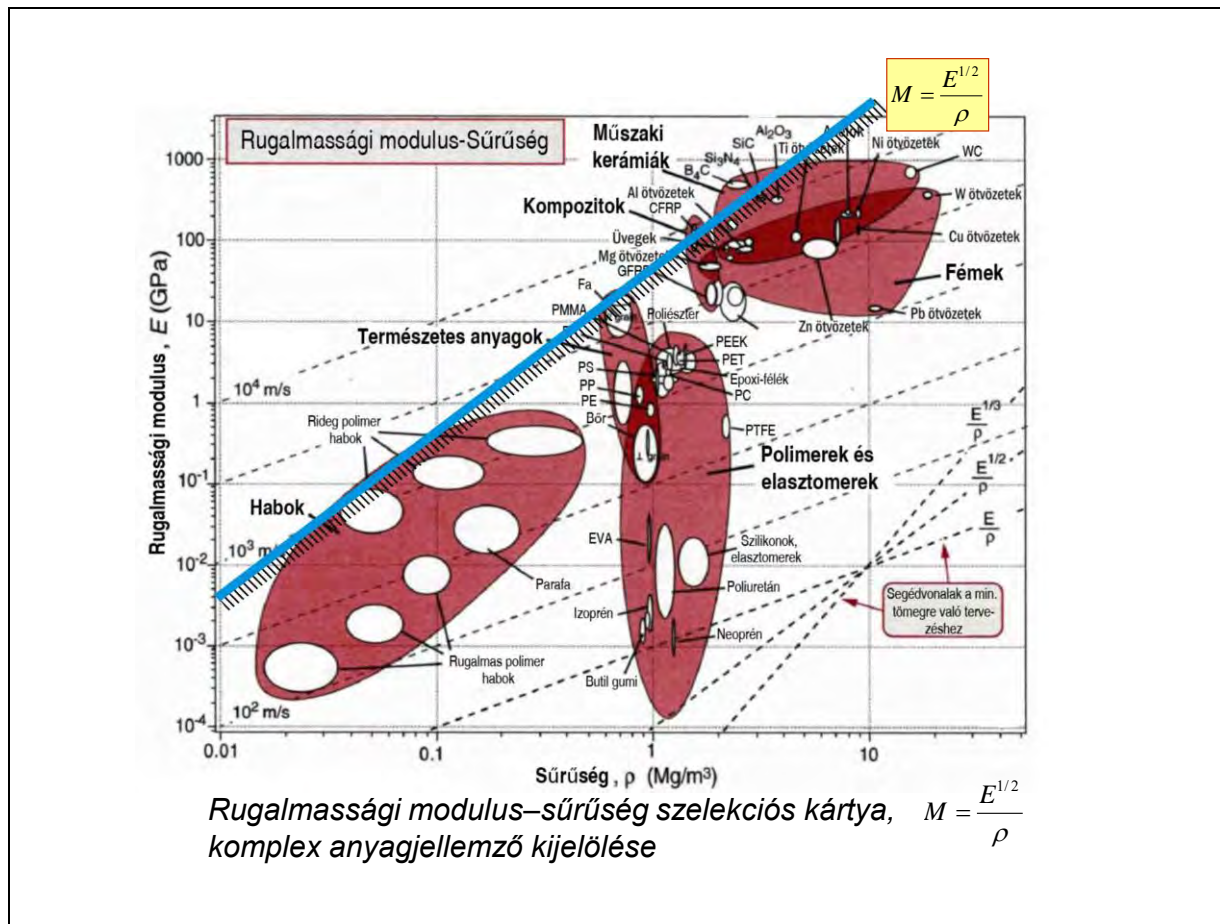
Mivel a másodrendű nyomaték  $I = \frac{\pi r^4}{4}$  és a keresztmetszet  $A = \pi r^2$

a merevségre érvényes  $S = \frac{CEAr^2}{4L^3}$

az  $A$  keresztmetszet a fentiekből  $A = 2 \left( \frac{SL^3\pi}{CE} \right)^{1/2}$

Az  $m$  tömegre írható  $m = AL\rho = 2 \left( \frac{SL^3\pi}{CE} \right)^{1/2} L\rho$

rendezés után  $m = 2 \left( \frac{SL^5\pi}{C} \right)^{1/2} \frac{1}{\left( \frac{E^{1/2}}{\rho} \right)}$



Az ábra az anyagjellemzőből következő szelekciós vonal helyzetét mutatja a rugalmassági modulus–sűrűség szelekciós kártya esetében.

A szelekciós vonal három lehetséges anyagcsoportot metsz: faanyagok, CFRP kompozitok (karbonszállal erősített polimerek) és kerámiák. A kerámiák túlságosan rideg anyagok, ezért ez az anyagcsoport nem vehető számításba az anyagválasztásnál, a másik két anyagcsoport viszont igen.

**2. feladat**

Javasoljon megfelelő anyagminőséget üveg asztallapal rendelkező modern asztal karcsú lábai számára!

**Megoldás**

Funkció

Asztalláb – könnyű, merev oszlop

Cél

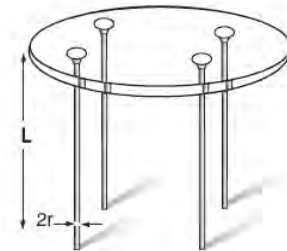
• Az  $m$  tömeg minimalizálása  
Az elérhető legkisebb karcsúság

Követelmény

• Az  $L$  hossz előírt  
• Nem következhet be kihajlás  
• Véletlenszerű ütés hatására nem törhet el

Szabad változók

• Az asztalláb átmérője  $2r$   
• Anyagválaszték



*Modern asztal karcsú lábakkal*

A tervezésnek a kihajlási feltételt kell teljesíteni, a kritikus megengedhető erő  $F_{kr} = \frac{n\pi^2 EI}{L^2}$   
 Kör keresztmetszetű asztalláb esetén az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet

$$m = 2F_{kr}^{1/2} \left( \frac{L^4}{n\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{\left( \frac{E^{1/2}}{\rho} \right)}$$

Anyagválasztás a legnagyobb  $M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$  és  $M_2 = E$  alapján lehetséges

$m$  – tömeg  
 $F_{kr}$  – kritikus terhelőerő  
 $E$  – rugalmassági modulus  
 $I$  – másodrendű nyomaték  
 $L$  – hossz  
 $n$  – befogási módtól függő állandó  
 $\rho$  – sűrűség  
 $M_1, M_2$  – anyagjellemző

Anyag	Anyagjellemző $M_1$ [GPa] <sup>1/2</sup> / [Mg / m <sup>3</sup> ]	Anyagjellemző $M_2$ [GPa]	Megjegyzések
Faanyagok	4,5	10	Kiváló $M_1$ , alacsony $M_2$ , olcsó, hagyományos
CFRP kompozit	6,6	100	Kiváló $M_1$ és $M_2$ , drága
Kerámia anyagok	6,3	300	Kiváló $M_1$ és $M_2$ , ridegsége végett nem alkalmazható
GFRP kompozit	2,5	20	Olcsóbb, mint a CFRP kompozit, viszont az $M_1$ és $M_2$ alacsony értékű

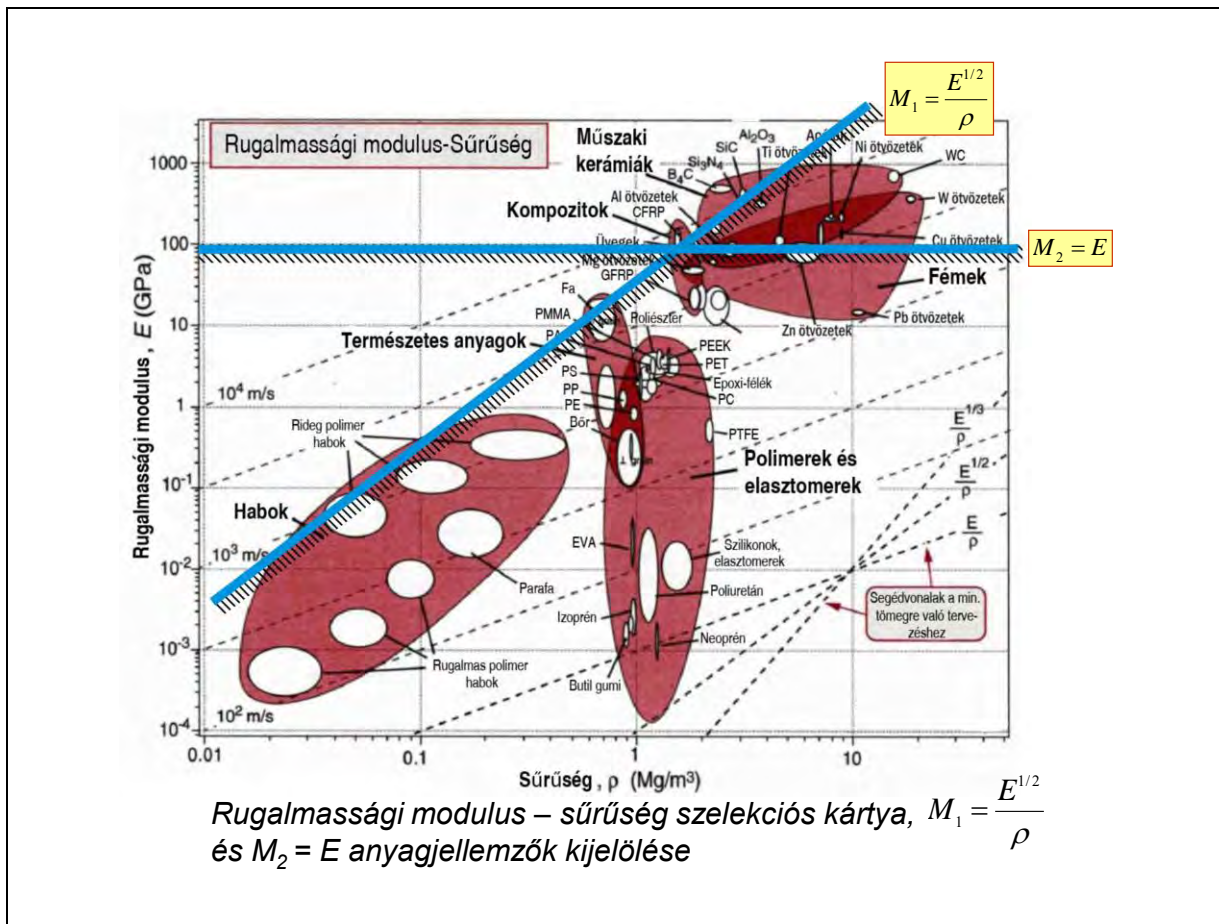
Anyagválaszték karcsú asztallábhoz

Mivel a másodrendű nyomaték  $I = \frac{\pi r^4}{4}$  és a keresztmetszet  $A = \pi r^2$

az  $F_{kr}$  erőből következően az  $A$  keresztmetszet  $A = \left( \frac{4L^2 F_{kr}}{n\pi E} \right)^{1/2}$

Az  $m$  tömegre írható  $m = AL\rho = \left( \frac{4L^2 F_{kr}}{n\pi E} \right)^{1/2} L\rho$

rendezés után  $m = 2F_{kr}^{1/2} \left( \frac{L^4}{n\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{\left( \frac{E^{1/2}}{\rho} \right)}$



Az ábra az anyagjellemzőkből következő szelektációs vonalak helyzetét mutatja a rugalmassági modulus – sűrűség szelektációs kártya esetében.

Az  $M_1$  szelektációs vonal négy lehetséges anyagcsoportot metsz: faanyagok, CFRP kompozitok (karbonszállal erősített polimerek), kerámiák és GFRP kompozitok (üvegszállal erősített polimerek).

A kellő merevség és kihajlás elleni biztonság érdekében a rugalmassági modulus értékének minél nagyobbak kell lennie, ezt a feltételt fejezi ki az  $M_2$  szelektációs vonal, amely  $M_2 = 100 \text{ GPa}$  értékhatárnál helyezkedik el. A faanyagok esetében az  $M_2$  túlságosan alacsony értékű a választott merevségi kritériummal összevetve, a kerámiák túlságosan rideg anyagok, ezért ez az anyagcsoport nem vehető számításba, annak ellenére, hogy az  $M_1$  és  $M_2$  értéke kiváló. A GFRP kompozitok szintén nem minősülnek megfelelő választásnak, mivel  $M_1$  és  $M_2$  értékük kicsi, a legjobb választás a CFRP kompozitok csoportjában körvonalazható.

