



# Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai 5.

## Általános anyagszerkezeti ismeretek

Anyagcsaládok: fémek, kerámiák, polimerek és kompozitok

*Kiemelt témák:*

- ❖ Ötvözetek fázisdiagramjai
- ❖ Fémek és kerámiák szerkezetének összehasonlítása
- ❖ Cirkon ( $\text{ZrO}_2$ )
- ❖ Polimerkészítmény statisztikus leírása

**Tankönyv  
fejezetei:  
9-13**

**HF:**

**3. fej.:**  
**3-5, 8, 10, 12, 14,**  
**18, 21, 24, 25, 27**

# Fogászati anyagok fajtái

Fémes  
kötés

FÉMEK



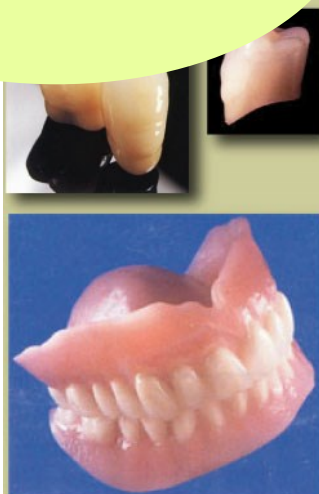
KERÁMIÁK



Fémes és nemfémes  
elemek vegyületei.

POLIMEREK

Egy alegység  
ismétlődésével  
felépülő láncszerű  
molekulákból áll.



KOMPOZITOK

Az előző 3  
család legalább  
kétféle  
anyagából áll.



# Fémek

## Tulajdonságai:

- gyakori anyag; változatos tulajdonságúak
- viszonylag nagy sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd (kivéve Ga és Hg)
- viszonylag nagy szívósságúak és szilárdságúak
- viszonylag jól alakíthatók
- hajlamosak a korrózióra (kivéve a nemesfémek)
- ötvözéssel tulajdonságaik jól befolyásolhatók
- jó hő- és elektromos vezetőképesség
- fémes szín
- nagyrészt nem biokompatibilisek

## Szerkezete:

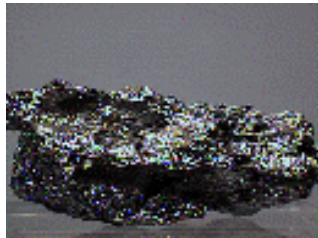
- fémes kötés
- színfémekben azonos méretű atomok
- kristályos (leggyakrabban hexagonális, vagy köbös)\*
- polikristályos\*\*

amorf  
fémüveg!

## Alkalmazási példák:

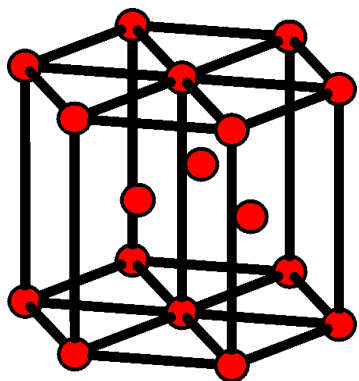
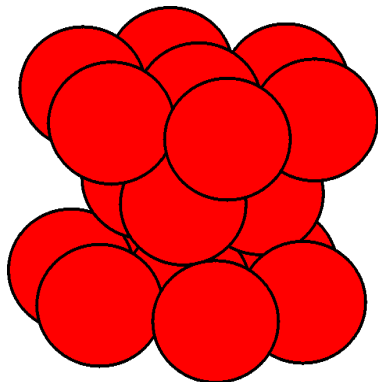
- koronák, hidak
- implantátumok
- tömés
- fogszabályozó készülékek

**Előállítás:** olvasztás, öntés



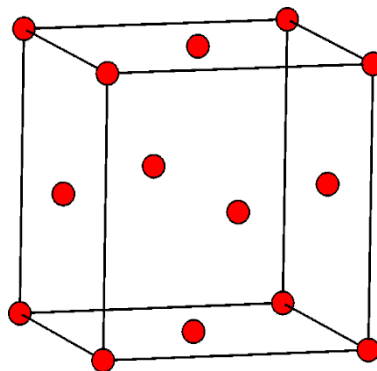
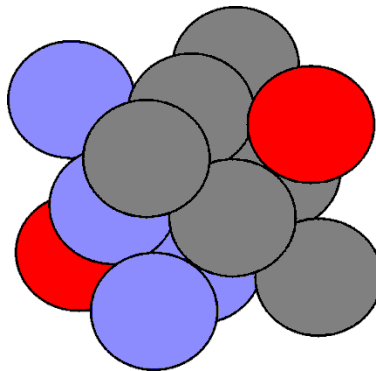
# \*Miért gyakori a hexagonális és köbös rács a fémeknél?

Egyforma gömbök illeszkedése!



szoros illeszkedésű  
hexagonális (hcp)

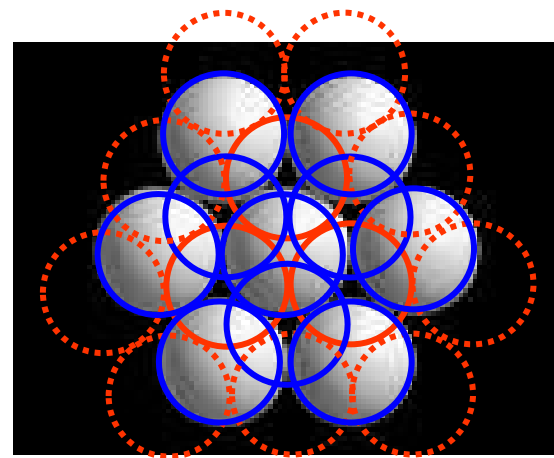
pl. Ti, Cd, Co, Zn, ...  
térkitöltési  
tényező: 74 %



szoros illeszkedésű köbös  
(lapcentrált köbös, fcc)

pl. Ag, Au, Pt, Al, Cu, Ni, ...

74 %



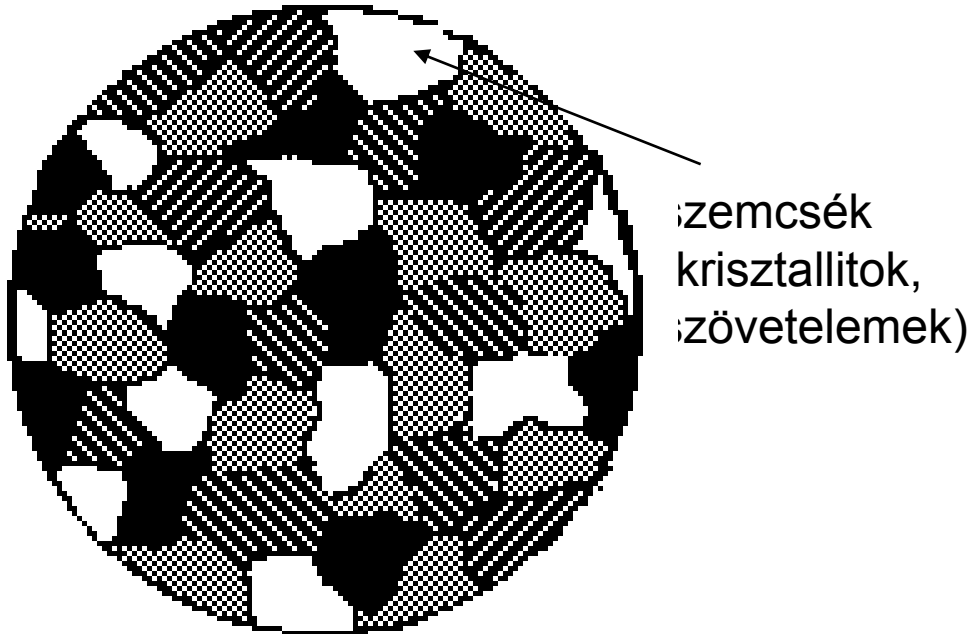
kevésbé szoros  
illeszkedés: pl.  
tércentrált köbös (bcc)

pl. Fe, Cr, ...

68 %

# **\*\*Polikristályos szerkezet**

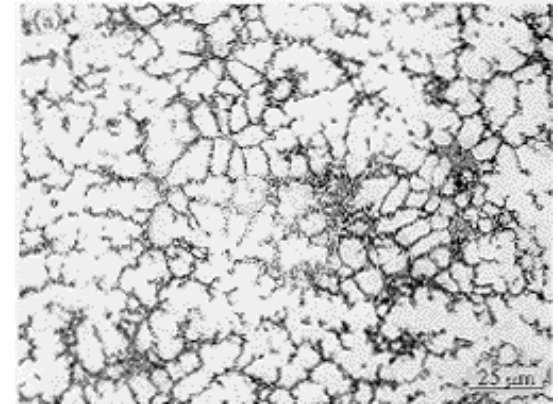
**Szövetszerkezet, mikrostruktúra:**



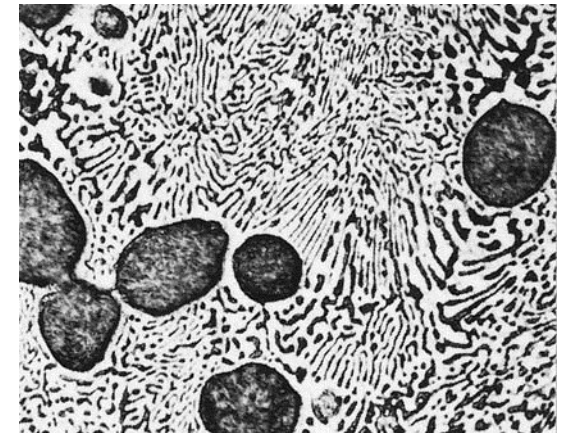
**Szövetszerkezet vizsgálata:**

- csiszolás durvább/finomabb
- kémiai maratás
- mikroszkópi megfigyelés (fémmikroszkóp)

homogén szövetszerkezet



heterogén szövetszerkezet



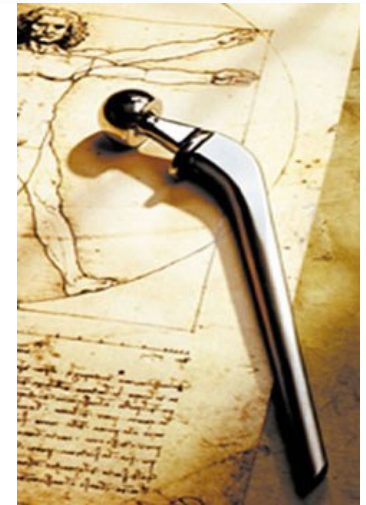
# Fémötvözetek

Cél: tulajdonságok javítása, pl.

- korrózióállóság javítása, pl. Fe, Ni, Co, ...+Cr
- nagyobb keménység, merevség elérése, pl. Au+Cu
- fém-kerámia adhézió növelése, pl. nemesfém+Fe, Sn, In

## Osztályozás:

- fém+fém, pl. Fe+Cr
- fém+nemfém, pl. Fe+C
- használat szerint (pl. inlay, korona, ...)
- alap elem szerint (arany alapú, palládium alapú, ...)
- komponensek száma (biner, terner, kvaterner,...) szerint
- 3 fő elem szerint (pl. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- uralkodó fázisdiagram szerint
  - szilárd oldat
  - eutektikus ötvözet
  - peritektikus ötvözet
  - fémvegyület





## Ötvözési arányok:

- tömeg%  $c_{m,1} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (\cdot 100\%)$

- mól%  $c_{v,1} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} (\cdot 100\%) \rightarrow \text{tulajdonságok!}$

(Pl. Ni-Cr-Mo-Be ötvözet: Be 1,8 súly%  $\leftrightarrow$  11 mól%)

Átszámoláshoz:

$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} (\cdot 100\%)$$

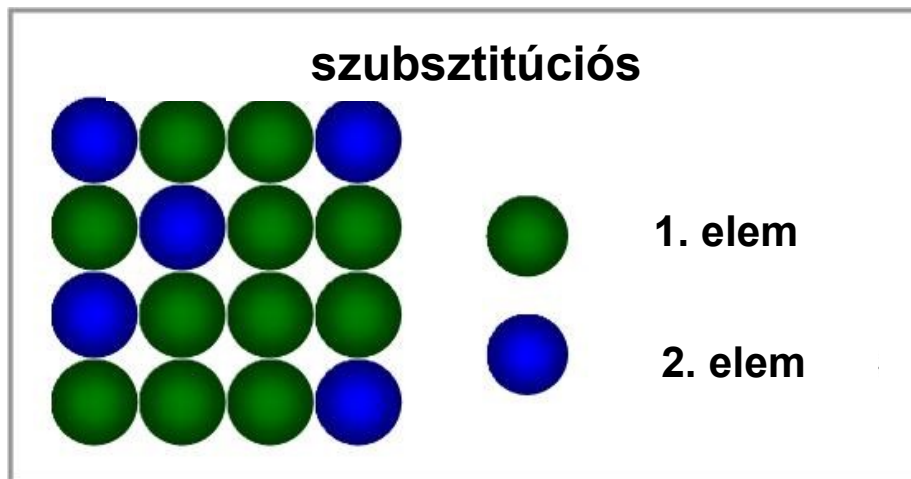
$$c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} (\cdot 100\%)$$

