

BEVEZETÉS

Biokompatibilis fémek, kerámiák

Az emberi csont

Orvostechnikai anyagok
BMEGEMTNGK6
2026. 02. 17.
Dr. Kemény Alexandra
kemeny.alexandra@gpk.bme.hu

Beadandó projektfeladat:

- Egyéni, vagy 2-3 fős csoportmunka
- Témalehetőségek a tanszéki honlapon a [tantárgy oldalán](#)
- Laborhasználati teszt [anyagok](#), engedélykérés szükséges az eléréshez.
- Követelmények
 - Kb. 20 – 30 A4 oldal,
 - 12-es hagyományos talpas betűtípus (Times New Roman, Cambria, stb.)
 - 1,15 sorköz
 - 20 mm margó körbe
 - Források pontos jelölése (AI is!)
 - Elektronikus beadás PDF-ben
- Félév végén 15 perces prezentáció



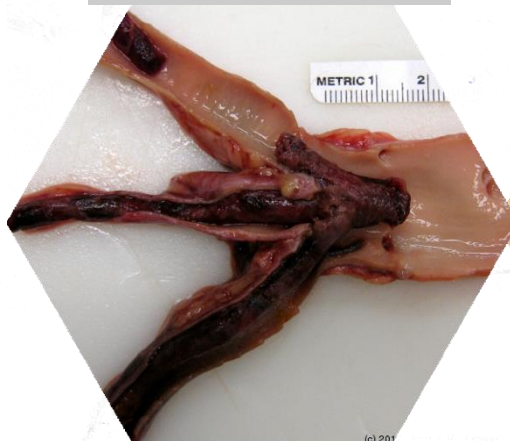
Biofunktionalitás

- tulajdonság együttes
- meghatározza, hogy az adott **anyag** képes-e betölteni a neki szánt **funkciót**
- rendelkezik-e a megfelelő **mechanikai**, **mágneses** vagy egyéb tulajdonságokkal

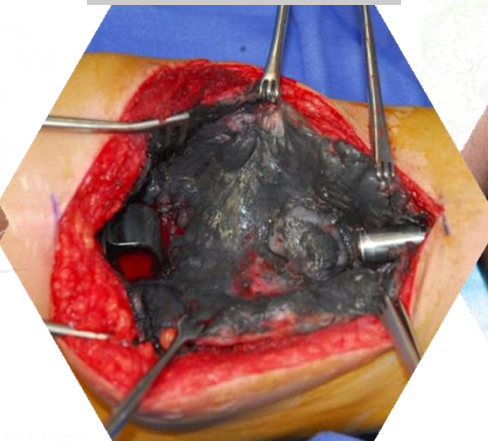
Biokompatibilitás

- az **anyag** azon képessége, hogy adott alkalmazás esetén megfelelő **reakciókat** váltson ki a fogadó szövetekből
- képes-e **hosszú időn** keresztül ellátni a funkcióját