**3. feladat**

Javasoljon fémötvözetet csavarásra terhelt könnyű, merev tengely lehetséges anyagként, ha a tervezés szilárdságra történik. A mértékadó szilárdságra érvényes  $\sigma_f \geq 300 \text{ MPa}$

**Megoldás**

Funkció

Csavarásra terhelt tengely

Cél

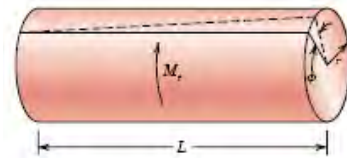
- Az  $m$  tömeg minimalizálása

Követelmény

- Az  $L$  hossz előírt

Szabad változók

- A tengely átmérője  $2r$
- Anyagválaszték



Csavarásra terhelt tengely

Ha a megengedett csavarófeszültségnek a csavarószilárdságot tekintjük  $N$  biztonsági tényező mellett, akkor  $\tau = \frac{\tau_f}{N} = \frac{M_t}{Q} = \frac{2M_t}{\pi r^3}$

Az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet

$$m = (2NM_t)^{2/3} (\pi^{1/3} L) \frac{1}{\left(\frac{\tau_f^{2/3}}{\rho}\right)}$$

$m$  – tömeg  
 $\tau_f$  – csavarószilárdság  
 $M_t$  – csavarónyomaték  
 $Q$  – csavarási keresztmetszeti tényező  
 $L$  – hossz  
 $N$  – biztonsági tényező  
 $\rho$  – sűrűség  
 $M_1, M_2$  – anyagjellemző

Anyagválasztás a legnagyobb  $M_1 = \frac{\tau_f^{2/3}}{\rho}$  és  $M_2 = \tau_f$  alapján lehetséges

Anyag	Anyagjellemző $M_1$ [MPa] <sup>2/3</sup> / [Mg / m <sup>3</sup> ]	Anyagjellemző $M_2$ [MPa]	Megjegyzések
<b>2024 T6 Al ötvözet</b>	16	300	Kiváló $M_1, M_2$ értéke megegyezik a mértékadó szilárdsággal
<b>Ti6Al4V Ti ötvözet</b>	14,8	525	Kiváló $M_1$ és kiváló $M_2$ , drága ötvözet
<b>4340 acél</b>	10,9	780	Alacsony $M_1$ és kiváló $M_2$ , hagyományos szerkezeti anyag

Anyagválaszték csavarásra terhelt tengelyhez a fémötvözetek csoportjából

Mivel kör keresztmetszetre  $A = \pi r^2$  és a csavarási keresztmetszeti tényezőre

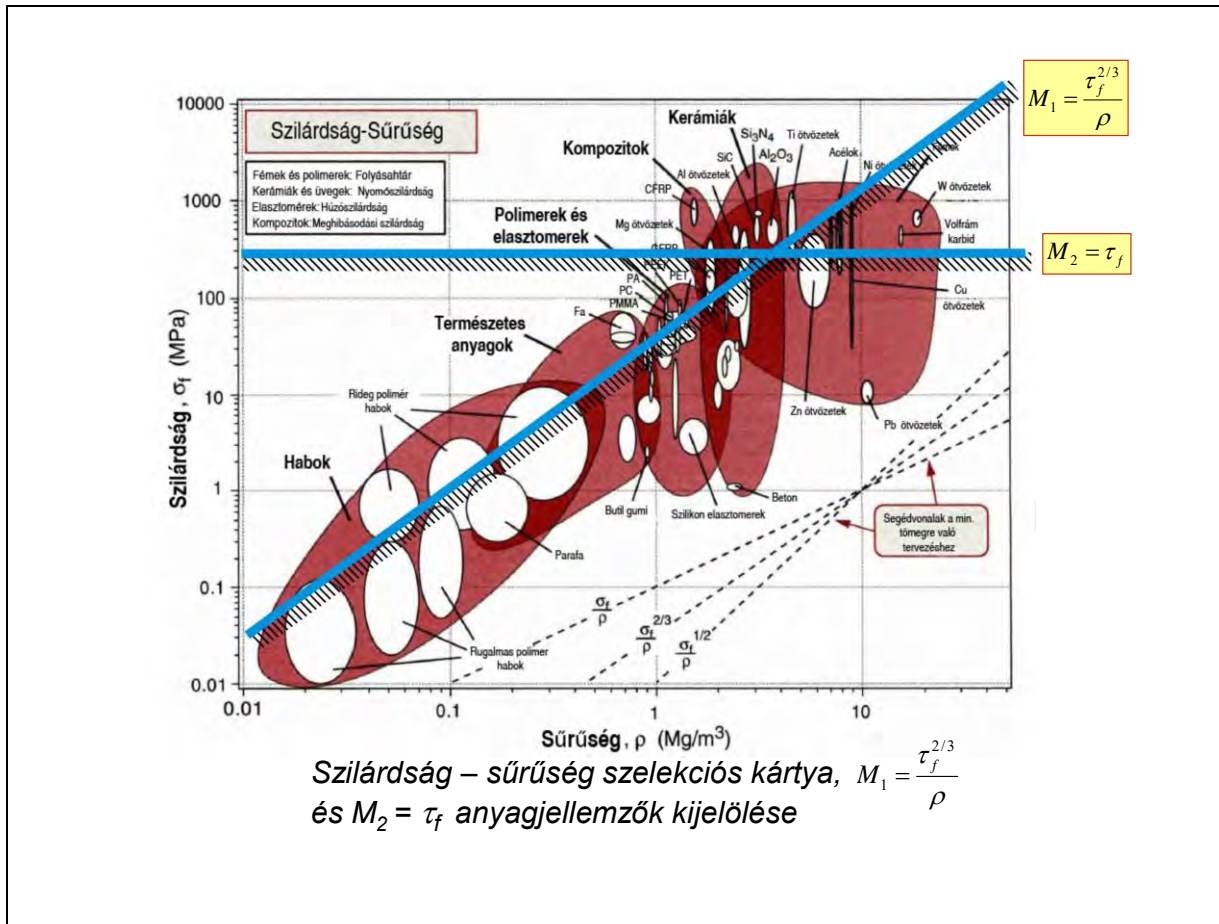
érvényes  $Q = \frac{\pi r^3}{2}$ , továbbá  $r^2 = \left(\frac{2M_t N}{\tau_f \pi}\right)^{2/3}$ .

Az  $m$  tömegre írható  $m = AL\rho = \pi r^2 L\rho = \pi \left(\frac{2M_t N}{\tau_f \pi}\right)^{2/3} L\rho$

rendezés után  $m = (2NM_t)^{2/3} (\pi^{1/3} L) \frac{1}{\left(\frac{\tau_f^{2/3}}{\rho}\right)}$

A táblázat három konkrét fémötvözet anyagjellemzőit tartalmazza, amelyek a kiválasztás feltételeit figyelembe véve lehetséges megoldásként szóba jöhetnek.





Az ábra az anyagjellemzőkből következő szelekciós vonalak helyzetét mutatja a szilárdság – sűrűség szelekciós kártya esetében.

Az  $M_1$  szelekciós vonal a fémek csoportján belül több ötvözetet metsz (illetve a vonal felett többféle ötvözet található): magnéziumötvözetek, titánötvözetek, alumíniumötvözetek, acélok.

A feladatban a csavarószilárdságra közölt feltételt az  $M_2$  szelekciós vonal fejezi ki, amely  $M_2 = 300 \text{ MPa}$ , tehát azok az ötvözetek jöhetnek szóba, amelyek teljesítik ezt a feltételt is.

Az  $M_1$  és  $M_2$  szelekciós vonalak feletti tartományból a titánötvözetek, a nagyszilárdságú alumíniumötvözetek és a nagyobb szilárdságra hőkezelt acélok vehetők számításba csavarásra terhelt tengely anyagként.

**4. feladat**

Nagy nyomástartó edények esetében a megengedhető belső nyomásra érvényes

$p \leq \frac{4}{\pi} \frac{1}{R} \left( \frac{K_{IC}^2}{\sigma_f} \right)$ , ahol  $R$  az edény belső sugara,  $K_{IC}$  a törési szívósság és  $\sigma_f$  a folyáshatár. A törési szívósság – szilárdság ( $K_{IC} - \sigma_f$ ) szelekciós kártya alapján határozzon meg fémötvözeteket, amelyek leginkább megfelelnek nyomástartó edények készítésére!

**Megoldás**

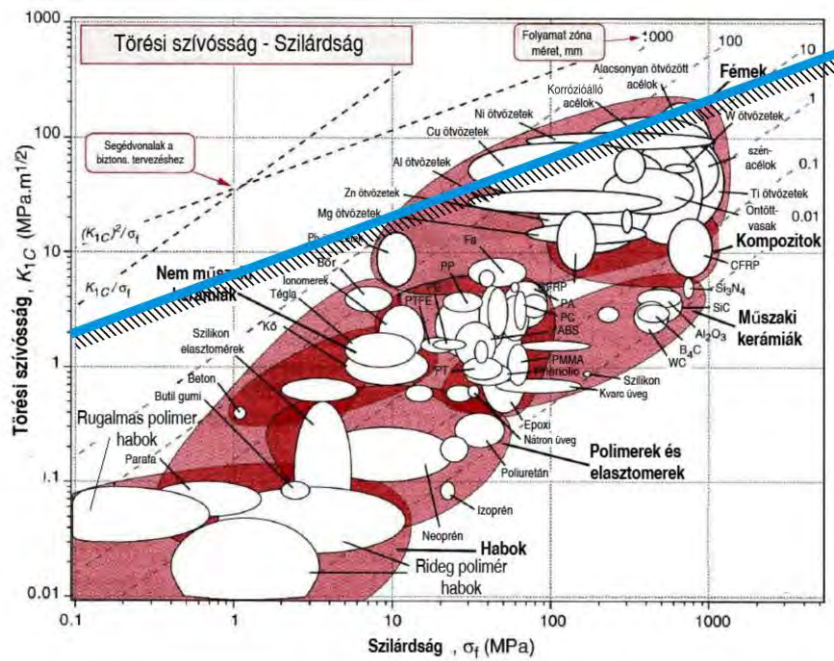
A feltüntetett teljesítőképességi egyenlet alapján a maximalizálandó komplex anyagjellemző

$$M = \frac{K_{IC}^2}{\sigma_f}$$

Anyag	Megjegyzések
<b>Alacsonyán ötvözött acélok</b>	Hagyományos szerkezeti anyag nyomástartó edények, csövek számára
<b>Korrózióálló acélok</b>	Korrózióknak kitett helyeken, atomenergetikai berendezésekben használatos
<b>Rézötvözetek</b>	Kisebb hőcserélőkben, vízmelegítőknél használatos
<b>Nikkelötvözetek</b>	Vegyipari gépekben és reaktorokban alkalmazható, gázturbínák égéskamráinak anyaga

*Anyagválaszték nyomástartó edényekhez*

Nagy nyomástartó edényeket úgy terveznek, hogy az a legkisebb repedés, amely instabilan terjedhetne tovább, legyen nagyobb, mint az edény falvastagsága. Az edény tönkremenetele esetén a képlékeny törés az edény átlukadását okozza és a nyomás leesik, mielőtt rideg törés következne be.



$$M = \frac{K_{1C}^2}{\sigma_f}$$

Törési szívósság – szilárdság szelekciós kártya,  $M = \frac{K_{1C}^2}{\sigma_f}$   
 komplex anyagjellemző kijelölése

## 6. Cambridge Engineering Selector (CES) program



### A CES jellemzői:

integrált szoftver csomag, amely **anyagokra**, **alakzatokra** és **gyártási eljárásokra** vonatkozó adatok és információk tárolására, kezelésére és elemzésére szolgál.

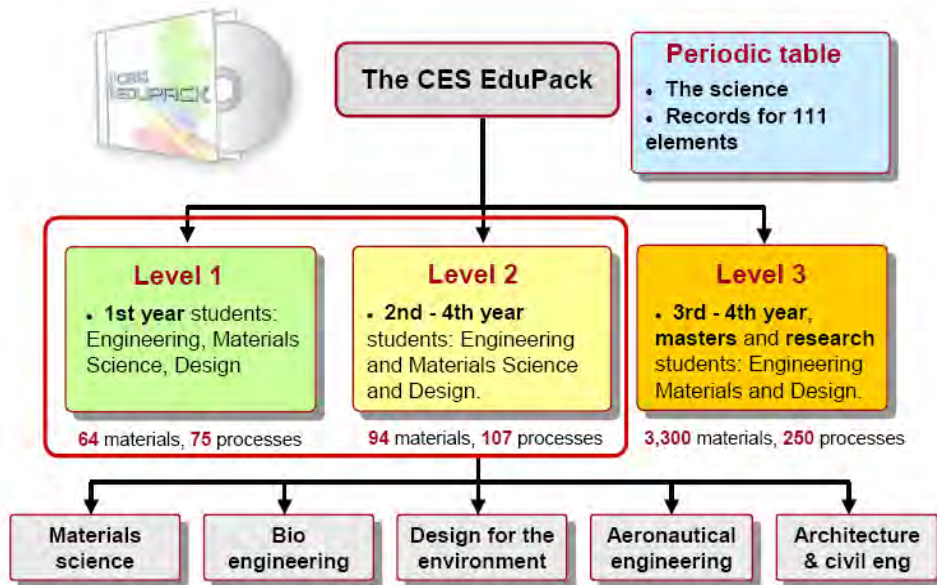
### A CES három fő eleme:

- **információ keresés** anyagokra, alakzatokra, eljárásokra, gyártókra és szállítókra
- **szisztematikus elemzés és optimalizálás** az anyag- és az eljárás választásban
- **komplex tulajdonságok modellezése**- mechanikai, termikus, elektromos stb.

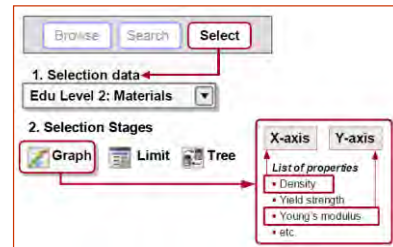
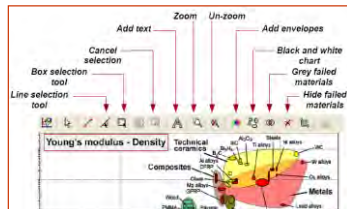
### A CES fő alkalmazási területei:

- **anyagválasztás (Materials Universe)** új termék tervezése esetén, meglévő termékhez helyettesítő anyag választása különféle szempontok szerint optimalizálva (teljesítmény/ár, tömeg/ár, ...)
- **alakzatok, szerkezeti elemek választása (Shape, Structural Elements)**
- **eljárás választás (Process Universe)** új termék tervezése esetén, meglévő termékhez különféle szempontok szerinti optimalizálásra
- **részletes tervezéshez speciális professzionális adatbázisok**



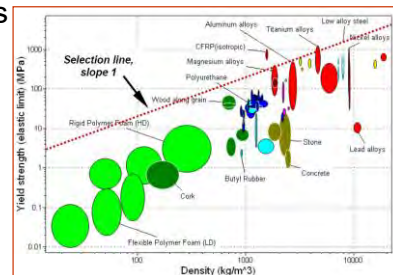
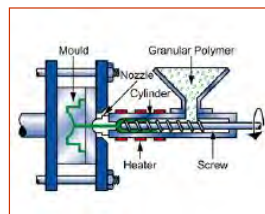