Átlagsűrűség:  $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{c_{m,1} \cdot \rho_2 + c_{m,2} \cdot \rho_1}$

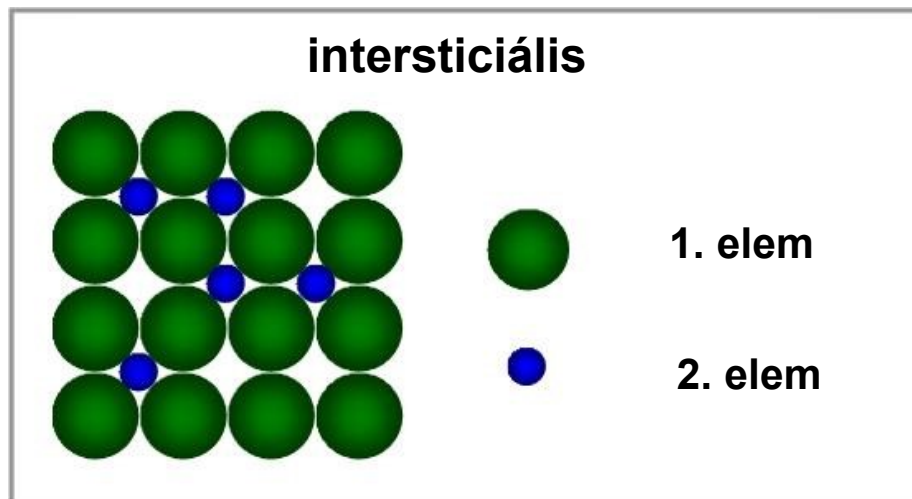
# Szilárd oldat (elegykristály)

Mind folyadék fázisban, mind szilárd fázisban jó oldódás →

homogén szövetszerkezet



pl. Cu-Ni, Pd-Ag, Au-Cu, ...



pl. Fe-C, CP Ti (O, C, N, H), ...

(CP: kereskedelmi tisztaságú)



## Oldhatóság feltételei szubsztitúciós szilárd oldatra:

- atomok mérete ne nagyon különbözzön ( $< 15\%$ )
- azonos kristálysírk típus
- hasonló elektronegativitás
- vegyérték azonos, vagy az „oldószer” vegyértéke nagyobb

| fém | atom átmérő (nm) | rácstípus    | elektro-negativitás |
|-----|------------------|--------------|---------------------|
| Au  | 0,2882           | fcc          | 2,4                 |
| Pt  | 0,2775           | fcc          | 2,2                 |
| Pd  | 0,2750           | fcc          | 2,2                 |
| Ag  | 0,2888           | fcc          | 1,9                 |
| Cu  | 0,2556           | fcc          | 1,9                 |
| Ni  | 0,25             | fcc          | 1,8                 |
| Sn  | 0,3016           | tetragonális | 1,8                 |

## Oldhatóság feltételei intersticiális szilárd oldatra:

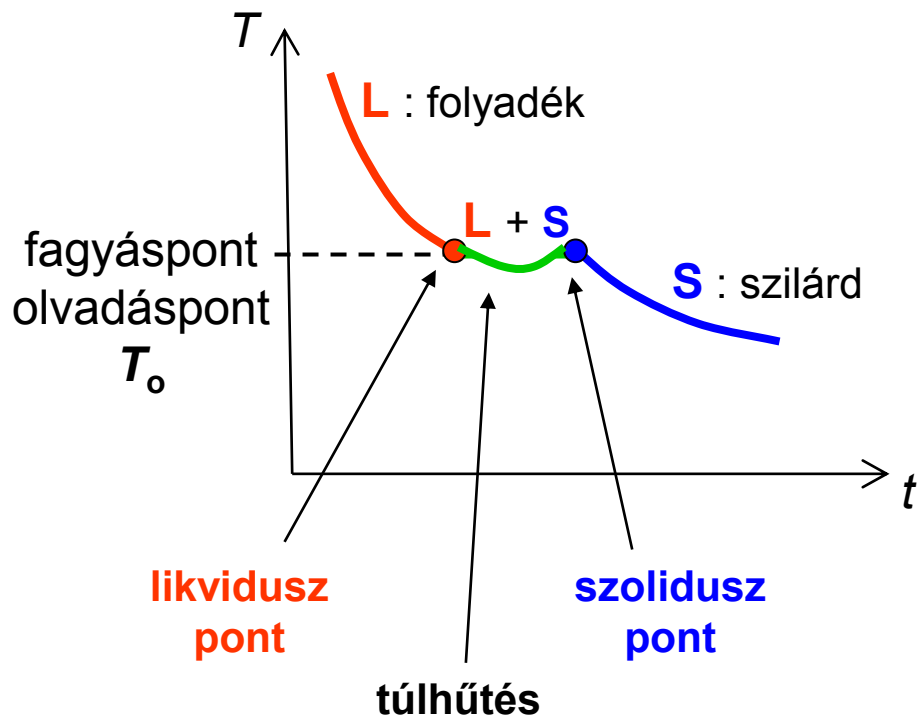
- „oldott” atom mérete jóval kisebb
- „oldott” anyag mennyisége kicsi ( $< 10\%$ )

## Szilárd oldat tulajdonságai:

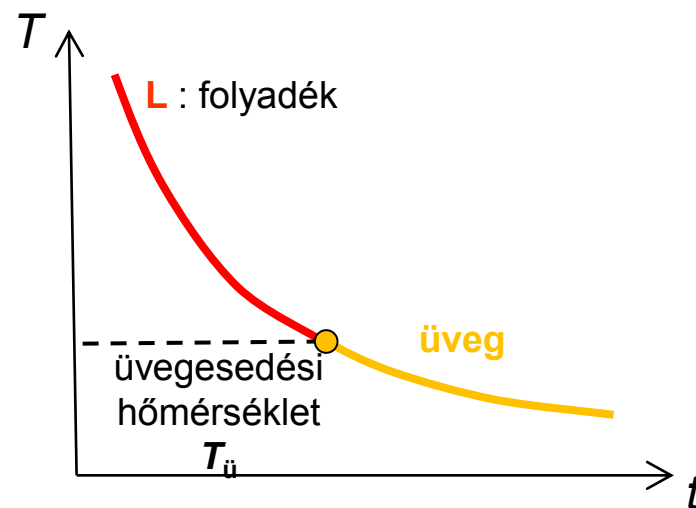
Rugalmassági határ, szilárdság, keménység nő,  
képlékenység csökken, pl. Au-Cu(5 tömeg%)