Trombózis



Metallózis



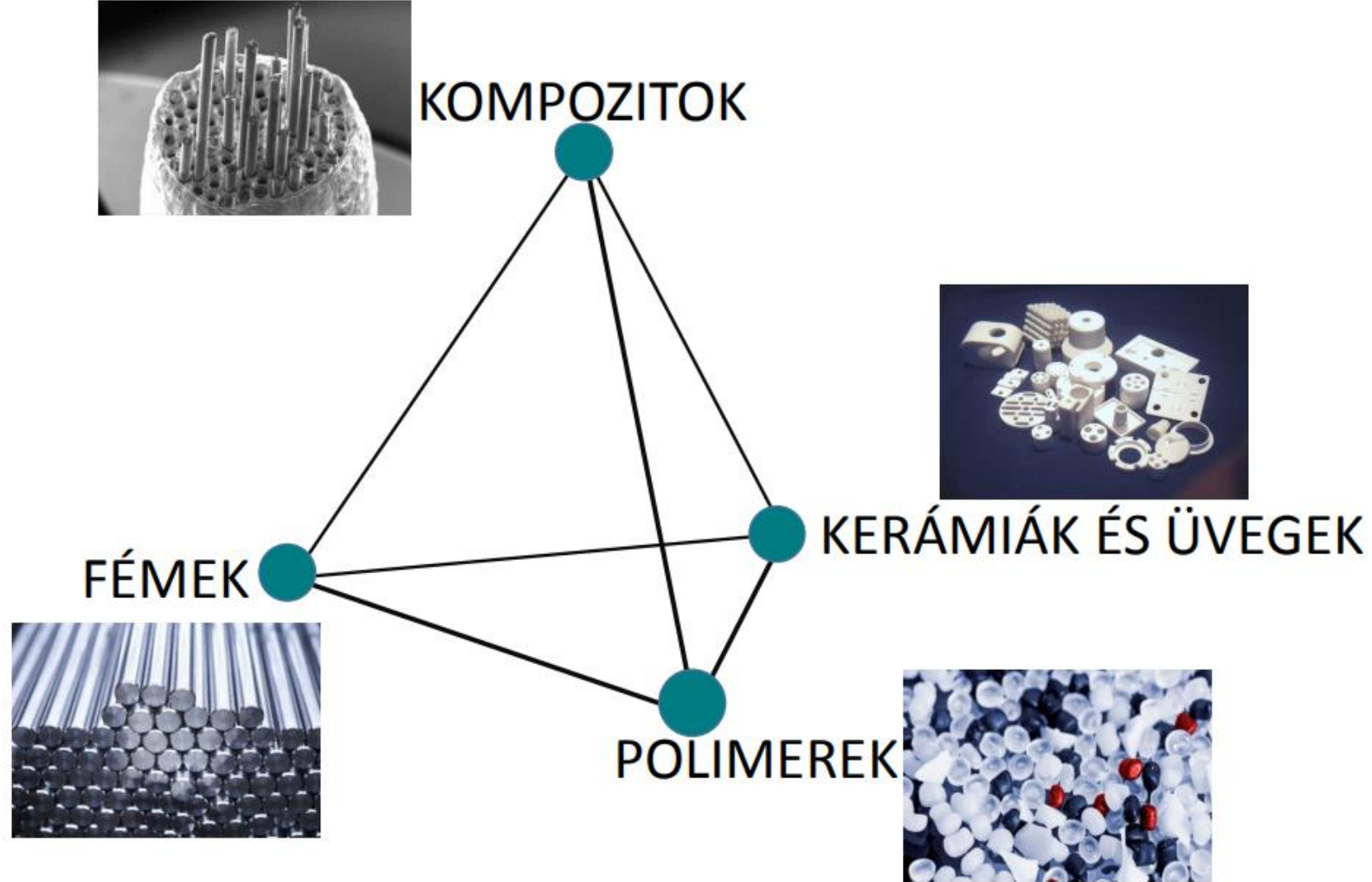
Fertőzés

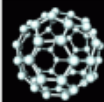


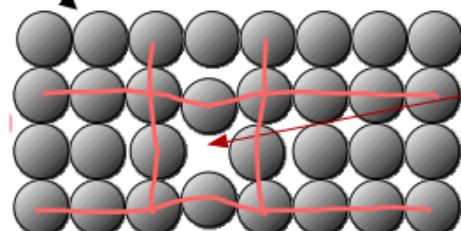
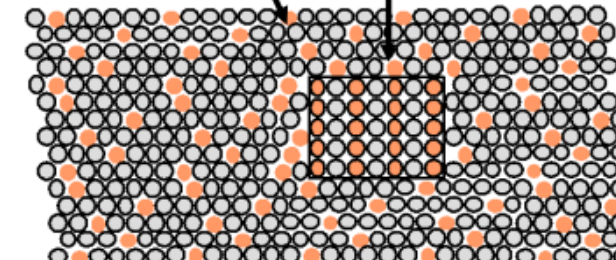
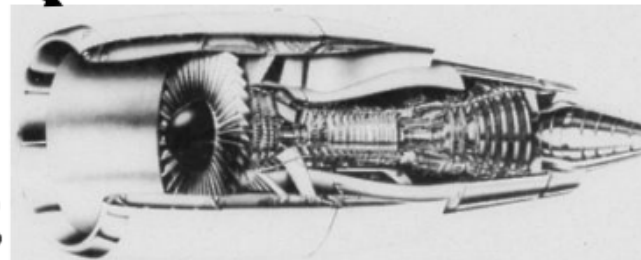
MRI égés