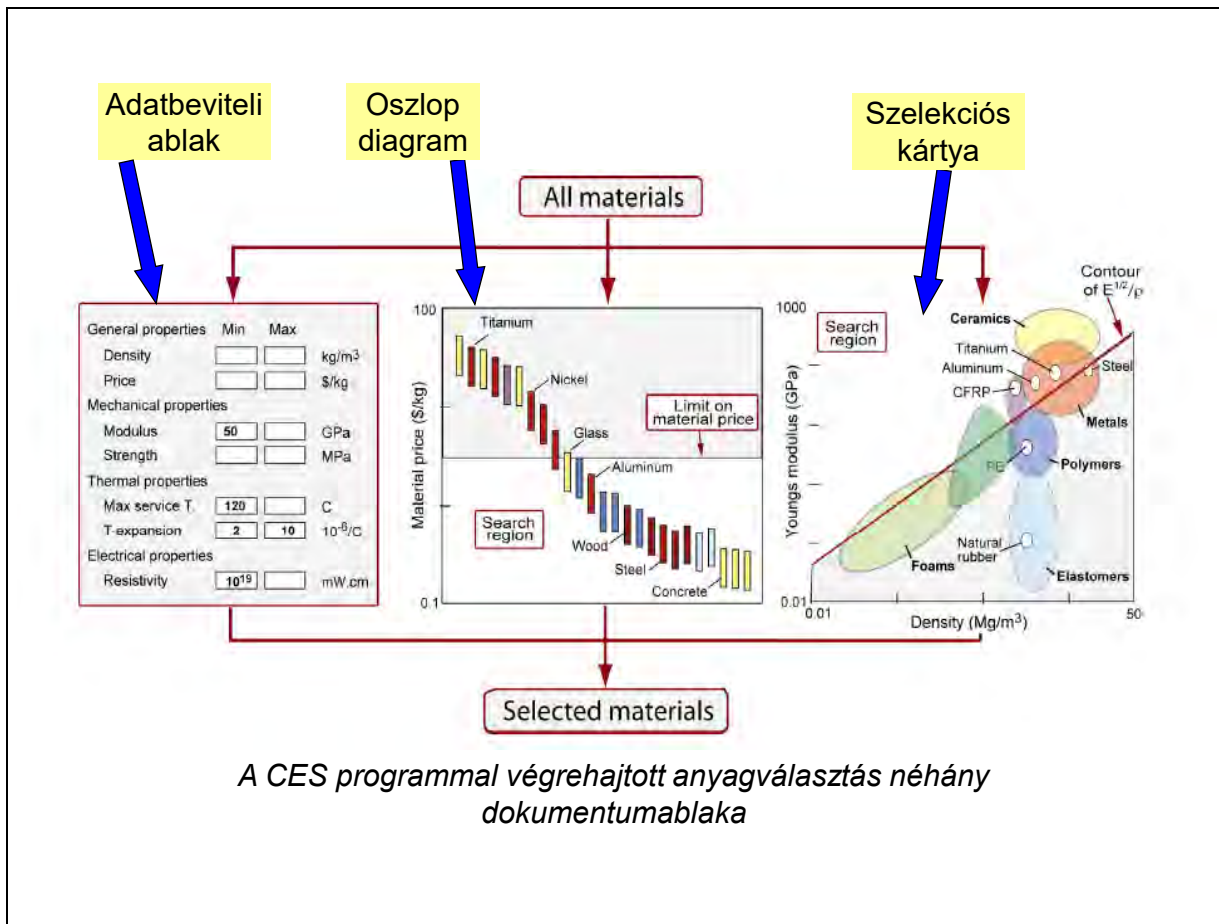
A CES EduPack felépítése és az alkalmazási területek összefoglalása



**A CES anyagválasztási filozófia:**

1. A tervezési követelmények **lefordítása** anyagtulajdonságokra,
2. A követelményeket nem teljesítő anyagok **kiszűrése**,
3. **Osztályozás, rangsorolás** a követelmények kielégítésének szintje szerint,
4. **További információk keresése** az ígéretes anyagokra.





## Kérdések és feladatok



- 1) Mi az Ashby-féle anyagválasztási koncepció lényege?
- 2) Az anyagtulajdonság diagramokon belül mit ért oszlop diagram és mit szelekciós kártya alatt?
- 3) A rugalmassági modulus – sűrűség szelekciós kártyán jelölje ki azt a tartományt, amelyre érvényes  $E > 50 \text{ GPa}$  és  $\rho < 2 \text{ Mg/m}^3$ !
- 4) A rugalmassági modulus – sűrűség szelekciós kártya segítségével keressen három ötvözetfajtát, amelyekre érvényes az alábbi feltétel  $E > 100 \text{ GPa}$  és  $E/\rho > 23 \text{ GPa}/(\text{Mg/m}^3)$ !
- 5) A szilárdság – sűrűség szelekciós kártya alapján döntse el, hogy a titán-ötvözetek vagy a volfrám-ötvözetek rendelkeznek-e nagyobb fajlagos szilárdsággal?
- 6) Megoszló terheléssel hajlított lemez merevségre történő méretezése esetén, minimális tömegre törekedve, javasoljon megfelelő anyagminőséget, amelynek rugalmassági modulusára érvényes  $E > 100 \text{ GPa}$ !
- 7) Ismertesse, hogyan hozhatók kapcsolatba a szelekciós kártyák és az alaktényezők!

- 8) Egyik végén befogott tartó szabad végére  $F$  erőből származó hajlító terhelés hat. A tartó négyzet keresztmetszetű ( $txt$ ), hossza  $L$ . Szilárdságra történő méretezés esetén, javasoljon három anyagminőséget, amelyek a hajlításon kívül kielégítik a törési szívósságra meghatározott  $K_{IC} > 15 \text{ MPam}^{1/2}$  feltételt is!
- 9) Adott három anyagfajta: kevlar - epoxi kompozit ( $\sigma_f = 1240 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = 76 \text{ GPa}$ ), nagyszilárdságú acél ( $\sigma_f = 1000 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = 210 \text{ GPa}$ ) és alumínium-ötvözet ( $\sigma_f = 500 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = 70 \text{ GPa}$ ). Nyomóterhelés esetén, minimális tömegre való tervezés során, szilárdságra történő méretezés alapján, döntse el, hogy melyik anyagfajta tekinthető optimálisnak a felsorolt három közül!
- 10) Ismertesse a CES (Cambridge Engineering Selector) program-csomag fő alkalmazási területeit!

## **A fejezettel kapcsolatos fontosabb angol - magyar kifejezések**

material property chart – anyagtulajdonság kártya (diagram)

bar chart – oszlop diagram

selection chart – szelekciós kártya (diagram)

guidelines for design – tervezési segédvonalak

fracture toughness – törési szívósság

specific stiffness – fajlagos merevség

specific strength – fajlagos szilárdság

tensile failure – meghibásodási szilárdság

translate design requirements – tervezési követelmények lefordítása  
(anyagtulajdonságokra)

screen using constraints – szűrés követelmények alapján

rank using objective – rangsorolás a célok alapján

seek supporting information – (további) támogató információk keresése



## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] Ashby, M.F.: New Approaches in Materials and Manufacturing Education, PowerPoint Lecture Units, Granta Design Ltd., Cambridge, 2009.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III. Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003
- [4] Tisza, M.: Anyaginformatika-előadásvázlatok, PowerPoint bemutatók, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2009
- [5] Cebon, D., Ashby, M.F., Bream, C., Lee-Shothaman, L.: CES EduPack 2009 User's Manual, Release 4, Granta Design Ltd, Cambridge, 2009
- [6] Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2004.
- [7] Bagyinszki, Gy., Bitay, E.: Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 19. Fémes szerkezeti anyagok szabványos jelölési rendszere

Szerző: Dr. Szakál Zoltán  
[szakal.zoltan@gek.szie.hu](mailto:szakal.zoltan@gek.szie.hu)

## Tartalom

Fémes anyagok szabványos jelölési rendszere .....	628
A fizikai tulajdonságra garantált acélok rövid jelének felépítése .....	630
Fizikai tulajdonságra garantált anyagjelek .....	632
Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása .....	636
Jelölési példák.....	639
A fizikai tulajdonságra garantált anyagjelek.....	643
Nem vasötvözetek hagyományos jelölése .....	645

## Fémes anyagok szabványos jelölési rendszere

Az acélszabványok napjainkban is nagy átalakuláson mennek keresztül. A szabványokat az EU-tagországok és azok az országok, amelyek ezeket változatlanul átveszik, nemzeti jelzettel jelölik meg. Így ezek Magyarországon MSZ EN jelölésekkel vannak ellátva.

Az acélminőségek jelölésére az MSZ EN 10027-ben kétféle jelölési mód van:

- Az acélminőségek rövid jele az MSZ EN 10027-1:2006 szerint
- Az acélminőségek szám jele az MSZ EN 10027-2:2006 szerint

## Rövid jelölési rendszer

Fizikai, mechanikai  
tulajdonságra garantált  
acélok

Vegyai, kémiai összetételre  
garantált acélok

Ebbe a csoportba tartoznak azok az acélok, amelyeknél a felhasználó számára valamilyen **mechanikai, fizikai tulajdonság garantálása** a fontos.

A szilárdság, alakíthatóság vagy egyéb fizikai (mágneses veszteség) tulajdonságait a gyártó szavatolja.

Ebbe a csoportba tartoznak azok az acélok, amelyeknél a **vegyszeri összetételük garantált**.

A hőkezelésre kerülő, vagy ötvöztetés révén különleges tulajdonsággal rendelkező acélok jelölési rendszere tartozik ide.

## A fizikai tulajdonságra garantált acélok rövid jelének felépítése

Pl. **G S 355 J2 G1**

Fő jelek						Kiegészítő jelek			
						Acélananyag kódja			
1.		2.		3.		4.		5.	
<b>G</b>		<b>S</b>		<b>355</b>		<b>J</b>	<b>2</b>	<b>G</b>	<b>1</b>

1. **Kezdőjel:** kizárólag csak öntvényeknél használható (acélöntvény) és **csak G lehet.**
2. **Fő jel(ek):** meghatározó alkalmazási terület (**S** szerkezeti acél)
3. **Fő tulajdonságjel:** a fő tulajdonság garantált értéke ( $R_{eH} \geq 355$  N/mm<sup>2</sup>)
4. **Kiegészítő tulajdonság jel:** egy tulajdonság garantált értéke (J2 ütőmunka értéke adott hőmérsékleten, J = 27 J ütőmunka, 2–20 °C-on)
5. **Kiegészítő jel:** kiegészítő tulajdonság (**G1** csillapítás mértéke)

Fő jelek					Kiegészítő jelek			
					Acélananyag kódja			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
G	S	355	J	2	G	1		

2	megnevezés	3
S	Szerkezeti acél	Legkisebb folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
P	Nyomástartó felhasználásra	Legkisebb folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
L	Csővezetékekhez	Legkisebb folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
E	Gépacélok	Legkisebb folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
B	Betonacélok	Jellemző folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
Y	Előfeszített betonszerkezetekhez	Legkisebb szakítószilárdság N/mm <sup>2</sup>
R	Sínacélok	Legkisebb folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
H	Hidegen hengerelt lapos termék	Legkisebb szakítószilárdság N/mm <sup>2</sup>
D	Lapos termék hidegalakításra	C hidegen, D melegen hengerelt, X elő nem írt állapotú termékek
T	Ónozott termékek	T egyszeresen hengerelt, Rockwell-keménység (HR 30 Tm) Kétszeresen hengerelt termék esetében névleges folyáshatár N/mm <sup>2</sup>
M	Elektrotechnikai acél	Wattvesztési előírás 100 szorosa W/kg

Fő jelek					Kiegészítő jelek			
					Acélananyag kódja			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
G	S	355	J	2	G	1		

Ütőmunka érték, [J]			Vizsgálati hőmérséklet [°C]
27	40	60	
JR	KR	LR	+20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J4	K4	L4	-40
J6	K6	L6	-60

**További alkalmazható jelölések szerkezeti és nyomástartó edények gyártására felhasználható acélok esetén**

M	Finomszemcsés acél, melegen hengerelt
N	Finomszemcsés acél, normalizálva
Q	Finomszemcsés acél, nemesítve
G	Dezoxidáció módja, számjellel kiegészítve

## Fizikai tulajdonságra garantált anyagjelek

Jelölési példák (rövidjel és számjel):

### S 235 JR (1.0037)

<b>S</b>	Szerkezeti acél
<b>235</b>	Folyáshatár: $R_{eH} = 235$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>JR</b>	TTK <sub>v</sub> : 27J 20 °C

### S 355 K2 G4 (1.0596)

<b>S</b>	Szerkezeti acél
<b>355</b>	Folyáshatár: $R_{eH} = 355$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>K2</b>	TTK <sub>v</sub> : 40J -20 °C
<b>G4</b>	Különlegesen csillapított

### S 275 N (1.0490)

<b>S</b>	Szerkezeti acél
<b>275</b>	Folyáshatár: $R_{eH} = 275$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>N</b>	Normalizált állapotú

### E 295 (1.0050);

### Régi szabványos jelek: Fe 490; A50

<b>E</b>	Gépacél
<b>295</b>	Folyáshatár: $R_{eH} = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]



## Vegyi kémiai összetételre garantált acélok rövid jelének felépítése

### Pl. G X 10 CrNi 18-10

1.		2.		3.		4.		5.	
<b>G</b>		<b>X</b>		<b>10</b>		<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>18</b>	<b>10</b>

1. **Kezdőjel:** kizárólag csak ötvényeknél használható (csak G lehet)
2. **Főjel(ek):** X-jel azt jelenti, hogy legalább egy ötvöző mennyisége meghaladja az 5%-ot.
3. **A szénttartalom jel:** a szénttartalom középértékének százszorosa (0,1% C)
4. **Ötvözők vegyjele:** az ötvözők vegyjele mennyiségük csökkenő sorrendjében (CrNi, egy króm-nikkel ötvözet)
5. **Összetétel:** az ötvözők mennyiségének középértéke egész számban kifejezve: Cr 18%, Ni 10%.

## Vegyi, kémiai összetételre garantált acélok rövid jelének felépítése

Ha egyik ötvöző mennyisége sem haladja meg az 5%-ot, akkor nincs X-jel.

### 12 CrMo 4-5

1.		2.		3.		4.		5.	
				<b>12</b>		<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Ekkor az ötvözők mennyiségét úgy kapjuk meg, hogy ha a táblázat szerinti számmal elosztjuk a jelben található számokat.