# Tiszta fémolvadék lehűlési görbéje

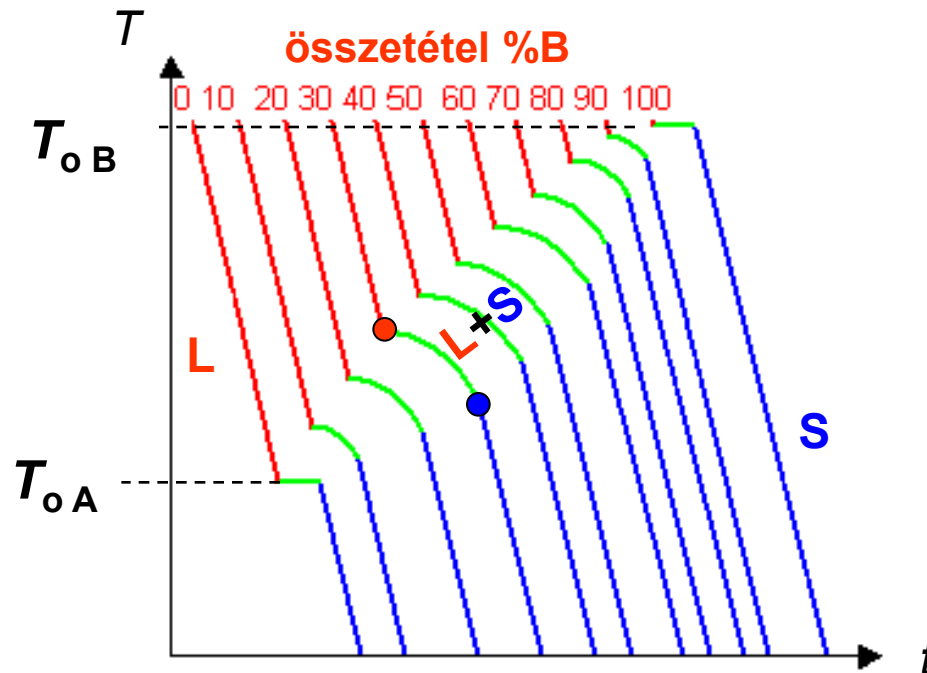
kristályosodás



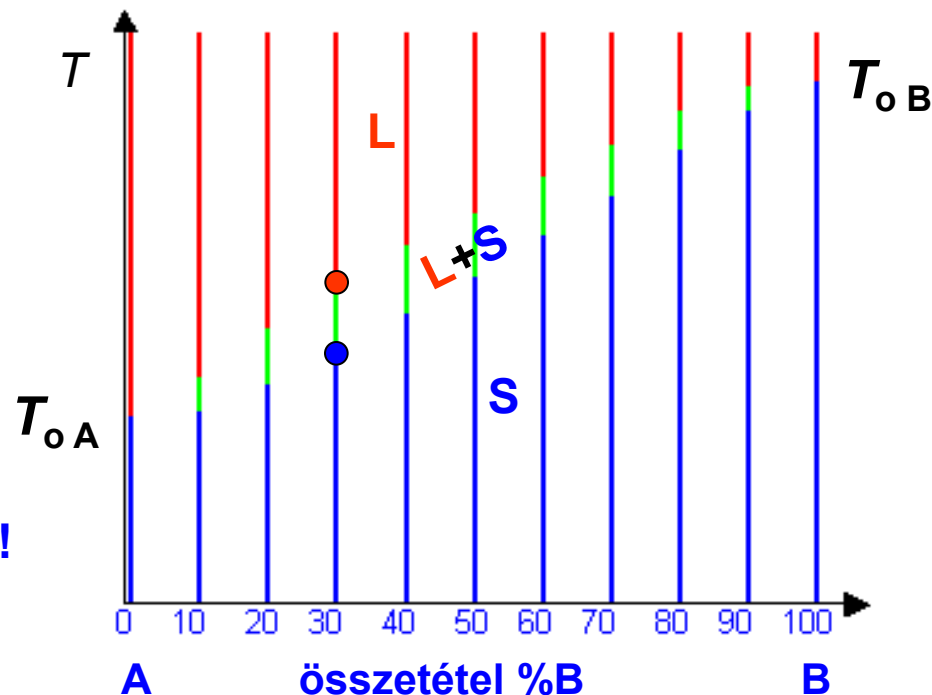
üvegesedés



# Szilárd oldat lehűlési görbéje

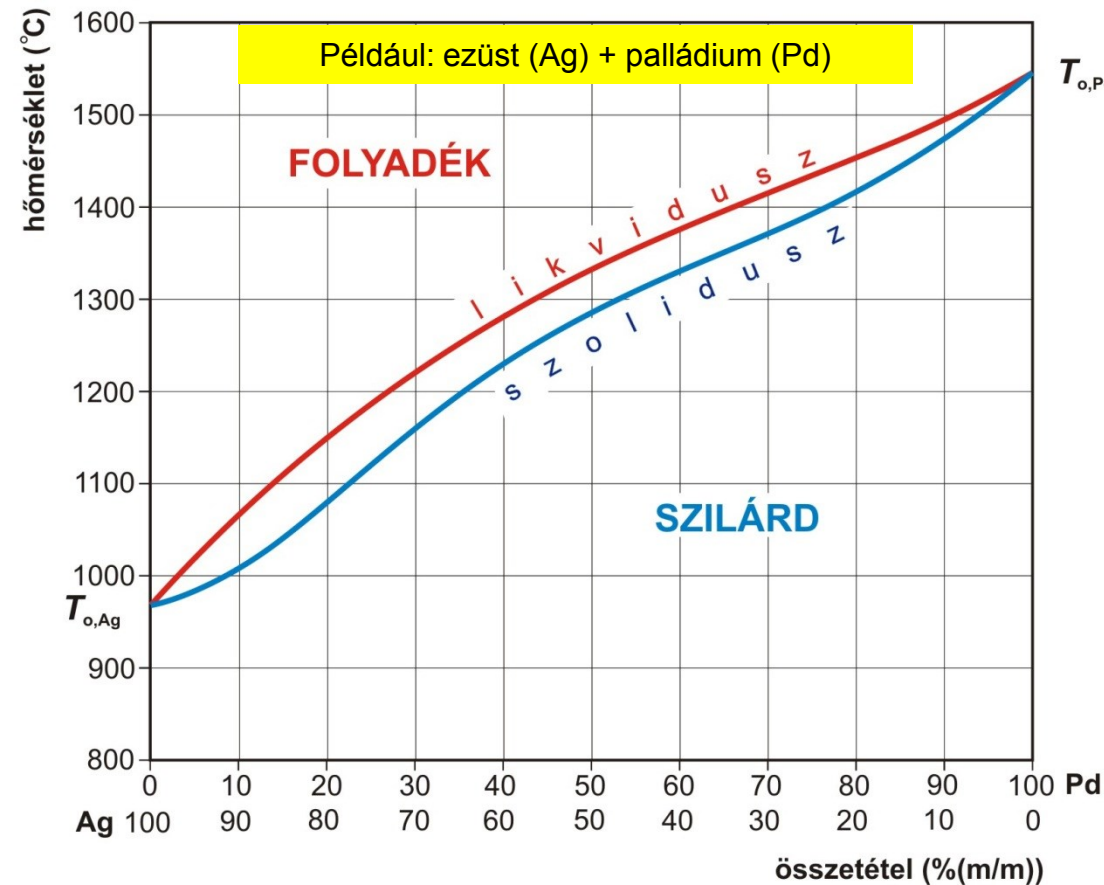
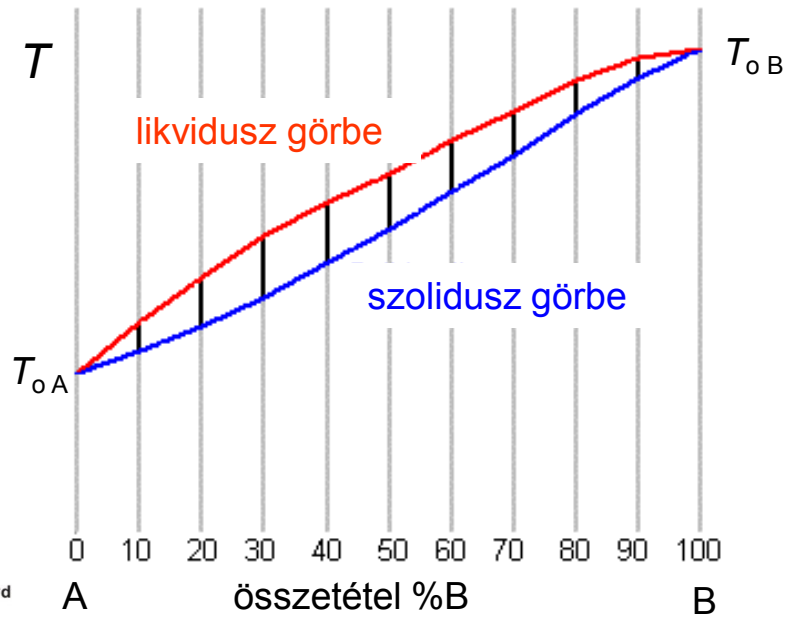


# fázisdiagramja



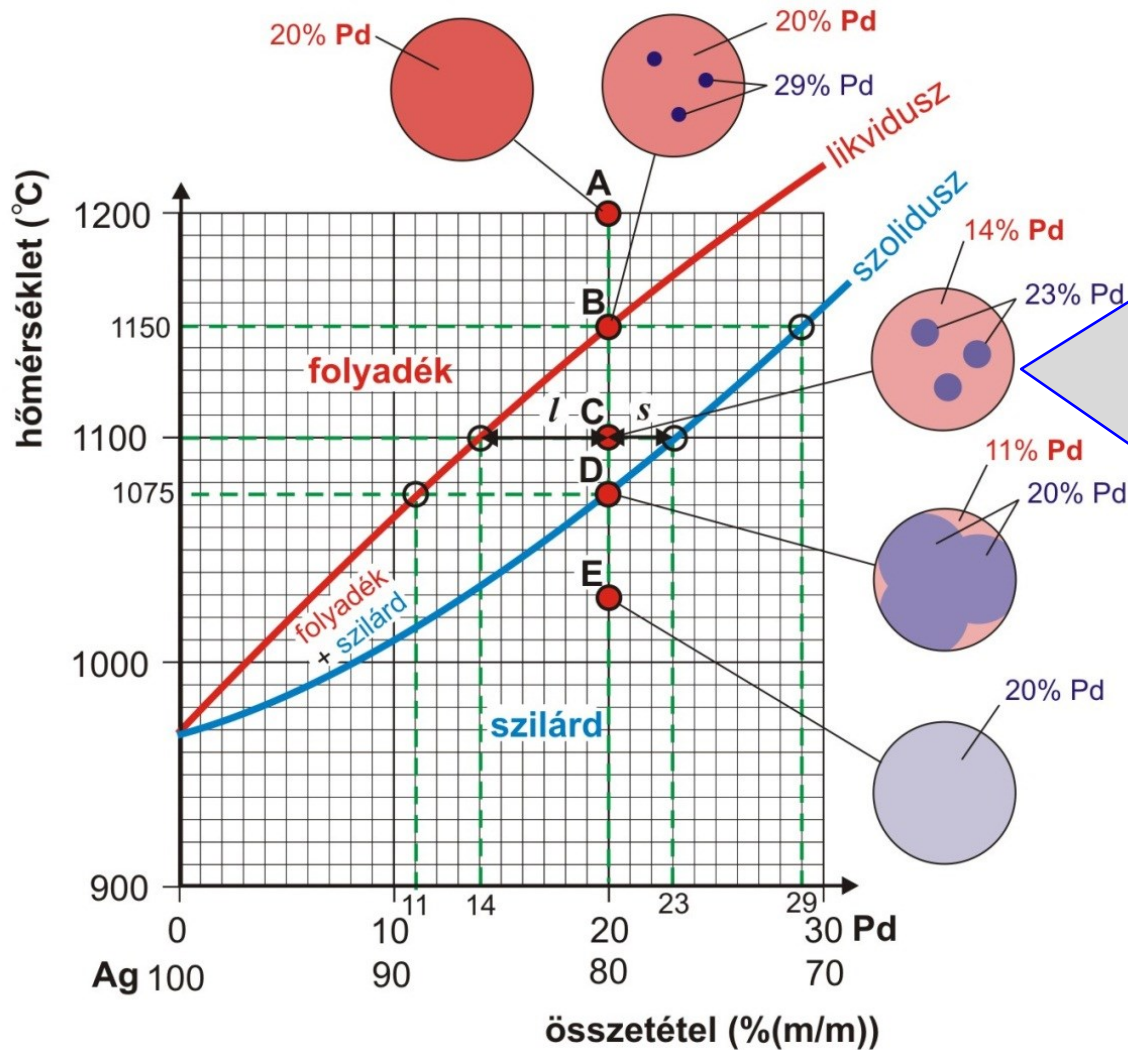
Egyensúlyi állapotokon keresztül!  
= végtelenül lassú hűtés

# Egyensúly!



# Fázisok arányának, összetételének meghatározása

Például: 80%(m/m) Ag + 20%(m/m) Pd



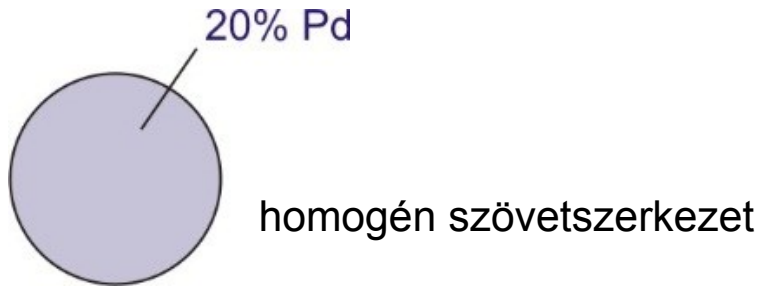
Pl. a **C** pontban:

- Folyadék fázis összetétele:  
14% Pd + 86% Ag
- Szilárd fázis összetétele:  
23% Pd + 77% Ag
- Folyadék fázis aránya:  

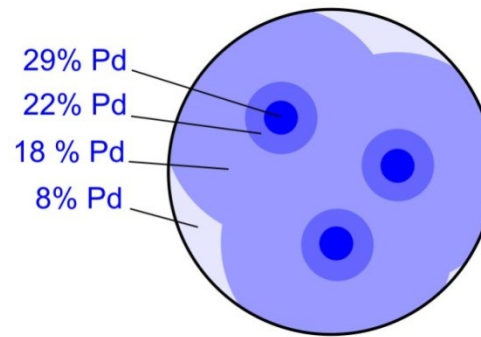
$$\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$$
- Szilárd fázis aránya: 66,6%  

$$\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$$

Egyensúlyi állapotokon keresztül =  
végtelenül lassú hűtés



Nem egyensúlyi állapotokon keresztül  
= észszerű sebességű hűtés



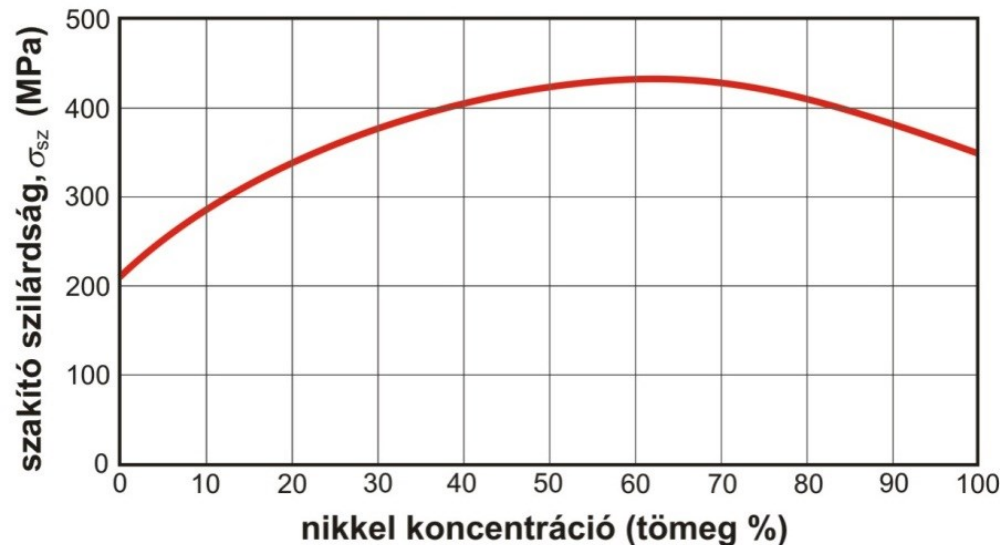
**szegregáció!**  
**„magos” szerkezet**  
**heterogén**  
**szövetszerkezet**

➔ **homogenizáció**

Ötvözés hatása a tulajdonságokra

Például: Cu-Ni

RÉZ -NIKKEL ÖTVÖZET

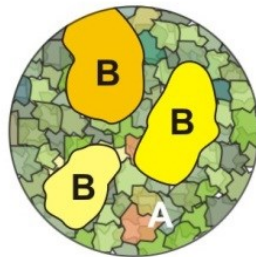
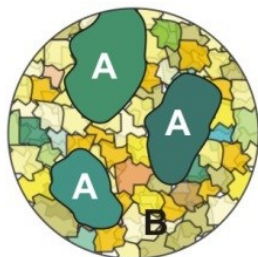
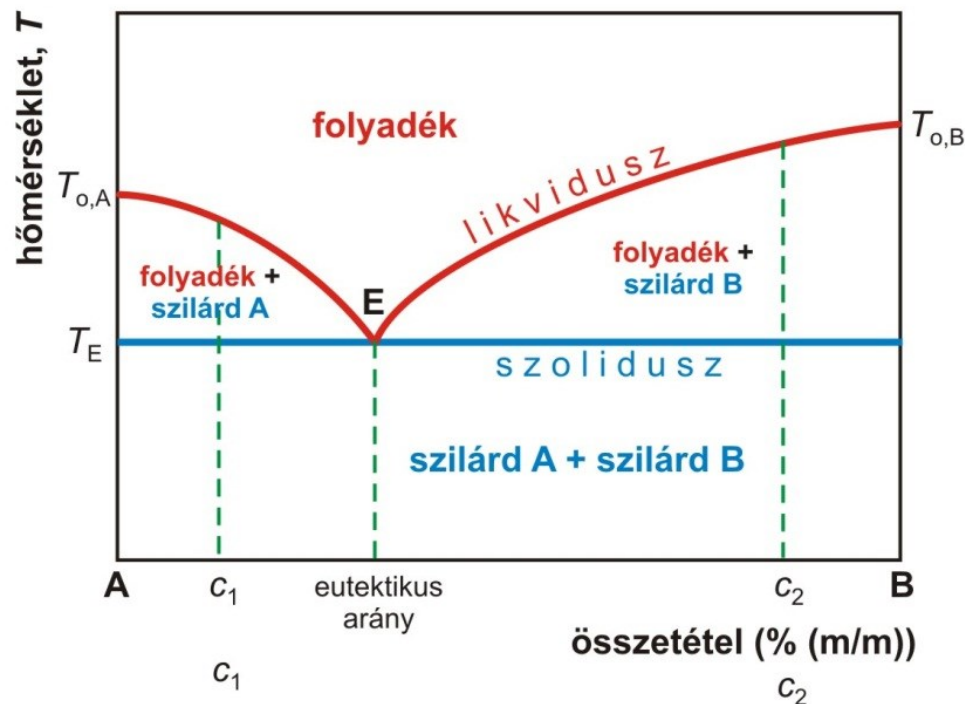