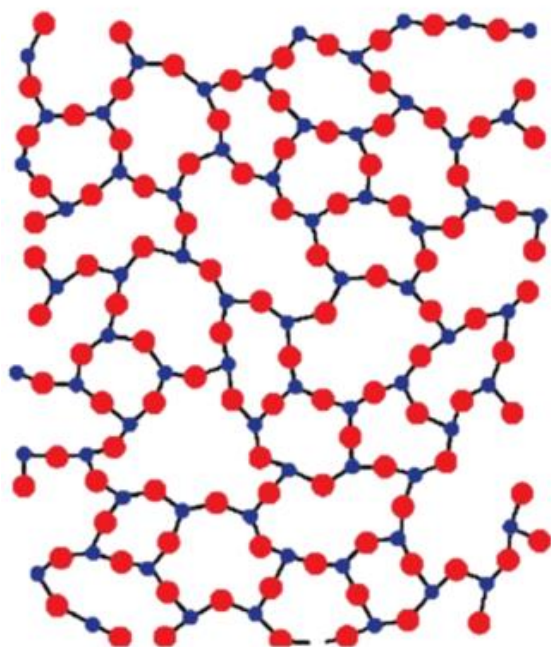
- Eredet szerint:
 - Természetes (állati, növényi, ásványi) – közvetlenül felhasználható
 - Mesterséges (pl. fémek, üveg, koksz) – közvetve, átalakítás után felhasználható
 - Szerves
 - Szervetlen
-
- Emberek szükségletei szerint:
 - Létfenntartáshoz szükséges (pl. víz, levegő, tápanyagok) ~ 23%
 - Energiahordozók (pl. kőszén, kőolaj, földgáz, urán, megújuló) ~31%
 - Ipari/mérnöki (fémek és ötvözeik, polimerek, kerámiák, kompozitok) ~46%
 - Technikailag hasznos tulajdonságú anyagok



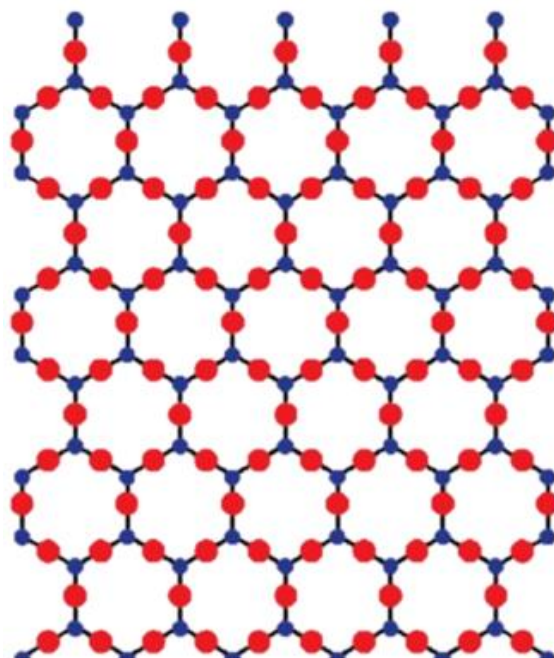
Szerkezeti jellemző	Dimenzió (m)
Atomi kötések  	$< 10^{-10}$
Üres rácshelyek, beékelődött atomok	10^{-10}
Kristályok (rendezett atomok)	$10^{-8} - 10^{-1}$
Második fázisú részecskék	$10^{-8} - 10^{-4}$
Mérnöki szerkezetek	$10^0 - 10^2$

Rövid távú rend
(amorf anyagok)



Hosszú távú rend
(kristályok)

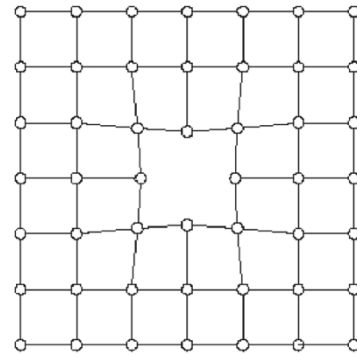


	Amorf anyag	Reális kristály	Tökéletes kristály
Tökéletes rendezetlenség	Rövid hatótávú rend	Hosszú hatótávú rend	Tökéletes rend