Ötvözők	Szorzótényező
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Ai, Be, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10
P, S, N, C, Ce	100
B	1000

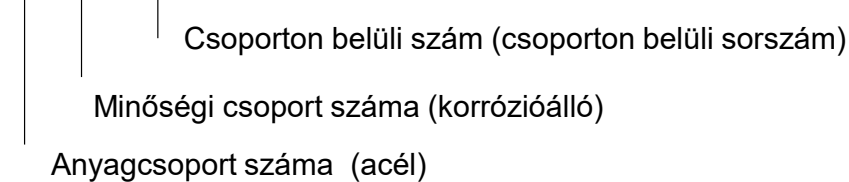
Tehát a 12 CrMo 4-5 jel jelentése:

C – 0,12%; Cr – (4:4) = 1%; Mo – (5:10) = 0,5%;

## Anyagok számjelének felépítése

Mind a fizikai mechanikai tulajdonságokra, mind a vegyi összetételre garantált acéloknak van számjele is. A számjel háromtagú számcsoporthból áll:

**1. 40 00**

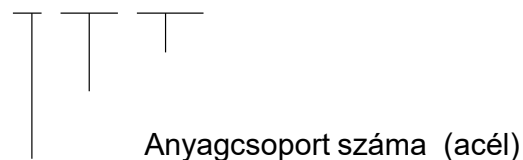


### Jelölési példák:

Anyag számjele	Rövidjel	Megnevezés
0.6015	GJL 150	Lemezgrafitos öntöttvas
1.4000	X6Cr13	Auszténites korrózióálló acél
1.0490	S275N	Szerkezeti acél
2.1090	G-Cu Sn 7 Zn	Bronz, forgácsolható
3.2581	G-AISi12	Alumínium, önthető

## Anyagok számjelének felépítése

**1. 40 00**



<b>0</b>	<b>öntvények, nyersvasak, ferroötvözetek</b>
<b>1</b>	acélok
<b>2</b>	nemvas nehézfémek
<b>3</b>	nemvas könnyűfémek
<b>4 – 8</b>	nemfém anyagok
<b>9</b>	későbbi felhasználásra

Ötvözetlen alapacélok	Ötvözetlen minőségi acélok	Ötvözetlen nemesacélok	Ötvözött minőségi acélok	Ötvözött nemesacélok (szerszámacélok)	Különféle acélok	Korrózió és hőálló acélok	Szerkezeti, nyomástartóedény-, és gépacélok			
							50	60	70	80
00 90 Alapacélok		10 Acélok különleges fizikai tulajdonságokkal		20 Cr	30	40 Korrózióálló acélok ha Ni< 2,5% és nincs Nb, Ti	50 Mn-Si-Cu	60 Cr-Ni ha Cr>2%<3%	70 Cr Cr-B	80 Cr-Si-Mo Cr-Si-Mo-Mn Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mn-Mo-V
	01 91 Általános rendeltetésű szerkezeti acélok, ha R <sub>m</sub> <500N/mm <sup>2</sup>	11 Szerkezeti nyomástartó edény és gépacélok C<0,5%		21 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si	31	41 Korrózióálló acélok ha Ni, Mo< 2,5% és nincs Nb, Ti	51 Mn-Si Mn-Cr	61	71 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mo-V
	02 92 Nem hőkezelésre szánt szerkezeti acélok, ha R <sub>m</sub> <500N/mm <sup>2</sup>	12 Szerkezeti nyomástartó edény és gépacélok C>0,5%		22 Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si	32 Gyorsacélok Co tartalommal	42	52 Mn-Cu Mn-V Si-V Mn-Si-V	62 Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu	72 Cr-Mo ha mo>0,35% Cr-Mo-B	82 Cr-Mo-W Cr-Mo-W-V
	03 93 Acélok, ha C< 0,12% R <sub>m</sub> <400N/mm <sup>2</sup>	13 Szerkezeti és gépacélok különleges követelményekkel		23 Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V	33 Gyorsacélok Co nélkül	43 Korrózióálló acélok ha Ni> 2,5% és van Nb, Ti	53 Mn-Ti Si-Ti	63 Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu Ni-Mo-V Ni-Mn-V	73 Cr-Mo ha Mo>0,35%	83
	04 94 Acélok, ha C> 0,12%<0,25% R <sub>m</sub> >400N/mm <sup>2</sup> R <sub>m</sub> <500N/mm <sup>2</sup>	14		24 W Cr-W	34	44 Korrózióálló acélok ha Ni> 2,5% és nincs Nb, Ti	54 Mo Nb Ti v W	64	74	84 Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti
	05 95 Acélok, ha C> 0,25%<0,55% R <sub>m</sub> >500N/mm <sup>2</sup> R <sub>m</sub> <700N/mm <sup>2</sup>	15 Szerszámacélok		25 W-V Cr-W-V	35 Golyócsapagy acél	45 Korrózióálló acélok különleges adalékkal	55 B Mn-B	65 Cr-Ni-Mo ha Mo<0,4% Ni<0,2%	75 Cr-V ha Cr<2%	85 Nitridálható acélok
	06 96 Acélok, ha C> 0,55% R <sub>m</sub> >700N/mm <sup>2</sup>	16 Szerszámacélok		26 W kivéve 24, 25, 27	36 Különleges mágneses tul. Co nélkül	46 Vegyleg ellenálló és nagyszilárdságú Ni ötv.	56 Ni	66 Cr-Ni-Mo ha Mo<0,4% Ni>2%<3,5%	76 Cr-V ha Cr>2%	86
	07 97 Acélok, növelt P vagy S tartalommal	17 Szerszámacélok		27 Ni	37 Különleges mágneses tul. Co tartalommal	47 Hőálló acélok Ni<2,5%	57 Cr-Ni ha Cr<1%	67 Cr-Ni-Mo ha Mo<0,4% Ni>3,5%<5% vagy Mo<0,4%	77 Cr-Mo-V	87 A felhasználó által nem hőkezelt acélok
		18 Szerszámacélok	08 98 Acélok különleges fizikai tulajdonságokkal	28 egyéb	38 Különleges fizikai tul. Ni nélkül	48 Hőálló acélok Ni>2,5%	58 Cr-Ni ha Cr>1%<1,5%	68 Cr-Ni-V Cr-Ni-W Cr-Ni-V-W	78	88 A felhasználó által hőkezelésre nem szánt nagyszilárdságú hengerbélő acélok
		19	09 99 Acélok egyéb felhasználásra	29	39 Különleges fizikai tul. Ni tartalommal	49 anyagok nagyhőmérsékleti tulajdonságokkal	59 Cr-Ni ha Cr>1,5%<2%	69 Cr-Ni 57-68 kivételével	79 Cr-Mn-Mo Cr-Mn-Mo-V	89 A felhasználó által hőkezelésre nem szánt nagyszilárdságú hegeszthető acélok

## Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása

A vas-szén ötvözetek két nagy csoportja:

acélok,  
öntöttvasak.

Az acélok tovább csoportosíthatók:

szerkezeti acélokra,  
szerszámacélokra.

### Szerkezeti acélok

Fizikai tulajdonságokra garantált szerkezeti acélok néhány szabvány szerinti csoportja:

- általános rendeltetésű ötvözetlen acélok (pl. S 235, S 275 N);
- nyomástartó edényekhez gyártott acélok (pl. P 235, P275);
- légköri korrózióknak fokozottan ellenálló acélok (pl. S 275 W Cu 5);
- betonacélok (pl. B 235, B 390, B490);
- nagy folyáshatárú perlites acélok (pl. E 360 N, E 500 TM);

## Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása

### Vegyí összetételre garantált szerkezeti acélok néhány szabvány szerinti csoportja:

- betétben edzhető szerkezeti acélok (ötvözetlen, ötvözött) – (pl. C10, C15, 16MnCr3, 15NiCr13);
- nemesíthető acélok (ötvözetlen, ötvözött) – (pl. C45, C60, 46Cr2, 50CrMo4);
- rugóacélok (ötvözött, nemesíthető) – (pl. 60CrMoV3);
- hidegszívós acélok (pl. X12NiMoV5);
- melegszilárd és hidrogénnyomás-álló acélok (pl. 16Mo3, 10CrMo 9 10);
- automata acélok (pl. 9s20, 9SPb28);
- képlékeny hidegalakításhoz kifejlesztett acélok (pl. 33CrMo51);
- nitridálható acélok (pl. 31CrMo12, 41CrAlMo4);
- krómacél gördülőcsapágyakhoz (pl. 100Cr6, 100CrMn6); korrózióálló acélok (pl. X 8CrNi 18 9);
- hőálló acélok (pl. X 10CrSiAl13);
- nagy mangántartalmú, kopásálló acélok (pl. X 120Mn13).

## Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása

### **Szerszámacélok**

**Ötvözetlen szerszámacélok** (pl. C60, C80, C100, C130).

### **Ötvözött szerszámacélok:**

- hidegalakító,
- melegalakító,
- forgácsoló szerszámacélok.

### Hidegalakító szerszámacélok:

- mangánötvözésű acélok (pl. 85MnV8);
- króm-volfrám ötvözésű acélok (pl. 45WCrSiV7 4 4, 100WCr6 4);
- krómötvözésű acélok (pl. 100Cr6, 140Cr1);
- krómmal ötvözött ledeburitos acélok (pl. X155CrVMo12 4 3, X205CrMo12 3).

## Vas-szén ötvözetek felhasználás szerinti csoportosítása

### **Melegalakító szerszámacélok:**

nikkel-króm ötvözésű szerszámacélok (pl. 55NiCrMo6 3,55NiCrMo7 4 2);

króm-volfrám-vanádium ötvözésű szerszámacélok (pl. 30WCrV18 9 1);

króm-molibdén-vanádium ötvözésű szerszámacélok (pl. 40rMoSiV5 5 4);

### **Forgácsoló szerszámacélok** – a **gyorsacélok**. (pl. HS7 5 2 5; HS2 10 18).

600 °C-ig megőrzik keménységüket. Széntartalmuk 0,7–1,4%.

Fő ötvözői a W, V, Cr, Mo.

A jel értelmezése: pl. HS 7 5 2 5

HS – high speed.

Első szám (7) a W-tartalom, második (5) a Mo, harmadik a V, negyedik a Co tartalom %-ban kifejezve. A Cr-tartalom mindig 3,8–4,5%.

## Jelölési példák

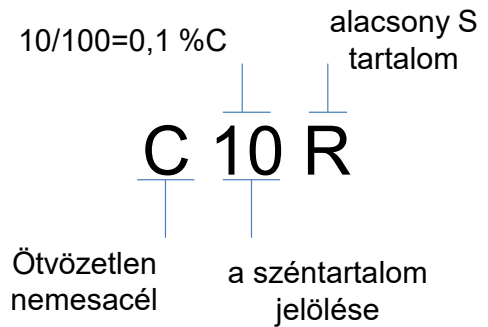
**Az ötvöztelen acélok jelölése, ha a Mn-tartalom < 1% (kivéve automata acél):**

**Alapjelek:**

1. C (karbon) vegyjele
2. az előírt C% százszorosa

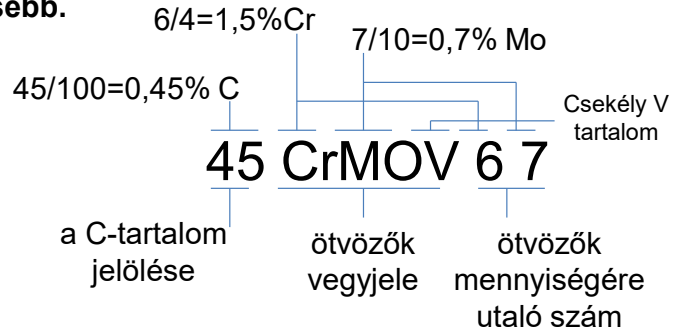
**Kiegészítő jelek:**

- C: különleges hidegalakíthatóság
- E: korlátozott S-tartalom,  $S < 0,035\%$
- R: a kéntartalom előírt tartománya  $S = 0,02 - 0,04\%$
- G: egyéb jellemzők előírva (pl. edzhetőség)



## Jelölési példák

**Ötvözetlen acélok, ha a Mn-tartalom középértéke legalább 1%, az ötvözetlen automata acélok és az ötvözött acélok (gyorsacélok kivételével), ha mindegyik ötvözőelem tartalma 5%-nál kisebb.**



### Alapjel:

Előálló szám: C-tartalom: az előírt karbontartalom középértékének százszorosát jelentő szám

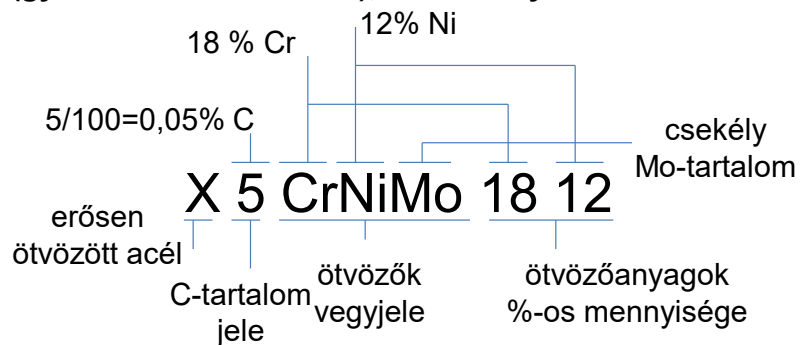
### Az ötvözőelemek jele (betű és szám)

Betű: Ötvözők vegyjele (a vegyjelek tartalomcsökkenés sorrendjében vannak feltüntetve)

Ötvözési szám: Az ötvözőelemek mennyiségének középértékét egy az elemre vonatkozó tényezővel (ötvözési szorzók) elosztjuk.