# Eutektikus ötvözetek

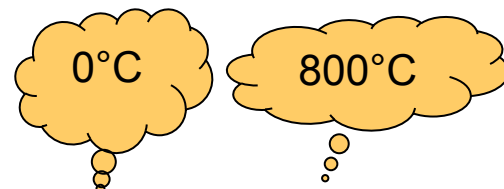
Szilárd fázisban teljes oldhatatlanság →

színfém krisztallitok →

heterogén szövetszerkezet



Például:

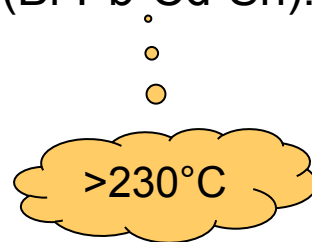


77% $\text{H}_2\text{O}$ +23%NaCl :

$$T_E = -21^\circ\text{C}$$

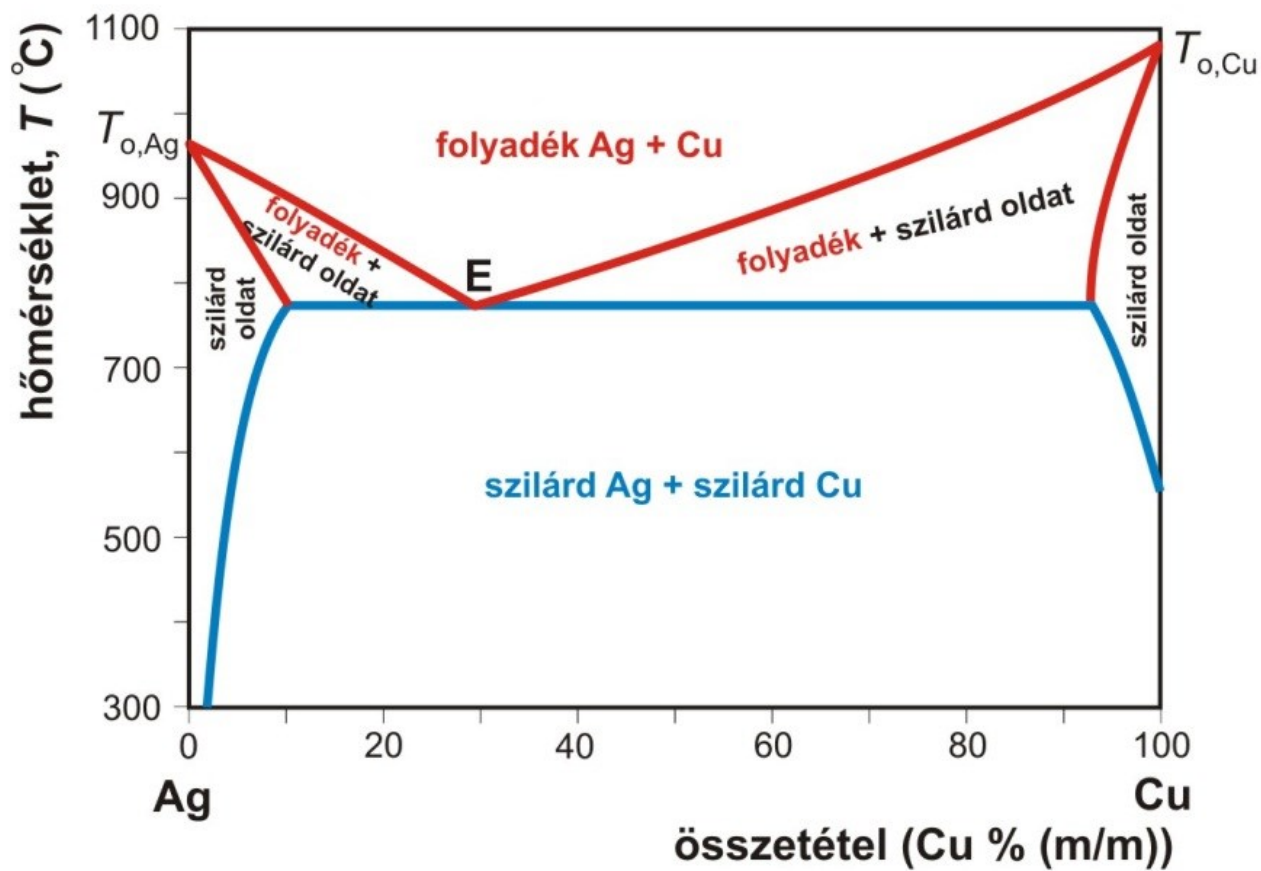
Wood-fém (Bi-Pb-Cd-Sn):

$$T_E = 68^\circ\text{C}$$





## Pl. Ag-Cu

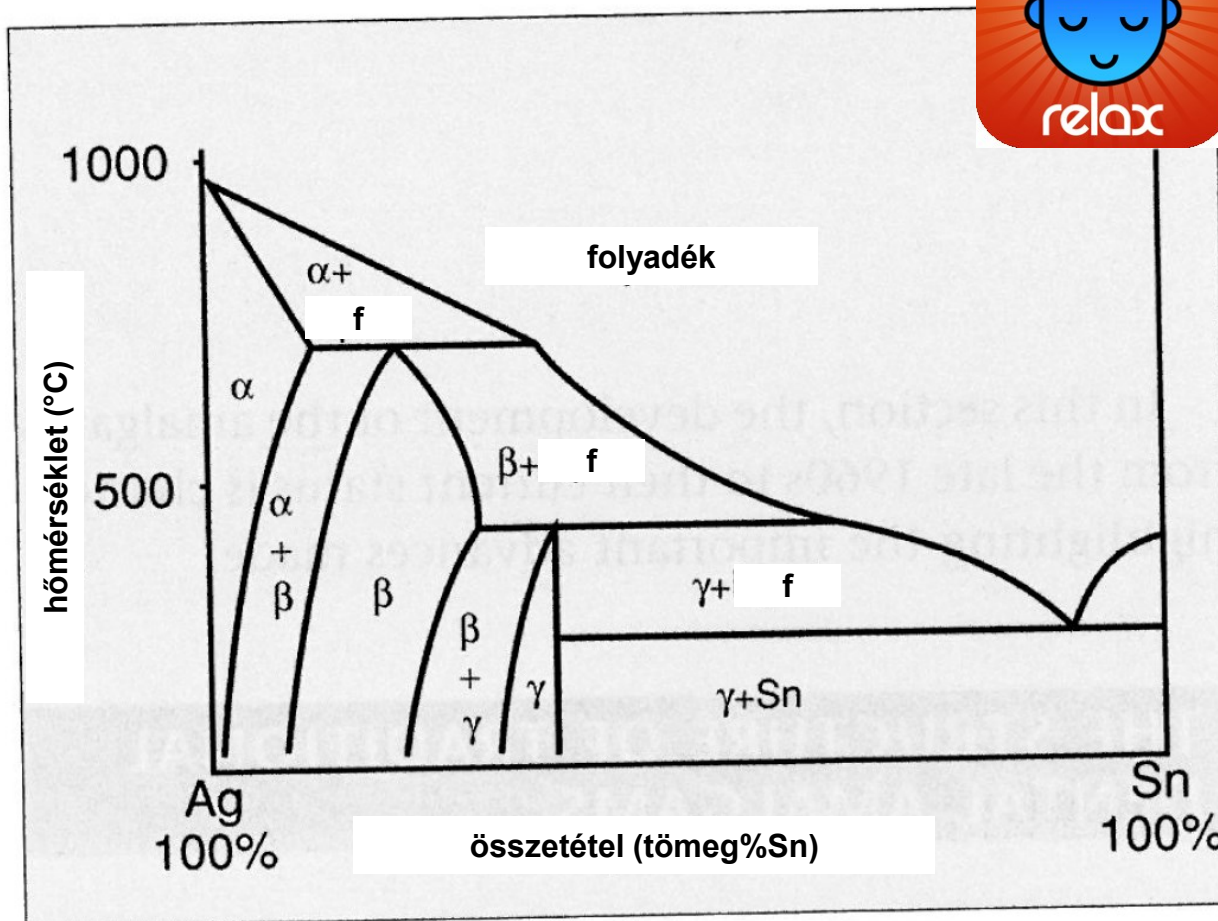


# Amalgám

Ag-Sn fázisdiagramja



| tipikus összetétel |        |
|--------------------|--------|
| fém                | %(m/m) |
| Hg                 | 50     |
| Ag                 | 34     |
| Sn                 | 13     |
| Cu                 | 2      |
| Zn                 | 1      |



$\gamma$  fázis:  $\text{Ag}_3\text{Sn}$

# Kerámiák

**Definíció: fémes és nemfémes elemek vegyülete** (vannak kivételek!)

**Tulajdonságai:**

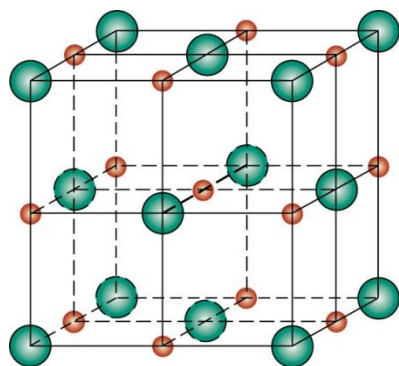
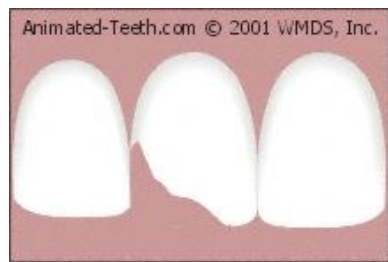
- közepes sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd
- nagy merevség, keménység, de nem jól alakíthatók, törékenyek
- nagy hő- és korrózióállóság
- gyenge hőszigetelés
- rossz hő- és elektromos vezetőképesség
- változatos optikai tulajdonságok
- biokompatibilitás

**Szerkezete:**

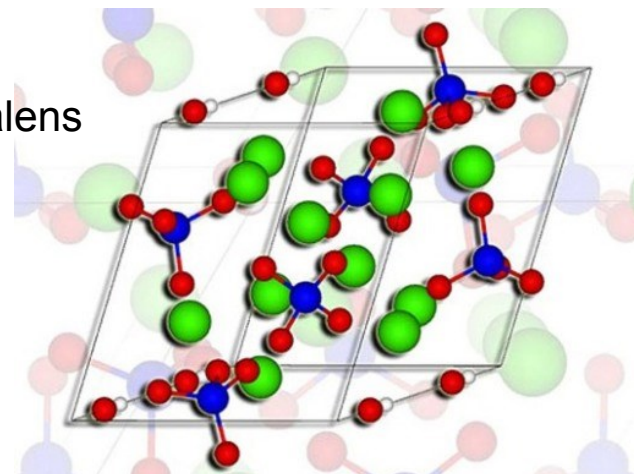
- főként ionkötés, kisebb részben kovalens
- különböző méretű ionok (általában)
- kristályos v. amorf