## Jelölési példák

**Erősen ötvözött acélok (gyorsacélok kivételével), ha bármely ötvözőelem-tartalma legalább 5%**



### Alapjelek:

Előálló betű: X (acélöntvényeknél GX)

C-tartalom: az előírt karbontartalom középértékének százszorosát jelentő szám

### Az ötvözőelemek jele (betű és szám)

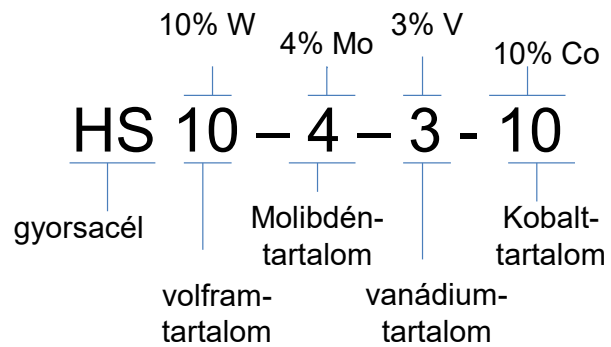
Betű: Ötvözők vegyjele (a vegyjelek tartalomcsökkenés sorrendjében vannak feltüntetve)

Szám: Az ötvözőelemek tényleges százalékos aránya



## Jelölési példák

### Gyorsacélok



Elöl álló betű: HS

Szám: az ötvözőelemek százalékos arányának középértékét jelenti, kerekítve. A különböző elemekre utaló számokat kötőjellel kell elválasztani.

Az ötvözők sorrendje: W-Mo-V-Co

## Vas-szén öntvények

1. pozíció	2. pozíció kötelező	3. pozíció szabadon választható	4. pozíció szabadon választható	5. pozíció kötelező választható a,b		6. pozíció szabadon választható
Előtag	A fém típusa	Grafitalak	Mikroszerkezet vagy makroszerkezet	a, Mechanikai tulajdonságok	b, Vegyi tulajdonságok	Kiegészítő követelmények
EN	GJ – Öntöttvas	L – Lemez S – Gömb M – Temperszén V – Vermikulár N – Grafitmentes (fehéröntöttvas) Y – Különleges grafit szerkezet	A – Ausztenit F – Ferrit P – Perlit M – Martenzit L – Ledeburit Q – Edzett T – Nemesített B – fekete temper. W – fehér temper.	pl.: 350 szakitószilárdság legkisebb értéke N/mm <sup>2</sup>  pl.: -19 kötőjel és a legkisebb előírt nyúlás érték  A próbadarab készítését megadó 1 betű: S – külön öntött U – Hozzáöntött C – Öntvényből kivett	X – vegyi összetétel szerinti megnevezést megadó jel  pl.: 300 karbontartalom %-ban x 100  Pl.: Cr ötvözőelemnek jele  pl.: 9-5-2 ötvözőelemek tartalma %-ban	D – Nyersöntvény H – Hőkezelt W – Kötőhegesztésre vonatkozó hegeszthetőség Z – A megrendelés szerinti kiegészítő

## A fizikai tulajdonságra garantált anyagjelek

Jelölési példák öntvények esetén:

### EN-GJS 350 22

<b>GJS</b>	Gömbgrafitos szürkeöntvény
<b>350</b>	$R_m=350$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>22</b>	A=22% szakadási nyúlás

### EN-GJV-350

<b>GJV</b>	Vermikulár grafitos szürkeöntvény
<b>350</b>	$R_m=350-425$ [N/mm <sup>2</sup> ]

### EN-GJMW-400-5

<b>GJMW</b>	Fehér temperöntvény
<b>400</b>	$R_m=400$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>5</b>	A= 5% szakadási nyúlás 12 mm-es falvastagságnál

### EN-GJLA XNiMn-13-7

<b>GJLA</b>	Auszténites lemezgrafitos öntöttvas
<b>Ni</b>	13%
<b>Mn</b>	7%

## Nem vasfémek szabványos jelölési rendszere

A gyártás és felhasználás betűjelei	Az összetétel jelölése	Kezelési állapot, szakítószilárdság és a felületi tulajdonságok	
G – öntvény GD – fröccsöntvény GK – kokillaöntvény GC – folyamatosan öntve V – előötvözet Gl – csúszófém L – forrasanyag E – villamosan vezető ötvözet Lg – csapágyfém R – reduktív ötvözet S – hegeszthető ötvözet	Vegyjelek	H – kohóanyag R – nagy tisztaságú anyag F – szilárdsági kód (F45 minimális szakítószilárdság 450 N/mm <sup>2</sup> ) HV – Vickers-keménység	
	Al – alumínium Cu – réz Mg – magnézium Ni – nikkell Pb – ólom Si – szilícium Sn – ón Zn – cink Ti – titán	Könnyűfémeknél	a – nemesített ka – hidegen nemesített wa – melegen nemesített ta – részlegesen nemesített g – lágyítva ho – homogenizálva p – sajtolva pl – plattírozva wh – hengerelve zh – húzva
	%-ot megadó számok		
	- Jelölések kódszám nélkül: AlMn (1,2% Mn, a többi Al) - Jelölések kódszámmal: Ni88Cr (88% Ni, a többi Cr)		

## Nem vasötvözetek hagyományos jelölése

Jelölési példák:

### GCuZn40

<b>G</b>	öntészet	
<b>Cu</b>	alapfém	60%
<b>Zn</b>	ötvöző	40%

### AlSi 0,4Mg1,2

	képlékenyen alakítható alumínium	
<b>Al</b>	alapfém alumínium	
<b>Si</b>	ötvöző szilícium	0,4%
<b>Mg</b>	ötvöző magnézium	1,2%

### E-Ni99,8

<b>E</b>	elektrolízis	
<b>Ni</b>	kohónikkel	99,8%

### G-AlSi12ka

<b>G</b>	önthető ötvözet	
<b>Al</b>	alapfém alumínium	
<b>Si</b>	ötvöző szilícium	12%
<b>ka</b>	hidegen nemesítve	

## Kulcsszavak

acél, szabvány, anyagjel, szerszámacél, szerkezeti acél, réz, alumínium, gyorsacél

## Keywords

steel, tool steel, aluminium, rapid steel, copper, technical standard,

## Ellenőrző kérdések

- Hányféle szabványos jele van egy acélnak? Mire jó a rövidjel, mire a számjel?
- Ismertesse a vegyi összetételre garantált acélok jelének felépítését egy példa bemutatásával.
- Ismertesse a mechanikai, fizikai tulajdonságra garantált acélok jelének felépítését egy példa bemutatásával.
- Ismertesse a szabvány által meghatározott főbb csoportjait a mechanikai, fizikai tulajdonságra garantált szerkezeti acéloknak. Mutasson be egy-egy jelet típusonként.
- Ismertesse a szabvány által meghatározott főbb csoportjait a vegyi összetételre garantált szerkezeti acéloknak. Mutasson be egy-egy jelet típusonként.
- Mutassa be az ötvöztelen szerszámacélokat (példa a szabványos jelre)!
- Mutassa be az ötvözött hidegalakító szerszámacélokat (példa a szabványos jelre)!
- Mutassa be az ötvözött melegalakító szerszámacélokat (példa a szabványos jelre)!
- Mutassa be az ötvözött forgácsoló szerszámacélokat (példa a szabványos jelre)!
- Mutasson példát az öntöttvasak jelölési rendszerére!



Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem



Szent István Egyetem



Óbudai Egyetem



Typotex Kiadó



TÁMOP-4.1.2-08/A/KMR-0029

# Anyagtudomány

## 20. Esettanulmányok

Szerzők: Pinke Péter  
Varga Péter  
Kovács-Coskun Tünde

[pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)  
[kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)



**Tartalom**

1. Nagyméretű tükör optikai távcső számára.....	651
2. Lendkerék anyagának kiválasztása .....	654
3. Rugalmas csuklópánt.....	657
4. Könnyű kiállítási állvány .....	660
5. Hajtórúd belső égésű motorhoz.....	663
6. Versenyjárművek féknyergének anyagválasztása .....	668

## Bevezetés

A fejezet az alábbi esettanulmányokat tartalmazza:

- 1) Nagyméretű tükör optikai távcső számára**
- 2) Lendkerék anyagának kiválasztása**
- 3) Rugalmas csuklópánt**
- 4) Könnyű kiállítási állvány**
- 5) Hajtórúd belső égésű motorhoz**
- 6) Versenyjárművek féknyergének anyagválasztása**

# 1. Nagyméretű tükör optikai távcső számára

Az égi jelenségek megfigyeléséhez a csillagászok olyan optikai távcsöveket alkalmaznak, amelyek nagyméretű tükrökkel rendelkeznek. Javasoljon megfelelő anyagot optikai távcső tükrének elkészítésére, ha a tükör átmérője  $2R = 5,1$  m!

## Megoldás

Funkció

Nagyméretű tükör optikai távcső számára

Cél

- Az  $m$  tömeg minimalizálása

Követelmény

- A tükör  $R$  sugara előírt
- A tömegéből adódó  $\delta$  behajlása előírt
- Nagy mérettartás, kúszásállóság, alacsony hőtágulás

Szabad változók

- A tükör  $t$  vastagsága
- Anyagválaszték



tükör

A tükör tömegére írható

$$m = \pi R^2 t \rho$$

Tárcsa alakú tükör önsúlyából adódó behajlására érvényes

$$\delta = \frac{3}{4} (1 - \nu^2) \frac{\Delta p R^4}{E t^3}$$

A Poisson-tényező értékére írható  $\nu = 0,3$ , az egységnyi felületre vonatkoztatott súlyerőre pedig érvényes

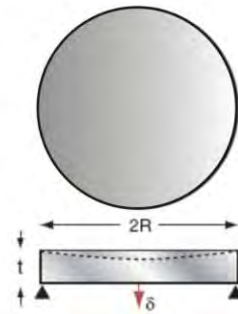
$$\Delta p = \left( \frac{mg}{\pi R^2} \right) = \frac{\pi R^2 t \rho g}{\pi R^2} = \rho g t$$

A tükör behajlása tehát

$$\delta = \frac{3}{4\pi} \frac{mgR^2}{Et^3}$$

amelyből a tükör  $t$  vastagságára kapjuk

$$t = \left( \frac{3mgR^2}{\delta 4\pi E} \right)^{1/3}$$



$m$  – tömeg  
 $\delta$  – behajlás  
 $R$  – a tükör sugara  
 $t$  – a tükör vastagsága  
 $\rho$  – sűrűség  
 $\nu$  – Poisson-tényező  
 $\Delta p$  – egységnyi felületre eső súlyerő  
 $E$  – rugalmassági modulus  
 $g$  – nehézségi gyorsulás  
 $M$  – anyagjellemző

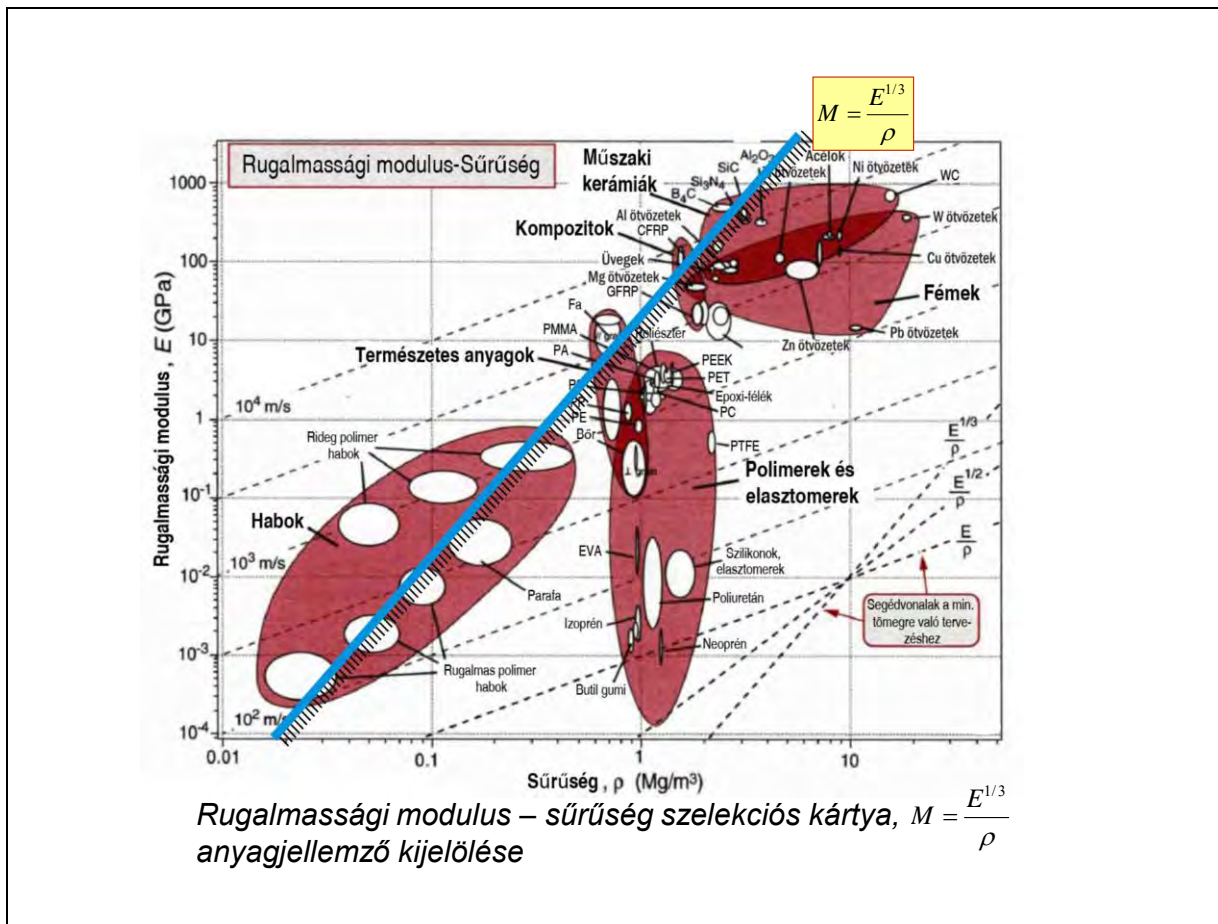
A fentiekből következően az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet

$$m = \left( \frac{3g}{4\delta} \right)^{1/2} \pi R^4 \left( \frac{\rho}{E^{1/3}} \right)^{3/2}$$

Anyagválasztás a legnagyobb  $M = \frac{E^{1/3}}{\rho}$  alapján lehetséges.

Anyag	Anyagjellemző $M$ [GPa] <sup>1/3</sup> m <sup>3</sup> /Mg	Tömeg [t] ( $2R=5,1m$ )	Megjegyzések
Acél	0,74	73,6	Túlságosan nehéz
GFRP kompozit	1,5	25,5	Nem megfelelő a mérettartása
Alumínium- ötvözet	1,6	23,1	Nehezebb, mint az üveg, nagy hőtágulási tényezővel rendelkezik
Üveg	1,7	21,6	Teljesítőképessége a legjobb a feltüntetett anyagok közül
Magnézium- ötvözet	1,9	17,9	Könnyebb, mint az üveg, viszont nagy a hőtágulása
CFRP kompozit	3	9	Nagyon könnyű, viszont nem megfelelő a mérettartása

Anyagválaszték nagyméretű tükör számára



## 2. Lendkerék anyagának kiválasztása

Lendkerekek alkalmazásával olyan gépek járása is egyenletessé válik, amelyeknél a tengelyre ható nyomaték ingadozása jelentős. Javasoljon megfelelő anyagot belső égésű motor lendkerékének elkészítéséhez!

### Megoldás

Funkció

Energiatároló lendkerék

Cél

- Az egységnyi tömegre eső mozgási energia maximalizálása

Követelmény

- A lendkerék külső  $R$  sugara előírt
- Működése során nem szenvedhet törést
- Megfelelő szívósság, alacsony repedésérzékenység

Szabad változók

- Anyagválaszték



A lendkerékben tárolt mozgási energia

$$U = \frac{1}{2} I \omega^2$$

A lendkerék (tömör henger) forgástengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka

$$I = \frac{1}{2} m R^2$$

Mivel a tömegre érvényes  $m = \pi R^2 t \rho$ , ezért

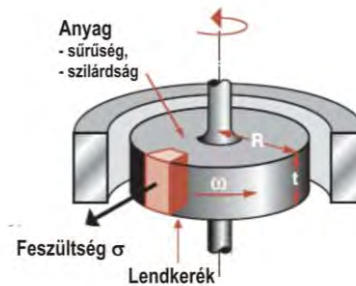
$$I = \left( \frac{\pi}{2} \right) \rho R^4 t$$

tehát a mozgási energia

$$U = \left( \frac{\pi}{4} \right) \rho R^4 t \omega^2$$

Az egységnyi tömegre eső mozgási energia

$$\frac{U}{m} = \frac{1}{4} R^2 \omega^2$$



$U$  – mozgási energia  
 $I$  – tehetetlenségi nyomaték  
 $\omega$  – szögsebesség  
 $R$  – a lendkerék sugara  
 $m$  – tömeg  
 $t$  – a lendkerék vastagsága  
 $\rho$  – sűrűség  
 $\nu$  – Poisson-tényező  
 $\sigma_f$  – határfeszültség  
 $M$  – anyagjellemző

A lendkerékben létrejövő legnagyobb feszültségre érvényes kell, hogy legyen

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_f = \left( \frac{3+\nu}{8} \right) \rho R^2 \omega^2$$

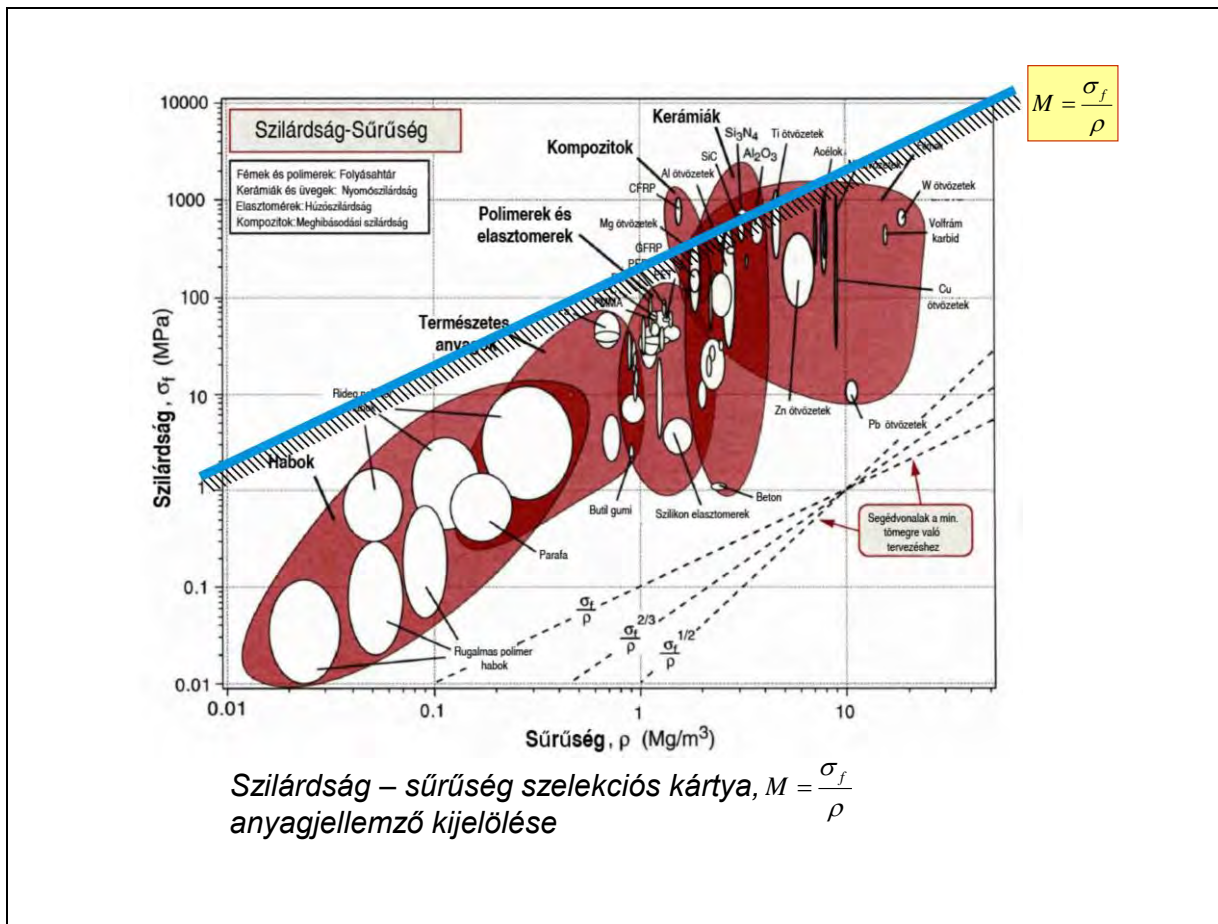
Az egységnyi tömegre eső mozgási energiából következően a teljesítőképességi egyenlet

$$\frac{U}{m} = \left( \frac{2}{3+\nu} \right) \frac{\sigma_f}{\rho}$$

Anyagválasztás a legnagyobb  $M = \frac{\sigma_f}{\rho}$  alapján lehetséges.

Anyag	Anyagjellemző $M$ [kJ/kg]	Megjegyzések
CFRP kompozit	200–500	Kiváló $M$ , jó teljesítőképesség, jó választás
GFRP kompozit	100–400	Kiváló $M$ , jó teljesítőképesség, olcsóbb, mint a CFRP kompozit, a legjobb választás
Berílium	300	Jó választás (is lehetne), viszont drága, megmunkálása körülményes, mérgező
Nagyszilárdságú acél	100–200	Szokványos megoldás
Titánötvözet	100–200	Teljesítőképessége az acélével egyenlő, viszont drágább, mint az acél

Anyagválaszték lendkerékhez





### 3. Rugalmas csuklópánt

Műanyag flakonok zárókupakjának pántja nagymértékű rugalmas alakváltozásnak van kitéve. Javasoljon megfelelő anyagot rugalmas csuklópánt elkészítéséhez!

#### Megoldás

Funkció

Rugalmas csuklópánt

Cél

- Nagymértékű rugalmas alakváltozás

Követelmény

- Alkalmazása során nem szenvedhet törést
- A pántban kialakuló feszültség csak folyáshatár alatti lehet,  $\sigma < \sigma_f$

Szabad változók

- Anyagválaszték



Ha a csuklópánt vastagsága  $t$  és a rugalmas alakváltozás sugara  $R$ , akkor a felület alakváltozására írható

$$\varepsilon = \frac{t}{2R}$$

A legnagyobb feszültség, amely rugalmas alakváltozás következtében kialakulhat

$$\sigma = E \frac{t}{2R}$$

Ez a feszültség nem lépheti túl a folyáshatárt, tehát

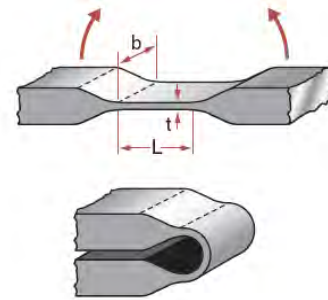
$$\sigma \leq \sigma_f$$

Ebből adódóan a teljesítmőképességi egyenlet

$$R \geq \frac{Et}{2\sigma_f}$$

Anyagválasztás a legnagyobb alapján lehetséges.

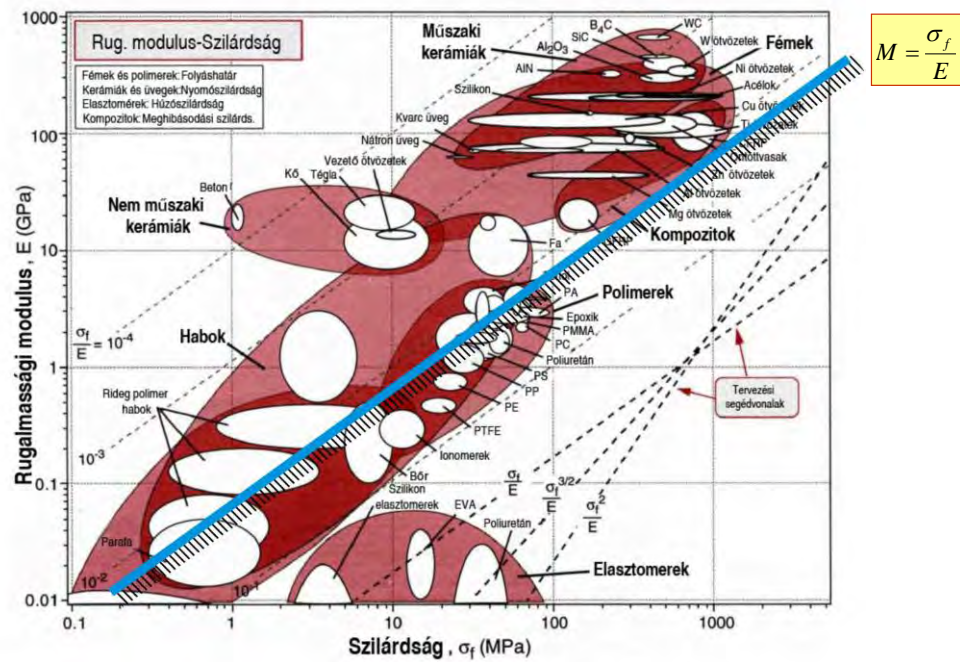
$$M = \frac{\sigma_f}{E}$$



$t$  – a csuklópánt vastagsága  
 $R$  – a rugalmas alakváltozás sugara  
 $\varepsilon$  – rugalmas alakváltozás  
 $\sigma$  – feszültség  
 $\sigma_f$  – határfeszültség  
 $E$  – rugalmassági modulus  
 $M$  – anyagjellemző

Anyag	Anyagjellemző $M$	Megjegyzések
Polietilén (PE)	$32 \cdot 10^{-3}$	Széleskörűen alkalmazott, rugalmas elemmel rendelkező olcsó zárókupakokhoz
Polipropilén (PP)	$30 \cdot 10^{-3}$	Nagyobb merevségű, mint a PE, könnyen feldolgozható
Nilon (NY)	$30 \cdot 10^{-3}$	Nagyobb merevségű, mint a PE, könnyen feldolgozható
Teflon (PTFE)	$35 \cdot 10^{-3}$	Nagyon tartós, viszont drágább, mint a PE, PP és NY
Elasztomer	$100-1000 \cdot 10^{-3}$	Kitűnő választás, viszont alacsony a rugalmassági modulusa

Anyagválaszték rugalmas csuklópánthoz



Rugalmassági modulus – szilárdság szelektációs kártya, az  $M = \frac{\sigma_f}{E}$  anyagjellemző kijelölése

## 4. Könnyű kiállítási állvány

Könnyű kiállítási állvány tartóoszlopára legfeljebb 100 kg tömegből adódó terhelés hat. A terhelés hatására nem következhet be kihajlásból eredő meghibásodás. Körgyűrű keresztmetszetű tartóoszlopot feltételezve, melyik lesz a legmegfelelőbb az alábbi anyagok közül: alumíniumötvözet, acél, rézötvözet vagy polikarbonát?

### Megoldás

Funkció

Könnyű oszlop

Cél

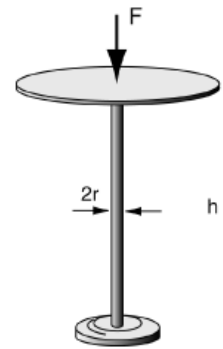
- Az  $m$  tömeg minimalizálása

Követelmény

- Kritikus törőerő  $F_{kr}$
- Az oszlop  $h$  magassága előírt

Szabad változók

- Anyagválaszték
- Csőkeresztmetszet



Anyag	Rugalmassági modulus E [GPa]	A cső sugara r [mm]	Falvastagság/ sugár arány t/r
Alumíniumötvözet	71	25	0,07–0,25
Acél	210	30	0,045–0,1
Rézötvözet	120	20	0,075–0,1
Polikarbonát	3	20	0,15–0,3

Anyagválaszték állvány tartóoszlopára

A tartóoszlop tömegére írható  $m = Ah\rho$

Kihajlás szempontjából a kritikus törőerő

$$F_{kr} = \frac{n\pi^2 EI}{h^2}$$

Merevségre történő méretezésnél az alaktényező

$$\phi_B^e = \frac{12I}{A^2}$$

$m$  – tömeg  
 $A$  – keresztmetszet  
 $h$  – oszlopmagasság  
 $\rho$  – sűrűség  
 $n$  – befogási módtól függő állandó  
 $E$  – rugalmassági modulus  
 $I$  – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka  
 $\phi_B^e$  – alaktényező

A kritikus törőerőből és az alaktényezőből  
következően a keresztmetszetre írható

$$A = \frac{2\sqrt{3}F_{kr}^{1/2}h}{n^{1/2}\pi E^{1/2}(\phi_B^e)^{1/2}}$$

$r$  – a cső sugara  
 $t$  – a cső falvastagsága  
 $M$  – anyagjellemző

A fentiekből adódóan az  $m$  tömegre érvényes teljesítőképességi egyenlet

$$m = \frac{2\sqrt{3}h^2}{n^{1/2}\pi} F^{1/2} \frac{\rho}{(E\phi_B^e)^{1/2}}$$

Anyagválasztás a legnagyobb  $M = \frac{(E\phi_B^e)^{1/2}}{\rho}$  alapján lehetséges.