**Alkalmazási példák:**

- koronák, hidak
- gyökérstift
- cementek
- csiszolóanyagok



NaCl



● P<sup>5+</sup>

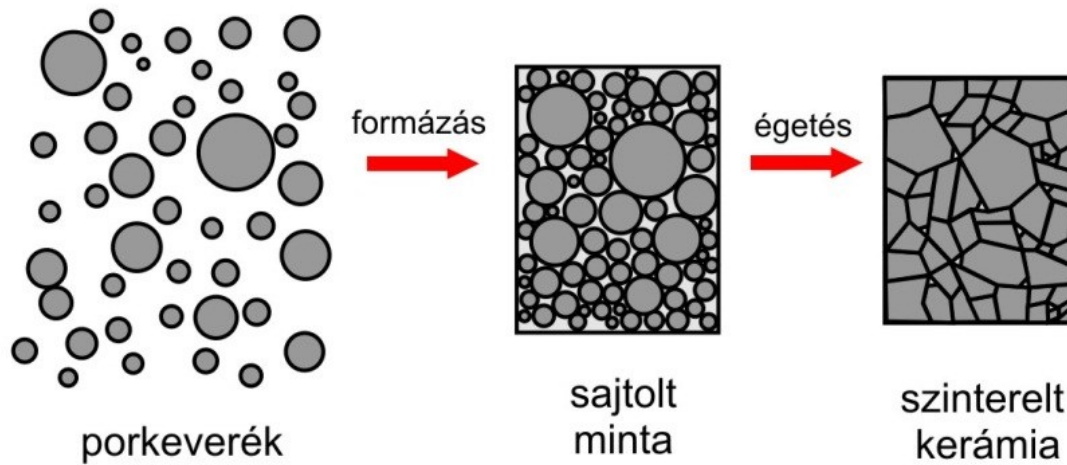
● O<sup>2-</sup>

● Ca<sup>2+</sup>

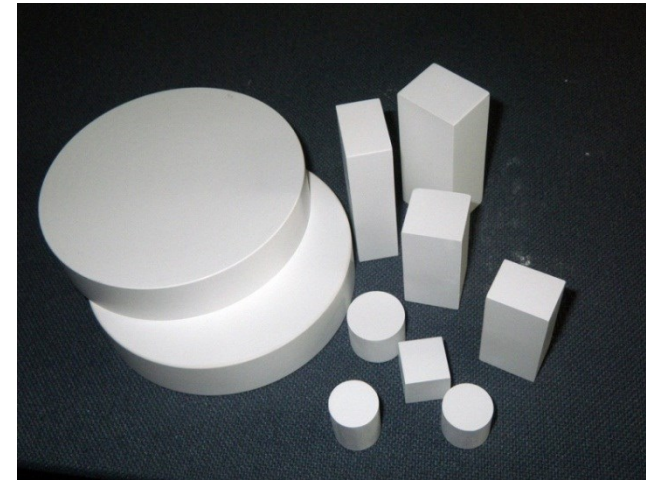
○ H<sup>+</sup>

apatit

## Előállítás: égetés, szinterelés



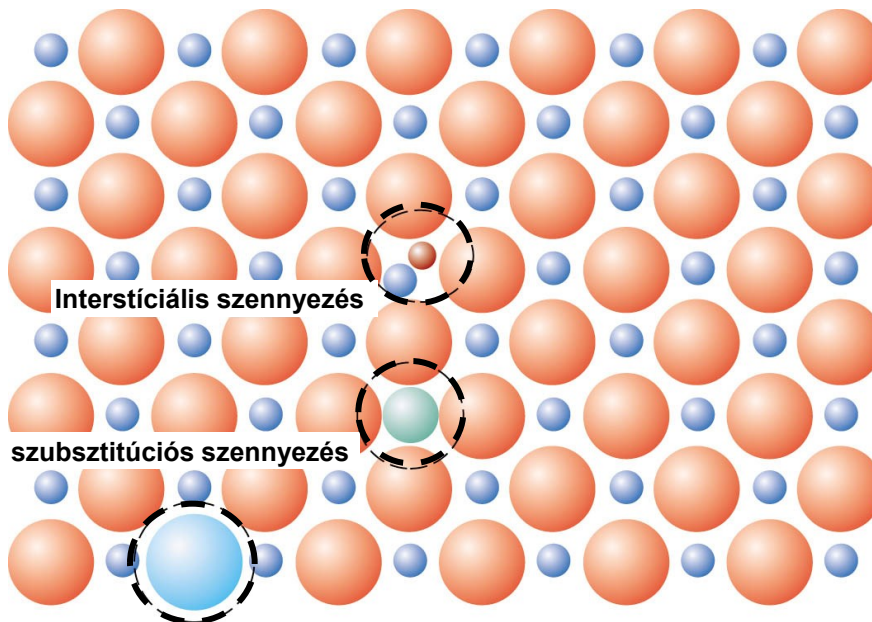
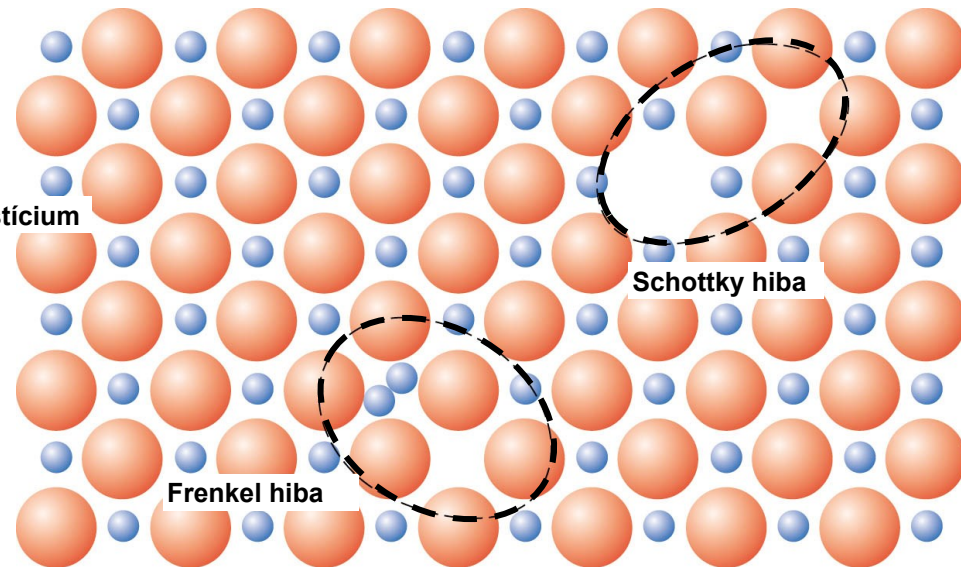
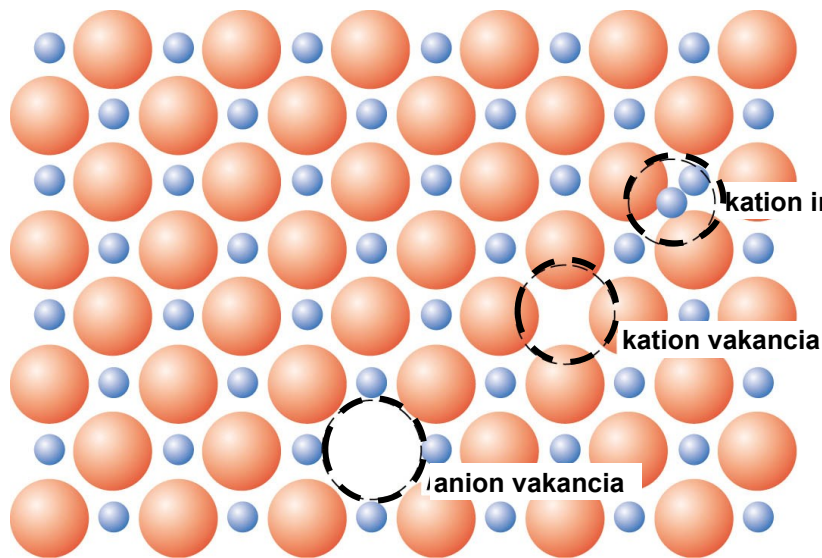
**porozitás!**



**Üvegkerámia:** Amorf üveg → kristály átalakulás magas hőmérsékleten  
⇒ nagyon finom szemcsés polikristályos anyag



# Hibák:



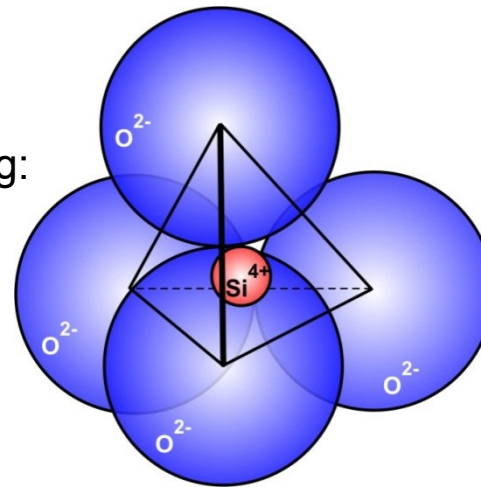
**Korlátozó feltételek:**

- elektroneutralitás
- együttes vándorlás

# Szilikátok

Meghatározó elemek: Si és O

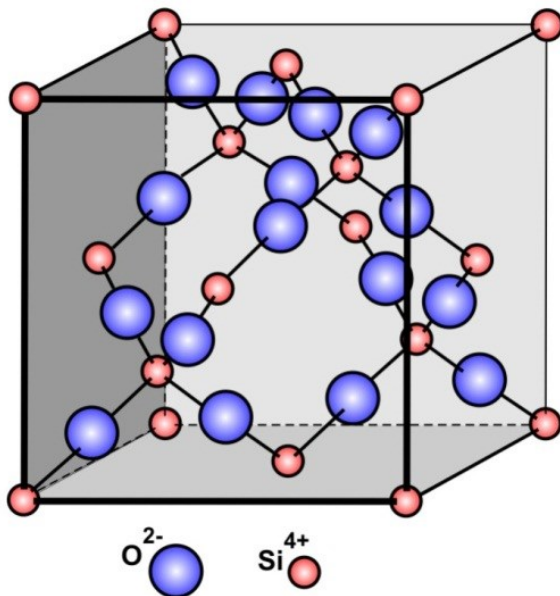
Építőegység:  
 $\text{SiO}_4^{4-}$



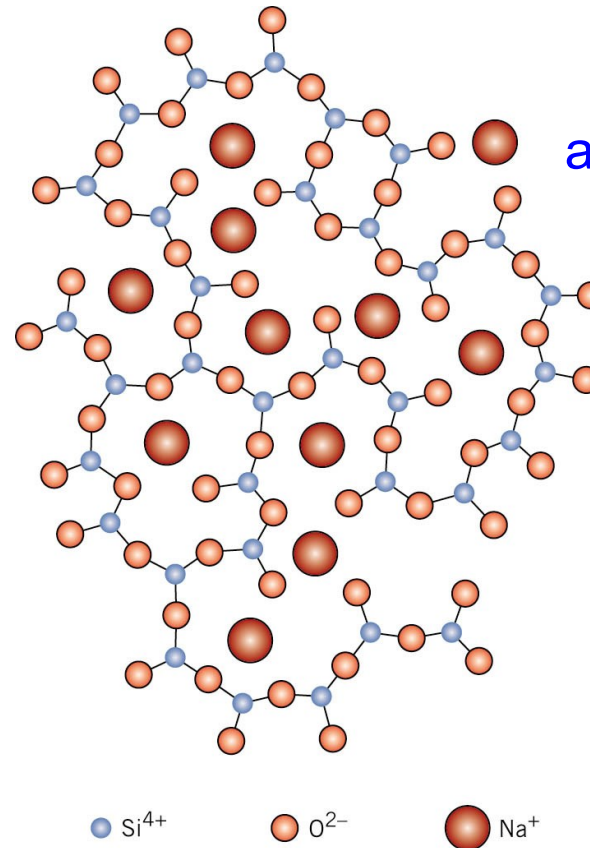
- Szilícium-dioxid ( $\text{SiO}_2$ )**

kristály

(pl. krisztobalit)