Vékony falú cső esetén az alaktényező merevségre történő méretezésnél hajlításra

$$I = \frac{\phi_B^e A^2}{12} = \frac{3r}{\pi t}$$

Anyag	Rugalmassági modulus $E$ [GPa]	Sűrűség $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Alak – tényező $\phi_B^e$	Anyagjellemző $M$ [GPa] <sup>1/2</sup> m <sup>3</sup> /Mg
Alumíniumötvözet	71	2700	4–14	6,2–11,7
Acél	210	7900	10–21	5,8–8,2
Rézötvözet	120	8900	10–13	3,9–4,4
Polikarbonát	3	1200	3,3–6,7	2,6–3,7

*Anyagválaszték állvány tartóoszlopára*

Az anyagjellemző maximumértéke alapján, a kiállítási állvány tartóoszlopának anyagára, az alumíniumötvözet a legjobb választás.

## 5. Hajtórúd belső égésű motorhoz

A tömeggyártott motorok hajtórúdait öntöttvasból vagy nemesíthető acélból készítik anyaguk és előállításuk olcsósága miatt.

Vajon a kis darabszámban vagy egyedileg épített, nagy teljesítményű belső égésű motorok esetén, ahol a tömeg csökkentése kritikus, milyen anyagú hajtórúd teljesítene legjobban?

### Megoldás

Funkció

Hajtórúd belső égésű motorhoz

Követelmény

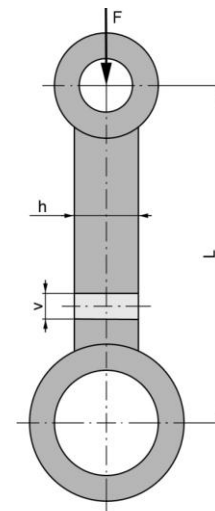
- Kifáradással szembeni ellenállás
- Terhelés elviselése kihajlás nélkül

Cél

- A tömeg minimalizálása

Szabad változók

- Anyagminőség
- Keresztmetszet



### 5. Hajtórúd belső égésű motorhoz

Mivel a cél az anyagválasztási módszer ismertetése, ezért mind a hajtórúd geometriája, mind a terhelése egyszerűsített modell szerint van felépítve.

A hajtórúd téglalap keresztmetszetű ( $h \times v$ ). A téglalap oldalainak arányát állandónak ( $\alpha$ ) vesszük.

A hajtórúdszem, a hajtórúdfej és a hajtórúdfedél tömegét egy konstans szorzóval ( $\beta$ ) vesszük figyelembe.

A terhelési módokat a felső holtpontban fellépő esetekre szűkítjük, a hőmérséklet hatásaitól eltekintünk.

## Aktív követelmény módszere, analitikus megoldás

A hajtórúd tömege:  $m = A \cdot L \cdot \rho$

Az ismétlődő igénybevételből:  $\sigma_f \geq \frac{F}{A}$

Kihajlás szempontjából a kritikus erő:  $F = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$

A teljesítőképességi egyenlet fáradásra:

$$m_1 = \beta \cdot F \cdot L \cdot \frac{\rho}{\sigma_f}$$

A teljesítőképességi egyenlet kihajlásra:

$$m_2 = \beta \cdot \left( \frac{12F}{\alpha \cdot n \cdot \pi^2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot L^2 \cdot \left( \frac{\rho}{E^{\frac{1}{2}}} \right)$$

*m* – tömeg  
*A* – keresztmetszet  
*L* – oszlopmagasság  
*ρ* – sűrűség  
*n* – befogási módtól függő  
 állandó  
*E* – rugalmassági modulus  
*I* – a keresztmetszet  
 másodrendű nyomatéka  
*β* – tömegszorzó  
*α* – oldalak aránya  
*σ<sub>f</sub>* – kritikus feszültség  
 ismétlődő igénybevétel  
 esetén



A tömegek számolásához és az összehasonlításhoz szükséges adatok:

$$F = 50 \text{ kN}; L = 200 \text{ mm}; \alpha = 0,8; \beta = 1,5$$

ANYAG	Sűrűség $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Rugalmassági modulus E [GPa]	Fáradásos törést okozó feszültség $\sigma_f$ [MPa]	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$m$ [kg]
Gömbgrafitos öntöttvas	7150	178	250	<u>0,43</u>	0,22	0,43
Mikroötvözött acél	7850	210	590	0,2	<u>0,28</u>	0,28
Alumínium- ötvözet	2700	70	95	<u>0,39</u>	0,14	0,39
Al-SiC kompozit	2880	110	230	<u>0,18</u>	0,12	0,18
Titánötvözet	4400	115	530	0,12	<u>0,17</u>	<b>0,17</b>

Forrás: Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.

A fenti anyagok rangsorolását természetesen megelőzte egy előzetes szűrés, amit itt nem mutattunk meg.

Amennyiben kizárólag a kihajlást vennék figyelembe mint tönkremeneteli módot, az alumíniumötvözet és az Al-SiC kompozit lenne az ideális választás. Azonban ezek érzékenyebbek a fáradásos tönkremenetelre. A vasötvözetek minden szempontból gyengébben teljesítenek a többi anyagnál. Ezzel a módszerrel számolva a titánötvözet a legmegfelelőbb a feladatra.

Meg kell jegyezni azonban, hogy a rangsorolt anyagok listájának megváltoztatása erős befolyással van az eredményre, egy új anyag felvétele meg is változtathatja a sorrendet.

A tervezési paramétereknek változásával az értékek újraszámolása szükséges.

## Aktív követelmény módszere, grafikus megoldás

A teljesítőképességi egyenletekből a komplex anyagjellemzők:

$$M_1 = \frac{\rho}{\sigma_f} \qquad M_2 = \frac{\rho}{E^{\frac{1}{2}}}$$

A két teljesítőképességi egyenlet egyenlővé tételéből kapjuk a kapcsoló vonal egyenletét:

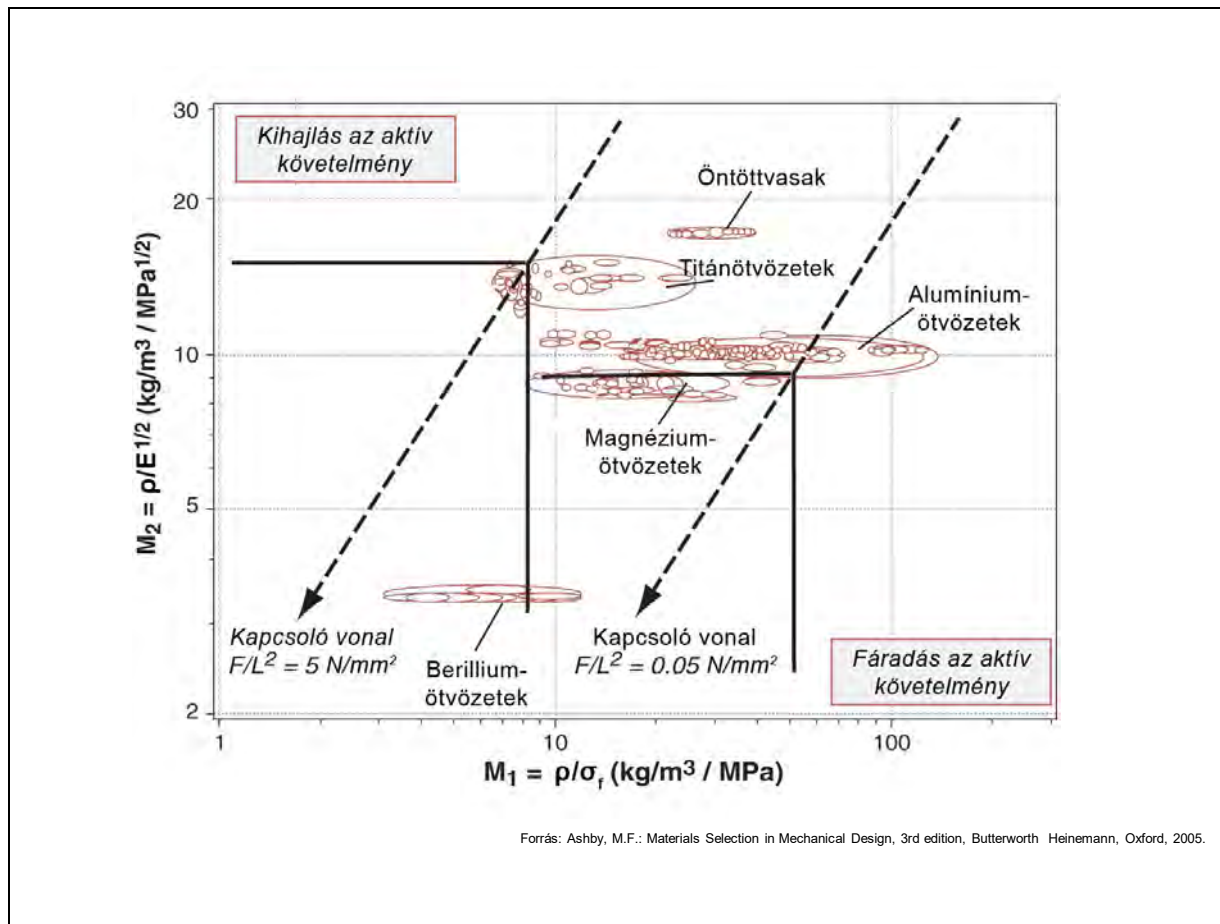
$$M_2 = \left[ \left( \frac{\alpha \cdot n \cdot \pi^2}{12} \cdot \frac{F}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot M_1$$

Amiből a kapcsoló szám:  $C_c = \left( \frac{\alpha \cdot n \cdot \pi^2}{12} \cdot \frac{F}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}}$

Állandó  $\alpha$  érték mellett az  $\frac{F}{L^2}$  viszony határozza meg, melyik követelmény lesz az aktív.

A két követelmény közül az az aktív, amelyiket nehezebb teljesíteni. Ha a kapcsoló szám értéke 1, a két követelmény egyenlő súlyú. Amennyiben értéke kisebb, mint 1, a fáradás lesz a meghatározó, ha értéke nagyobb, mint 1, a kihajlás jelent nagyobb veszélyt ugyanakkora tömeg mellett.

A két komplex anyagjellemzőt és a különböző kapcsoló vonalakat a szelekciós területekkel a következő diagram tartalmazza.



$\alpha = 0,8$  állandó értéke mellett, ha  $F/L^2 = 5 \text{ N/mm}^2$  a kihajlás, ha  $F/L^2 = 0,05 \text{ N/mm}^2$  a fátadás lesz az aktív követelmény. (Ezek az értékek csak példaként lettek kiragadva.)

Mindkét esetet egy diagramban ábrázolva elmondható, hogy legjobban a berillium-ötvözetek teljesítenek, függetlenül attól, melyik követelménynek kell megfelelniük. Ennek viszont ára van, mégpedig csillagászati árak, és nehéz megmunkálásuk.

$F/L^2$  magas értékeinél a titán-ötvözetek kínálnak ideális megoldást,  $F/L^2$  alacsony értékei esetén a magnézium- vagy alumínium-ötvözetek használata a leginkább kielégítő.

## 6. Versenyjárművek féknyergének anyagválasztása

A nagy sorozatban gyártott közúti járművek alkatrészeinek anyagválasztásakor elsődleges szempont a költségek minimalizálása. Ilyen megfontolásból a tárcsafékek féknyergének hagyományos anyaga az öntöttvas.

Az egyedileg épített versenyjárművek alkatrészeinek (és azok anyagának) teljesítőképességét más szempontok határozzák meg, a költség másodlagos fontosságú.

Hogyan befolyásolják a megváltozott tervezési szempontok egy féknyereg anyagválasztását a hagyományos megoldáshoz képest?



A féknyereg terhelése egyrészt a fékmunkahengerek által közvetített erő okozta hajlításból, másrészt a súrlódásból keletkező hő felvételéből adódik.

### Megoldás

Funkció

Féknyereg

Követelmény

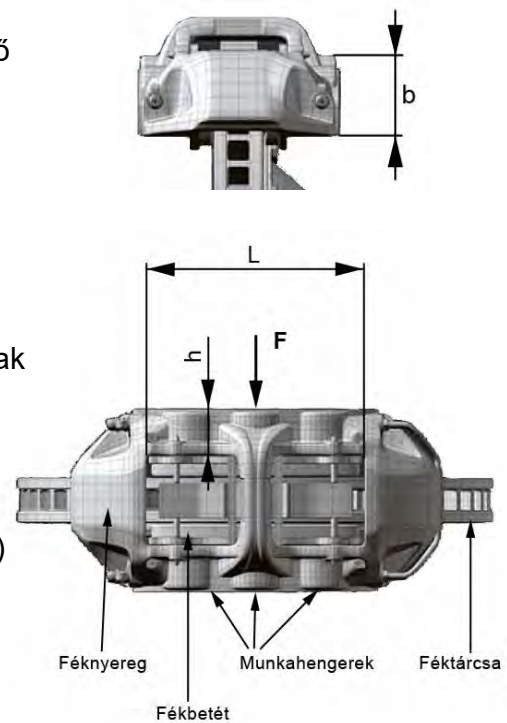
- Megfelelő merevség
- „L” és „b” méretek adottak

Cél

- A tömeg minimalizálása
- A hővezetés maximalizálása
- (Költség minimalizálása)

Szabad változók

- Anyagminőség
- Féknyereg falának „h” vastagsága



Mivel a cél az anyagválasztási módszer ismertetése, ezért mind a geometriát, mind a terhelést egyszerűsített modell szerint építjük fel.

A féknyereg oldalfalát egy L hosszúságú, h vastagságú és b szélességű téglatestnek tekintjük.

A terhelést egyszerű hajlítási esetre vezetjük vissza, ahol az erő L/2 távolságon hat.

A keletkezett hőmennyiség elvezetésénél kizárólag a féknyereg oldalfalát vesszük figyelembe.

A költség minimalizálása másodrendű, a feladat megoldásának végén vesszük figyelembe.

## Teljesítőképeségi egyenletek

A féknyereg merevsége:

$$\frac{F}{\delta} = \frac{C_1 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad C_1 = 192$$

A szükséges falvastagság:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{16 \cdot E \cdot b \cdot h^3} \Rightarrow h = \left( \frac{F \cdot L^3}{16 \cdot E \cdot b \cdot \delta} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Egységnyi keresztmetszet tömege:

$$m_A = h \cdot \rho \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (\text{minimalizálni!})$$

A hőáramsűrűség:

$$q_A = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{h} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (\text{maximalizálni!})$$

*F* – terhelő erő  
*δ* – lehajlás  
*C*<sub>1</sub> – terhelési esettől függő állandó  
*E* – rugalmassági modulus  
*I* – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka  
*ρ* – sűrűség  
*h* – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka  
*λ* – hővezetési tényező  
*ΔT* – hőmérséklet különbség a féknyereg falai között

A követelményekből és célokból a teljesítőképességi egyenletek:  
(a szabad változó „h” kiejtésével)

$$m_A = \left(\frac{F}{16 \cdot \delta}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{L}{b^3}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\rho}{E^3}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad q_A = -\Delta T \cdot \left(\frac{16 \cdot \delta}{F}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{b^{\frac{1}{3}}}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\lambda \cdot E^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Az eltérő teljesítőképességi jellemzők miatt a feladat megoldásához a **kompromisszumstratégia** alkalmazása, és a **hátrányfüggvény** megalkotása szükséges.

Minimalizálandó komplex anyagjellemző a tömegből:

$$M_1 = \frac{\rho}{E^3}$$

Minimalizálandó komplex anyagjellemző a hőáramsűrűségből:

$$M_2 = \frac{1}{\lambda \cdot E^3}$$

A kompromisszum stratégia alkalmazása miatt a hőáramsűrűségből származtatott komplex anyagjellemzőt úgy kell felírni, hogy értékét minimalizálni kelljen!

## Kompromisszumstratégia és hátrányfüggvény

A megoldásban a szóba jöhető anyagok teljesítőképességét a hagyományos megoldásnak számító öntöttvaséhoz hasonlítjuk.

Így a **fajlagos hátrányfüggvényt** írhatjuk fel:

$$Z^* = \alpha_m^* \cdot \left( \frac{m_A}{m_{A,0}} \right) + \alpha_q^* \cdot \left( \frac{q_{A,0}}{q_A} \right)$$

A „0” indexű mennyiségek az öntöttvasra vonatkozó jellemzők.

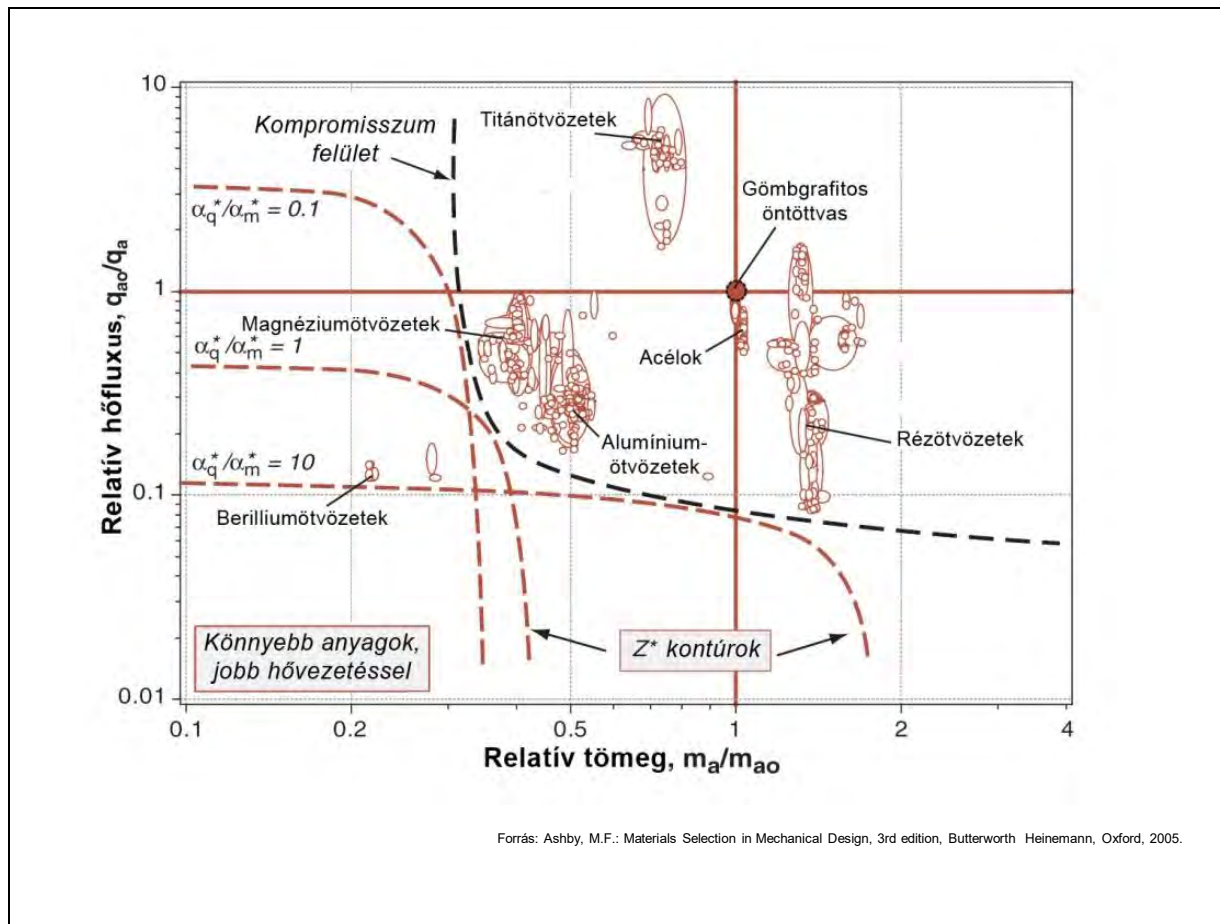
$$\frac{m_A}{m_{A,0}} = \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{E_0}{E} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{q_{A,0}}{q_A} = \frac{\lambda_0 \cdot E_0^{\frac{1}{3}}}{\lambda \cdot E^{\frac{1}{3}}}$$

$\alpha_m^*$  – a tömeg fajlagos  
megfeleltetési tényezője  
 $\alpha_q^*$  – a hőáramsűrűség  
fajlagos megfeleltetési  
tényezője

A fajlagos hőáramsűrűség esetén reciprokértéket használunk, hogy minimalizálni lehessen.





Az eddigiekből adódóan az anyagok teljesítménye az öntöttvaséhoz képest jelenik meg a diagramban. Azok, amelyek a bal alsó négyszögbe esnek, mindkét tekintetben felülműlják az öntöttvasat. Egy alumíniumötvözetből készült féknyereg például fele akkora tömeggel és háromszor jobb hővezetéssel rendelkezne.

A legjobb megoldást a berilliumötvözetek adnák, ám a kompromisszumfelület kijelölésekor azokat nem vettük figyelembe.

Amennyiben a fajlagos megfeleltetési tényező  $\alpha_q^*/\alpha_m^*$  arányának értéke kicsi, a tömegcsökkenés van az előtérben, ha az arány értéke nagy, a hővezető képesség növelése.

Az első esetben a magnéziumötvözetek, a másodikban a rézötvözetek teljesítenek legjobban. Ha a két tényező azonos súllyal esik latba, az alumíniumötvözetek közül kerül ki a legjobb választás.

A jellemzők számának növekedésével a választás összetettebb feladat lesz.

Három jellemző esetén az előző diagram háromdimenzióssá válik.

Amennyiben a költséget is felvesszük a jellemzők közé :

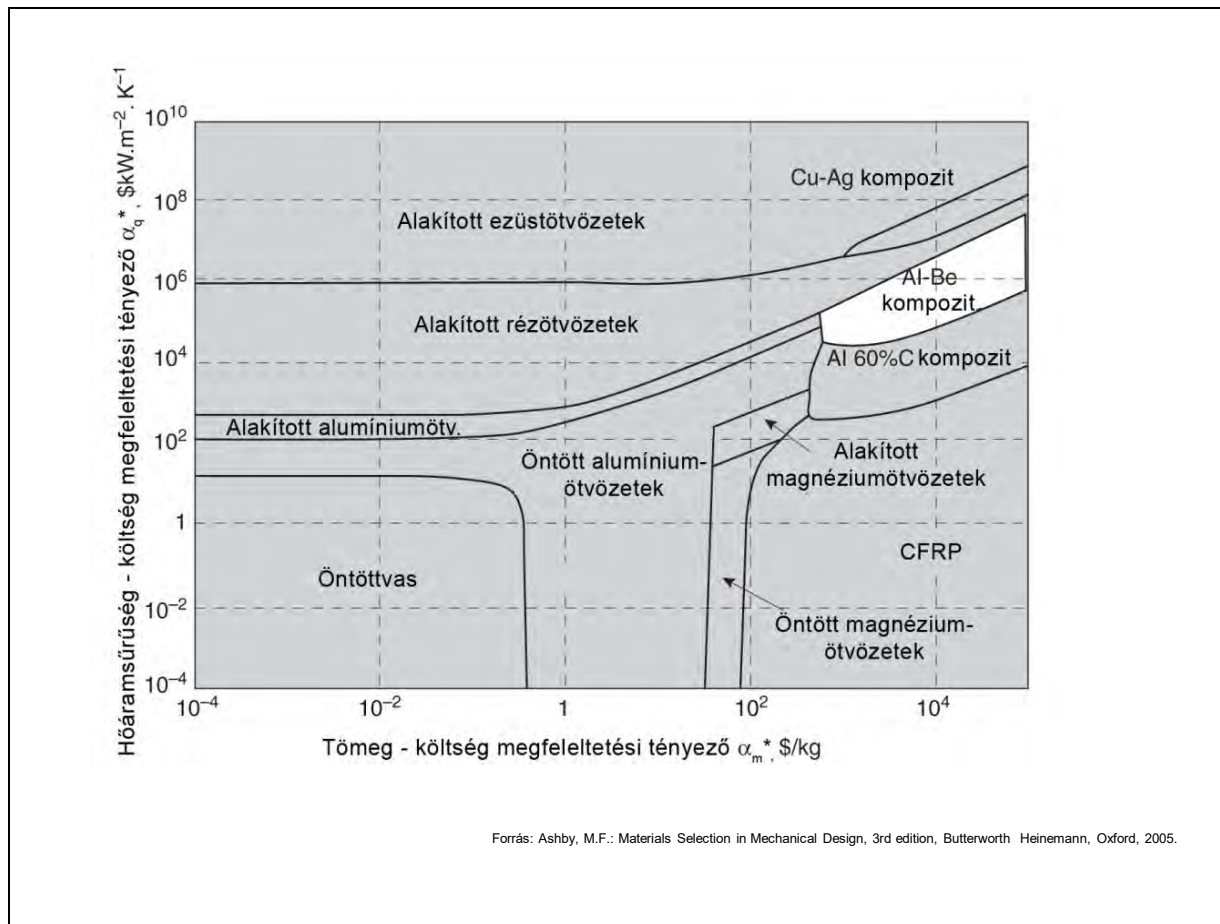
$$Z^* = \frac{C_m}{C_{m,0}} + \alpha_m^* \cdot \left( \frac{m_A}{m_{A,0}} \right) + \alpha_q^* \cdot \left( \frac{q_{A,0}}{q_A} \right)$$

$C_m$  a tömegegységre eső költség

Ha a hátrányfüggvény értékét is ugyanebben az egységben fejezzük ki, a költség fajlagos megfeleltetési tényezője:  $\alpha_C = 1$ .

Az eddigi két megfeleltetési tényező értékét a költség függvényében megadva már egy kétdimenziós térképet kapunk, amiben a tömegcsökkenés, illetve a hőáramsűrűség-növekedés költségérzékenysége a két változó.

A háromdimenzióssá váló hátrányfüggvény paramétereit változtatva bejárhatjuk a legjobb megoldást kínáló kompromisszumfelületet. Ez a megfeleltetési tényezők térképén két dimenzióban követhető.



Látható, ha a költség az elsődleges szempont ( $\alpha_q^*$  és  $\alpha_m^*$  értéke is kicsi), az öntöttvas az ideális megoldás (bal alsó sarok), ez adja  $Z^*$  legkisebb értékeit.

A tömegcsökkenés és hőáramsűrűség-növelés jelentőségének növekedésével az alumínium- és magnéziumötvözetek kerülnek előtérbe.

A versenyautók féknyergei (ahol a költségnek nincs vagy csak kis jelentősége van a teljesítménnyel szemben) Al-Be kompozitból készülnek.

## Felhasznált és ajánlott irodalom:

- [1] Ashby, M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] Ashby, M. F.: New Approaches in Materials and Manufacturing Education, PowerPoint Lecture Units, Granta Design Ltd., Cambridge, 2009.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III. Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2003.
- [4] Tisza, M.: Anyaginformatika-előadásvázlatok, PowerPoint bemutatók, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2009
- [5] Cebon, D., Ashby, M.F., Bream, C., Lee-Shothaman, L.: CES EduPack 2009. User's Manual, Release 4, Granta Design Ltd, Cambridge, 2009.
- [6] Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2004.
- [7] Bagyinszki, Gy., Bitay, E.: Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.