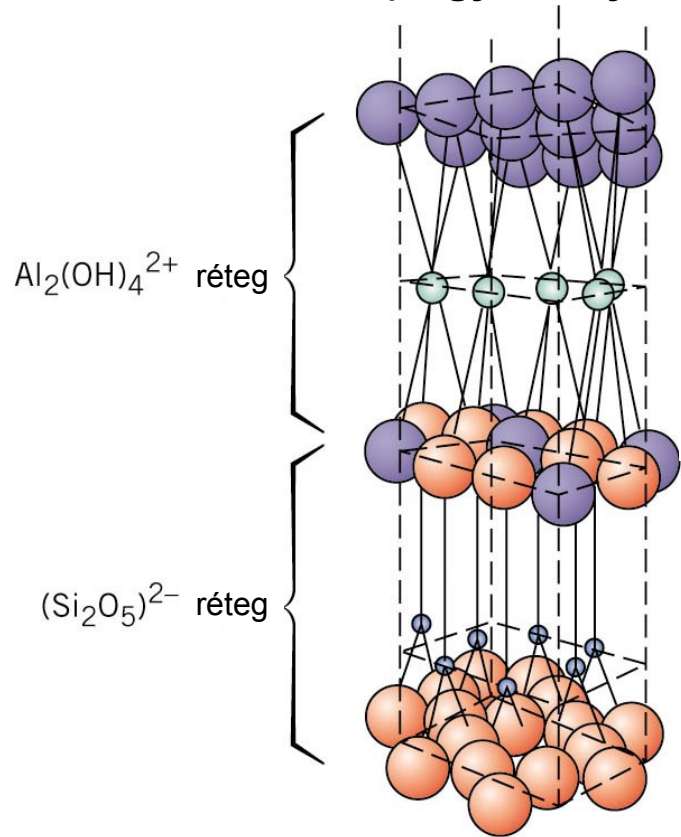


amorf/üveg





- Porcelán (hagyományos)**

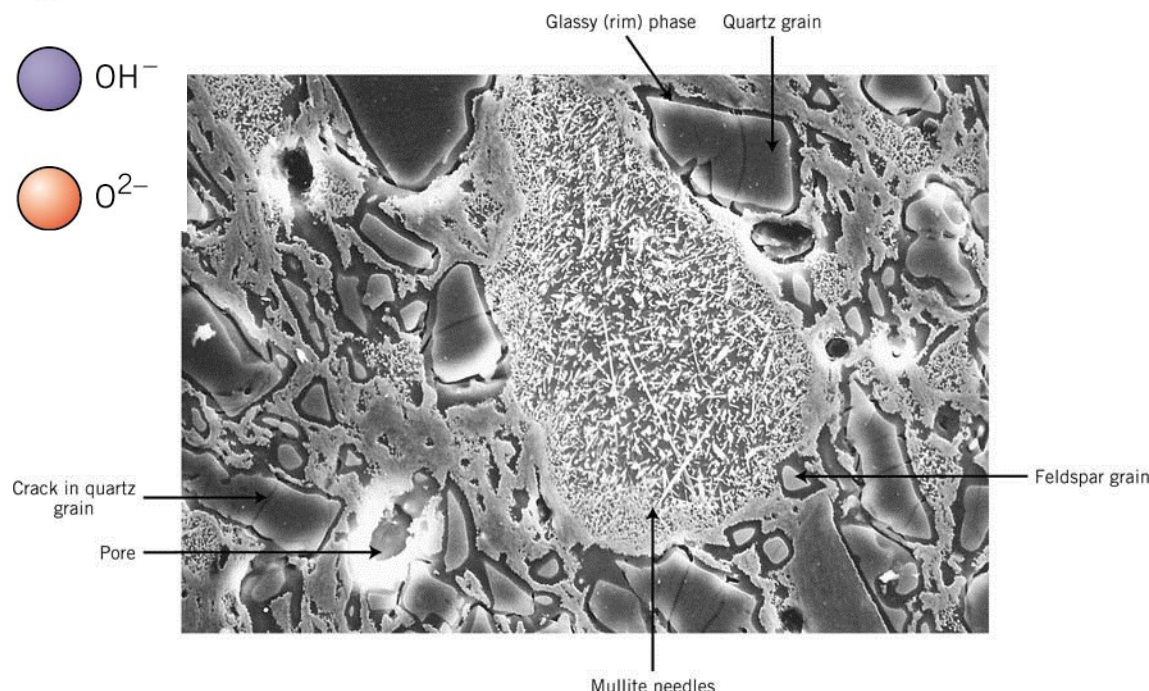
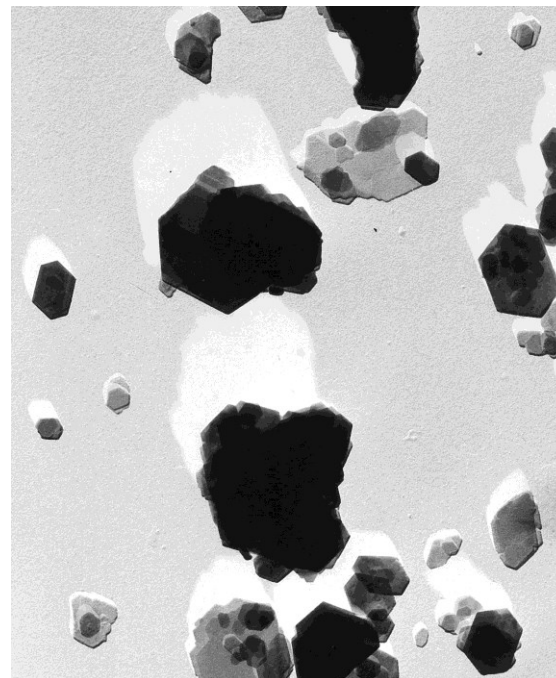


+ kvarc

+ földpát

➞ szárítás, égetés

Kaolin  
 $(\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4)$







# Oxid kerámiák

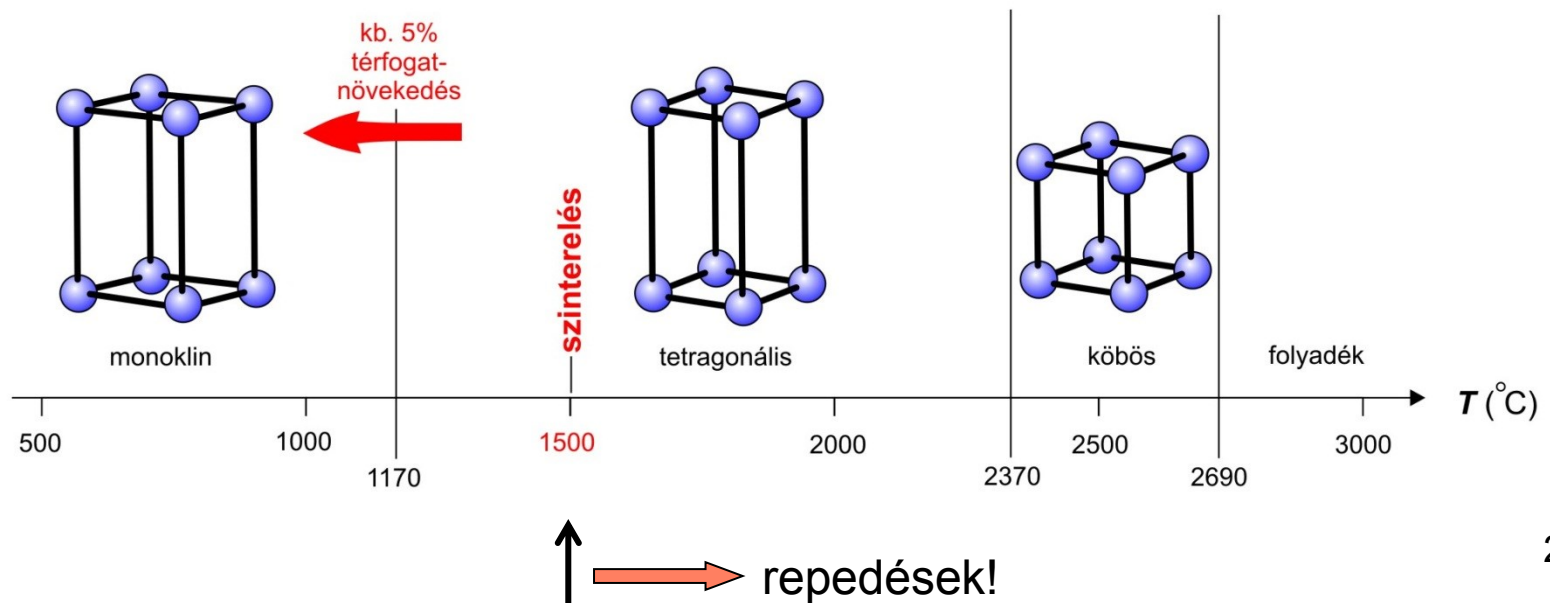
- **Cirkónium-dioxid ( $\text{ZrO}_2$ , cirkon)**

Tulajdonságok (tömörre szinterelt állapotban):

- fehér
- sűrűsége kb.  $6 \text{ g/cm}^3$
- nagy szilárdságú és nagy szívósságú, merev, kemény (l. később)

Előállítás:

- cirkonhomokból ( $\text{ZrSiO}_4$ )
- drága tisztítási eljárások, de hafniumoxid marad kb 1%-ban (radioaktivitás  $<1 \text{ Bq/g!}$ )
- hideg v. meleg sajtolás, szinterelés

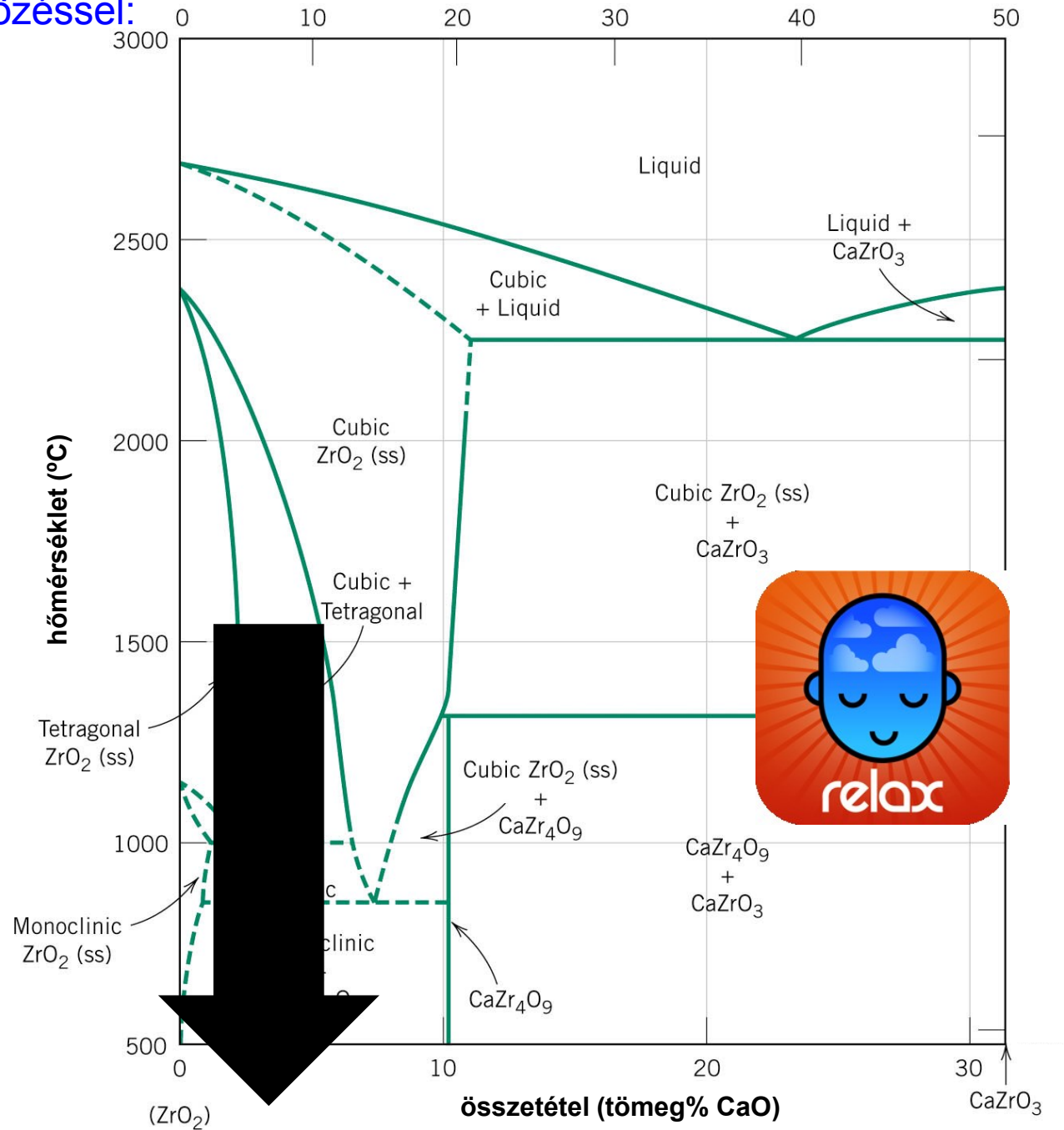


Cirkon stabilizálása ötvözéssel:

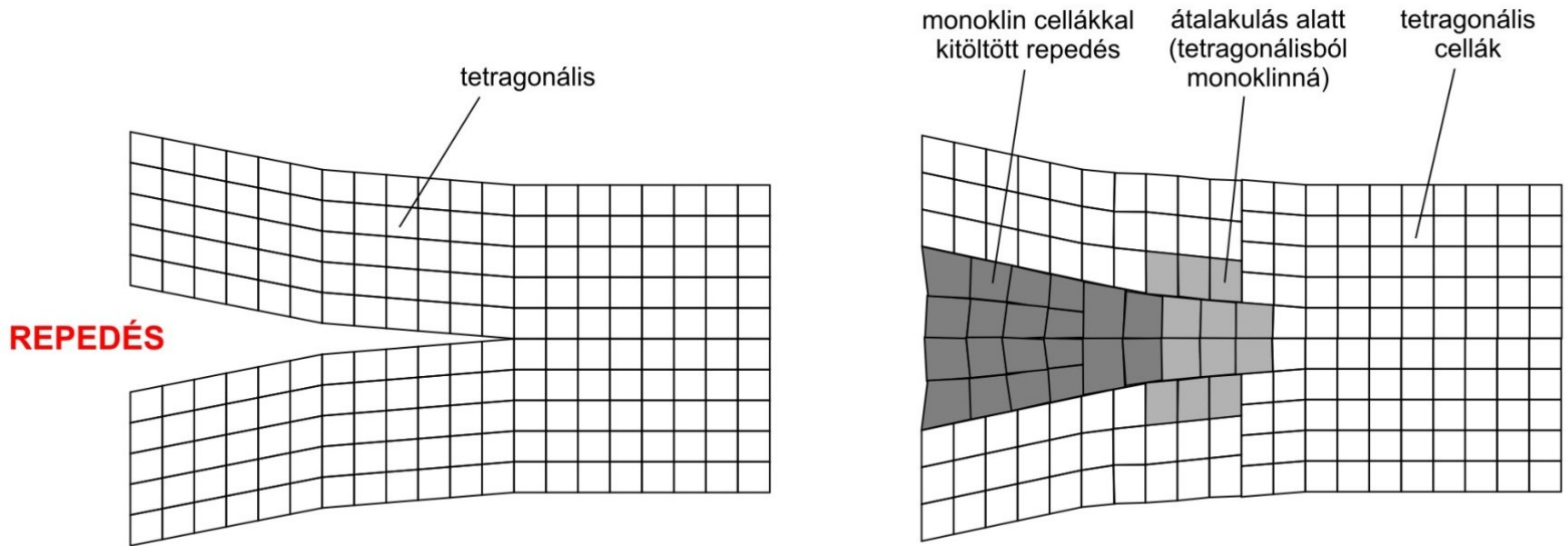
$\text{ZrO}_2\text{—MgO}$

$\text{ZrO}_2\text{—Y}_2\text{O}_3$

$\text{ZrO}_2\text{—CaO}$



A cirkon „önjavító” képessége:



➡ Cirkon hozzáadásával más kerámiák is ellenállóbbá tehetők a repedésekkel szemben!

➡ I. Fázisátalakulással szívósított kerámiák!

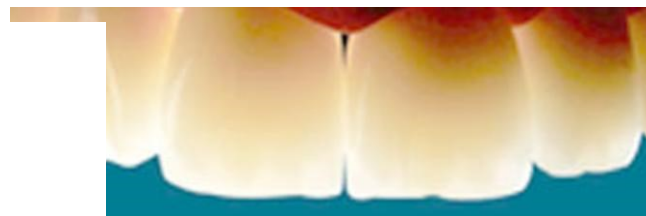
- **Alumínium-oxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )**

Tulajdonságok:

- színtelen, fehér
- olvadáspont  $2700^\circ\text{C}$
- sűrűsége kb.  $4 \text{ g/cm}^3$
- nagyon kemény (l. később)



Kristályos formák: korund



# Polimerek

Monomerekből felépülő hosszú, láncszerű makromolekula

## Tulajdonságai:

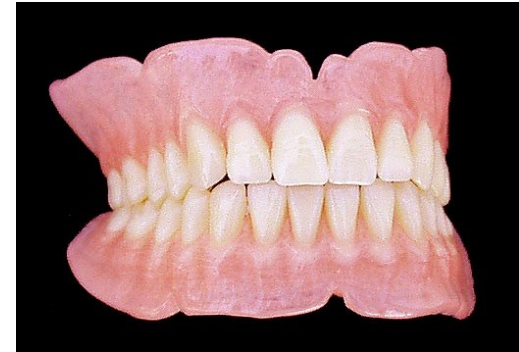
- kis sűrűség
- szobahőmérsékleten folyékony, szilárd
- kis/közepes merevség, keménység, de jó alakíthatóság
- viszkoelasztikusság
- viszonylag gyenge hőállóság és korrózióállóság
- rossz hő- és elektromos vezetőképeség
- változatos optikai tulajdonságok

## Szerkezete:

- láncon belül kovalens, láncok között másodlagos, ritkábban kovalens kötések
- szemikristályos v. amorf

## Alkalmazási példák:

- műfogsor
- tömés
- lenyomatanyagok



## Előállítás:

- ❖ addíció
- ❖ kondenzáció

# Monomer

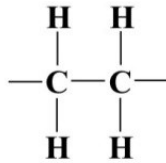
polimer  
elnevezése

monomer  
szerkezete

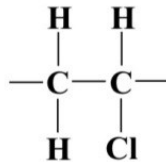
ipari  
alkalmazás

fogászati  
alkalmazás

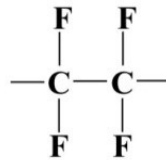
polietilén  
(PE)



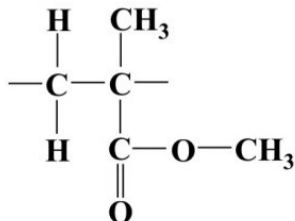
polivinilklorid  
(PVC)



politetrafluoretilén  
(PTFE, teflon)



polimetilmetakrilát  
(PMMA, plexi)

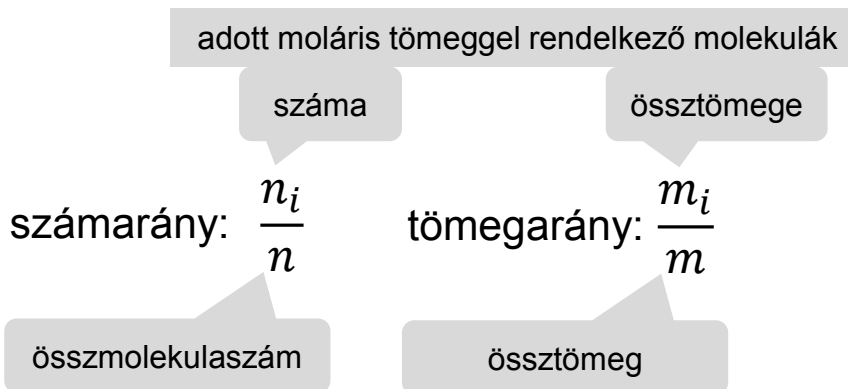
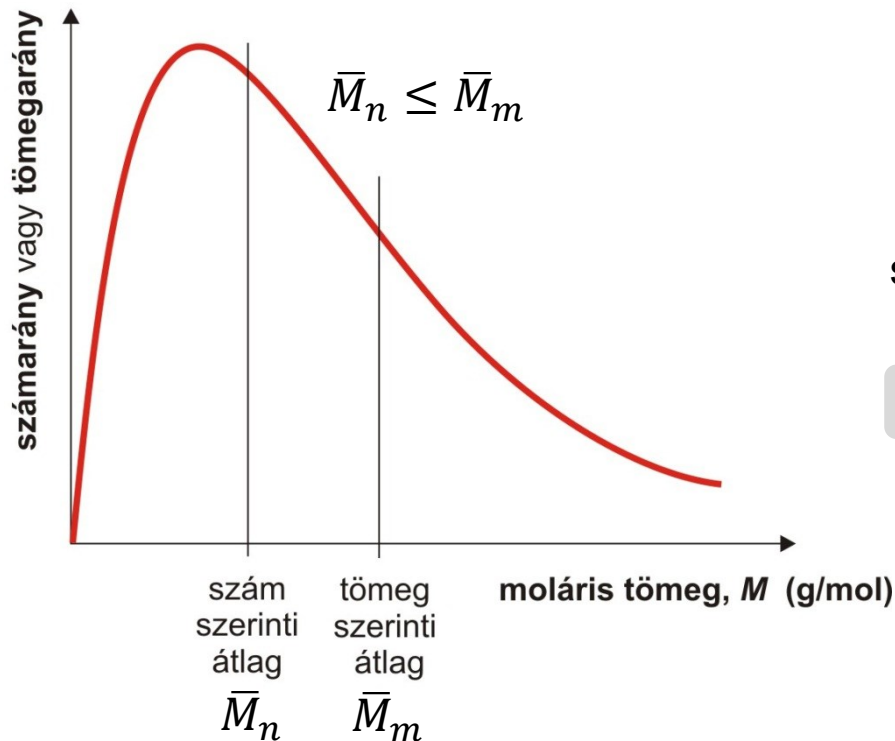


- **homopolimer:**  
egyfajta monomer

- **heteropolimer  
(kopolimer):** két-,  
vagy többféle  
monomer

# Polimer készítmény

Statisztika!



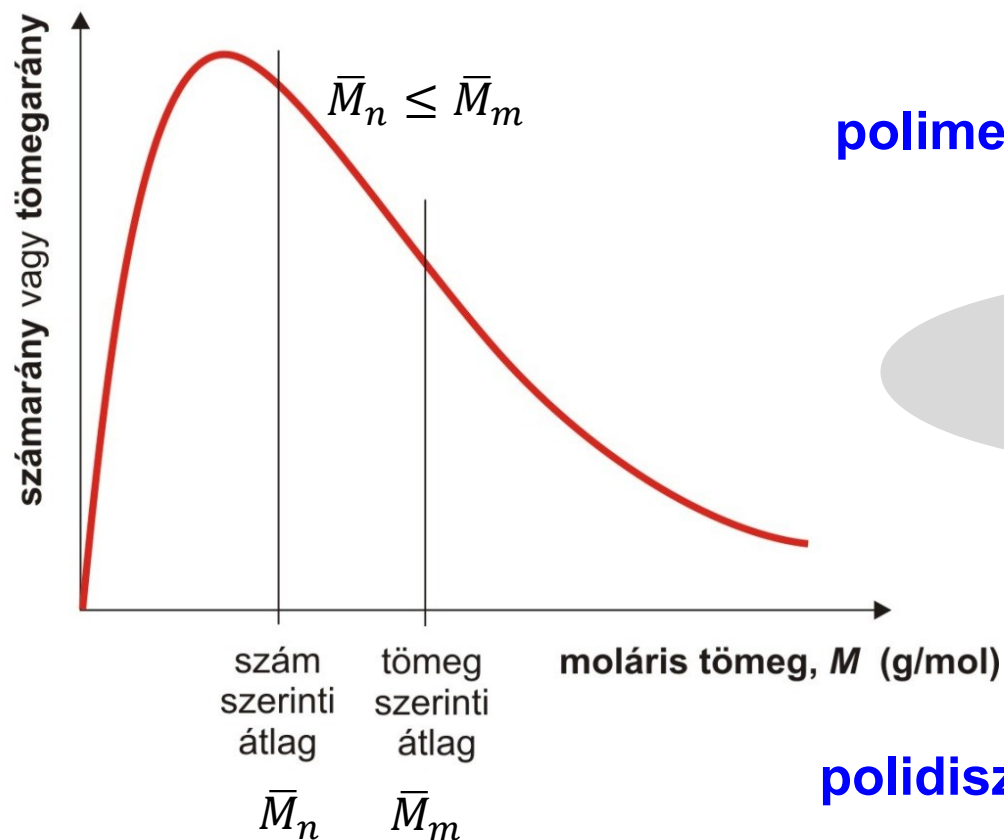
Szám szerinti átlagos moláris tömeg (  $\bar{M}_n$  ):

$$\bar{M}_n = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + \dots + n_i M_i + \dots + n_k M_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_k} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i M_i}{\sum_{i=1}^k n_i}.$$

Tömeg szerinti átlagos moláris tömeg (  $\bar{M}_m$  ):

$$\bar{M}_m = \frac{m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_i M_i + \dots + m_k M_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_k} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i M_i}{\sum_{i=1}^k m_i}.$$





**polimerizáció foka:**  $\frac{\bar{M}_n}{M_{\text{monomer}}}$

polimermolekulák  
átlagos hossza

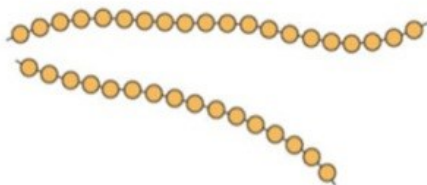
**polidiszperzitás foka:**  $\frac{\bar{M}_m}{\bar{M}_n}$

polimermolekulák  
különbsége

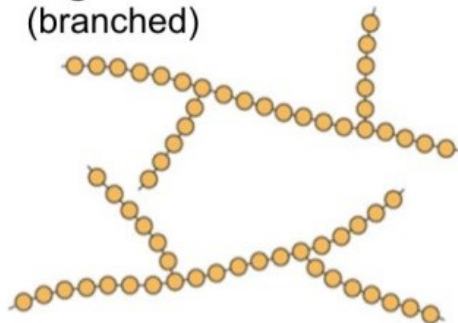
= 1: monodiszperz  
1 < : polidiszperz

# Polimerek szerkezete

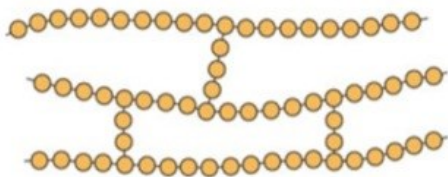
**lineáris**  
(linear)



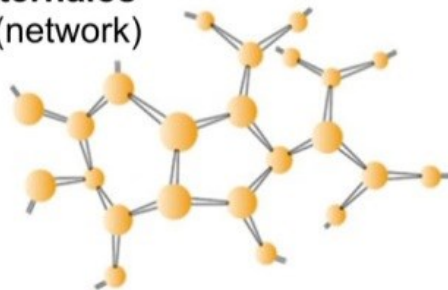
**elágazásos**  
(branched)



**keresztkötéses**  
(crosslinked)

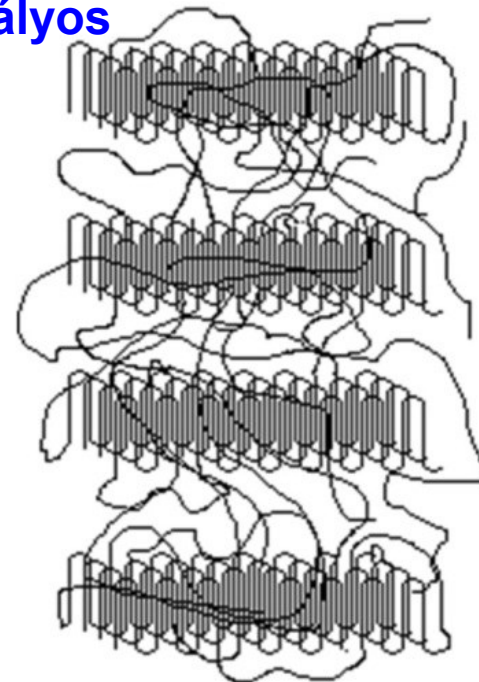


**térhálós**  
(network)



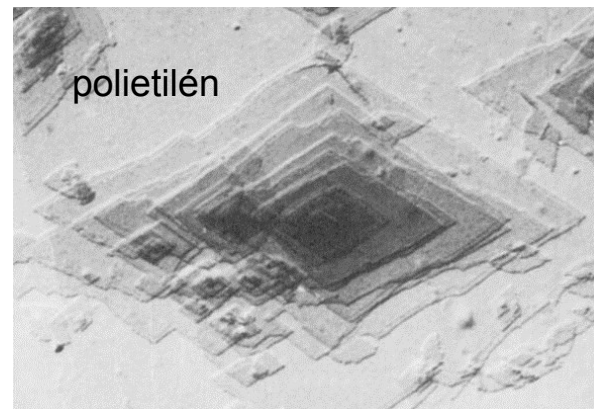
- termoplasztok
- duroplasztok
- elasztomerek

**szemikristályos**



**Kristályossági fok (x):**

$$\text{amorf } 0\% \quad x = \frac{m_{\text{kristály}}}{m_{\text{összes}}} (\cdot 100\%) \quad \text{kristály } 100\%$$



# Kompozitok

Több, kémiaileg általában különböző, határozott határfelülettel rendelkező fázisból álló anyag

## Tulajdonságai:

- kis sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd
- az egyes fázisok előnyös tulajdonságait kombinálja
- nagy szilárdság, ugyanakkor rugalmasság, nagy szívósság
- változatos optikai tulajdonságok



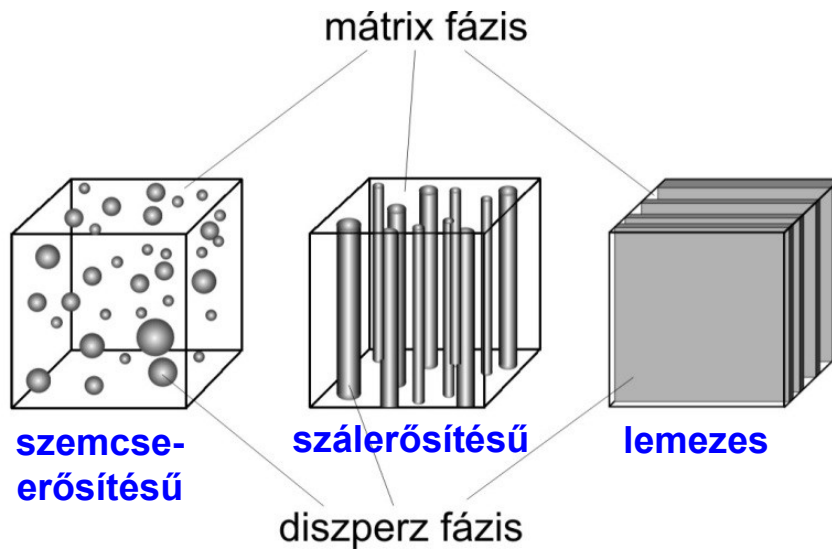
## Alkalmazási példák:

- tömés
- fogorvosi eszközök



# Kompozitok szerkezete

**Kétfázisú kompozit:** folytonos fázis/mátrix (polimer, fém, kerámia)  
+  
diszperz fázis/adalék/töltőanyag (kerámia, fém, ...)



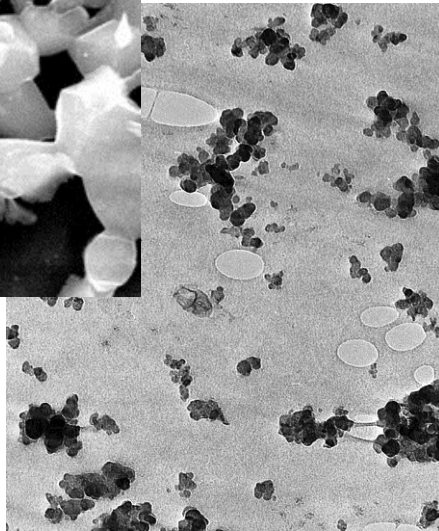
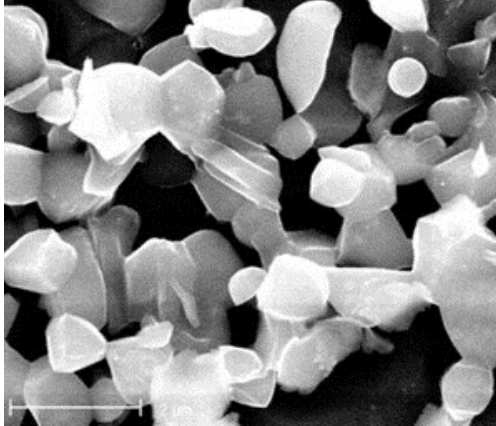
**Hibrid kompozitok:** több diszperz komponens



szemcse erősítésű

nagy szemcsék

finom szemcsék



szál erősítésű

folytonos egyirányú

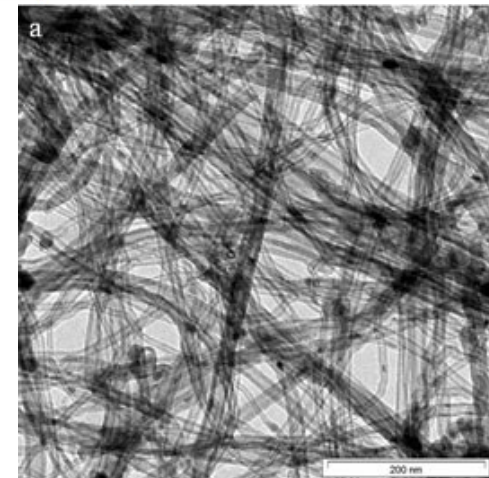
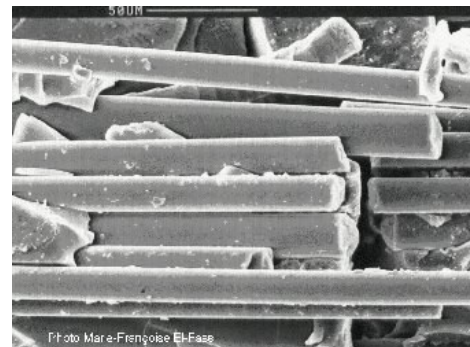
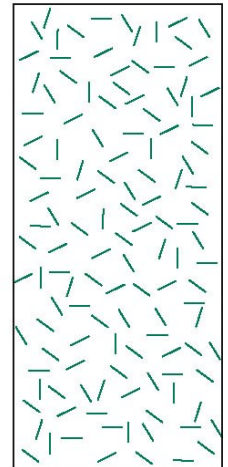
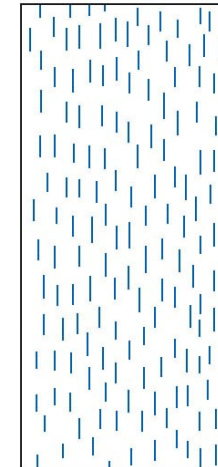
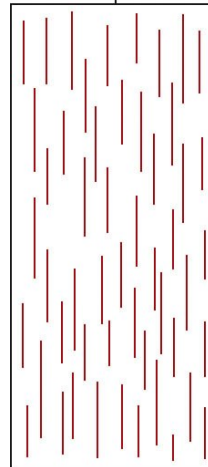
rövid

egyirányú

véletlen orientációjú

Longitudinal  
direction

Transverse  
direction



➡ tulajdonságok!

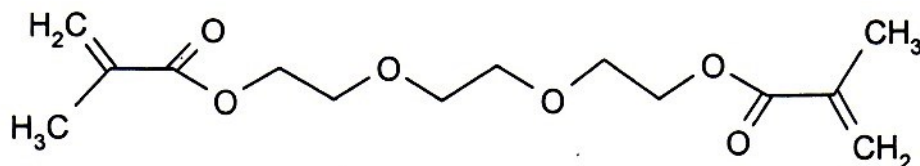
# Fogászati kompozitok

**mátrix:** polimer (dimetakrilát)

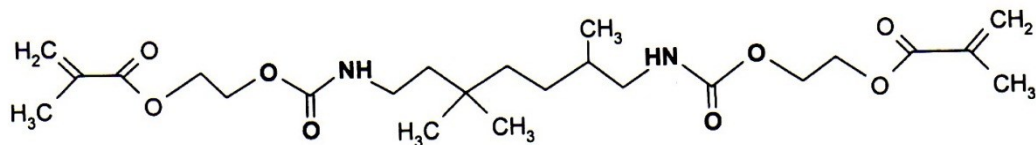
**töltőanyag:** üveg, kerámia kristály (pl. kvarc), polimer,  
+ pigment, + UV abszorbens, ...



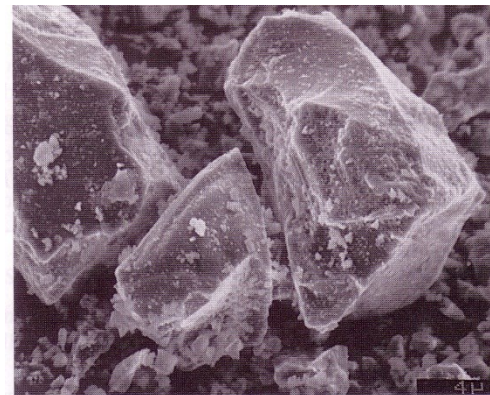
TEGDGMA



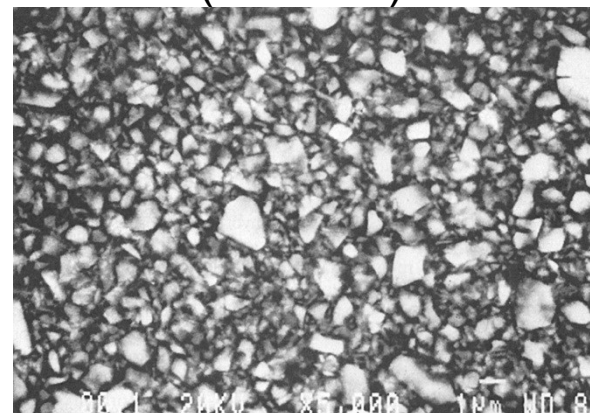
UDMA



durva szemcsés  
(0,1-100  $\mu\text{m}$ )



mikroszemcsés  
( $\approx 40 \text{ nm}$ )



**Következő  
előadáshoz:  
14-15.  
tankönyvi  
fejezetek**