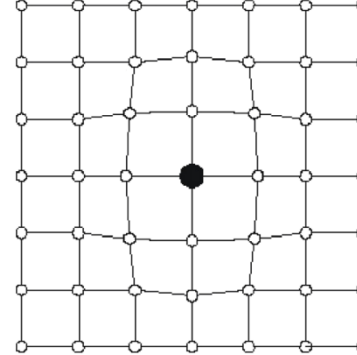


- Kristályhibák:

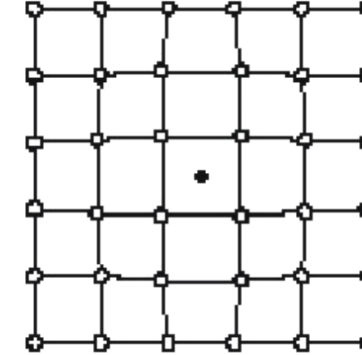
- Ponthibák (0D)
- Vonalszerű hibák (1D)
- Felületszerű hibák (2D)
- Térfogati hibák (3D)



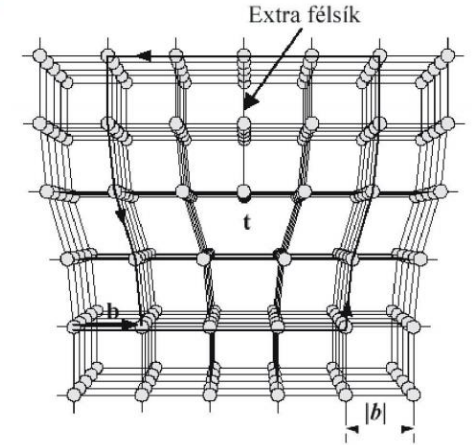
Vakancia (0D)



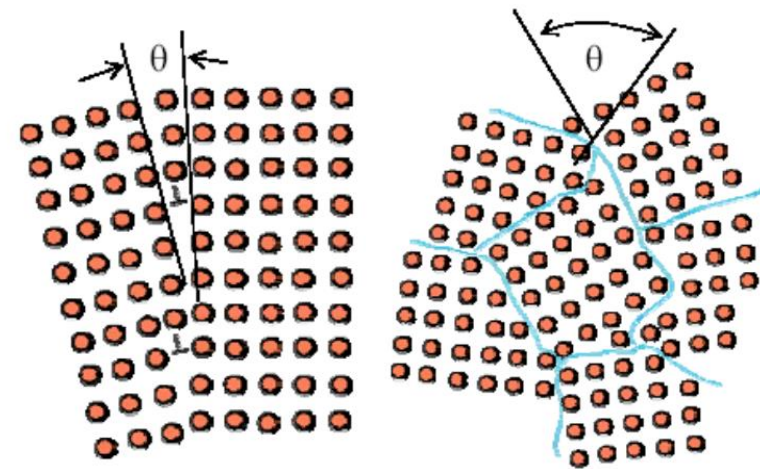
Szubsztitúciós
atom (0D)



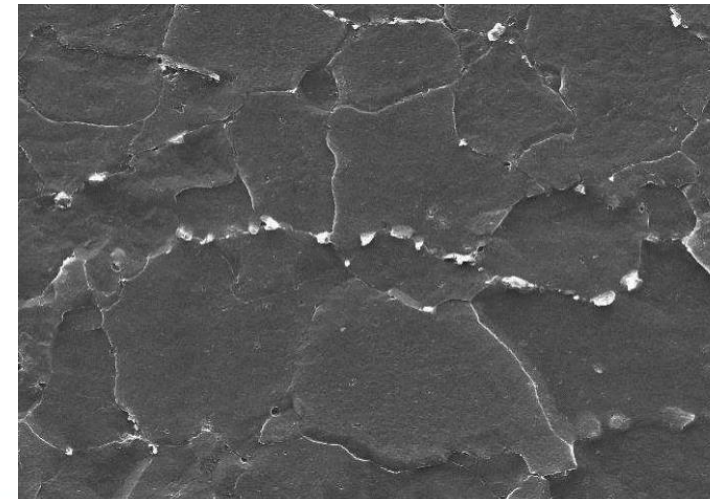
Intersztíciós atom
(0D)



Él dislokáció (1D)
Csavardislokáció (1D)
Vegyes (1D)

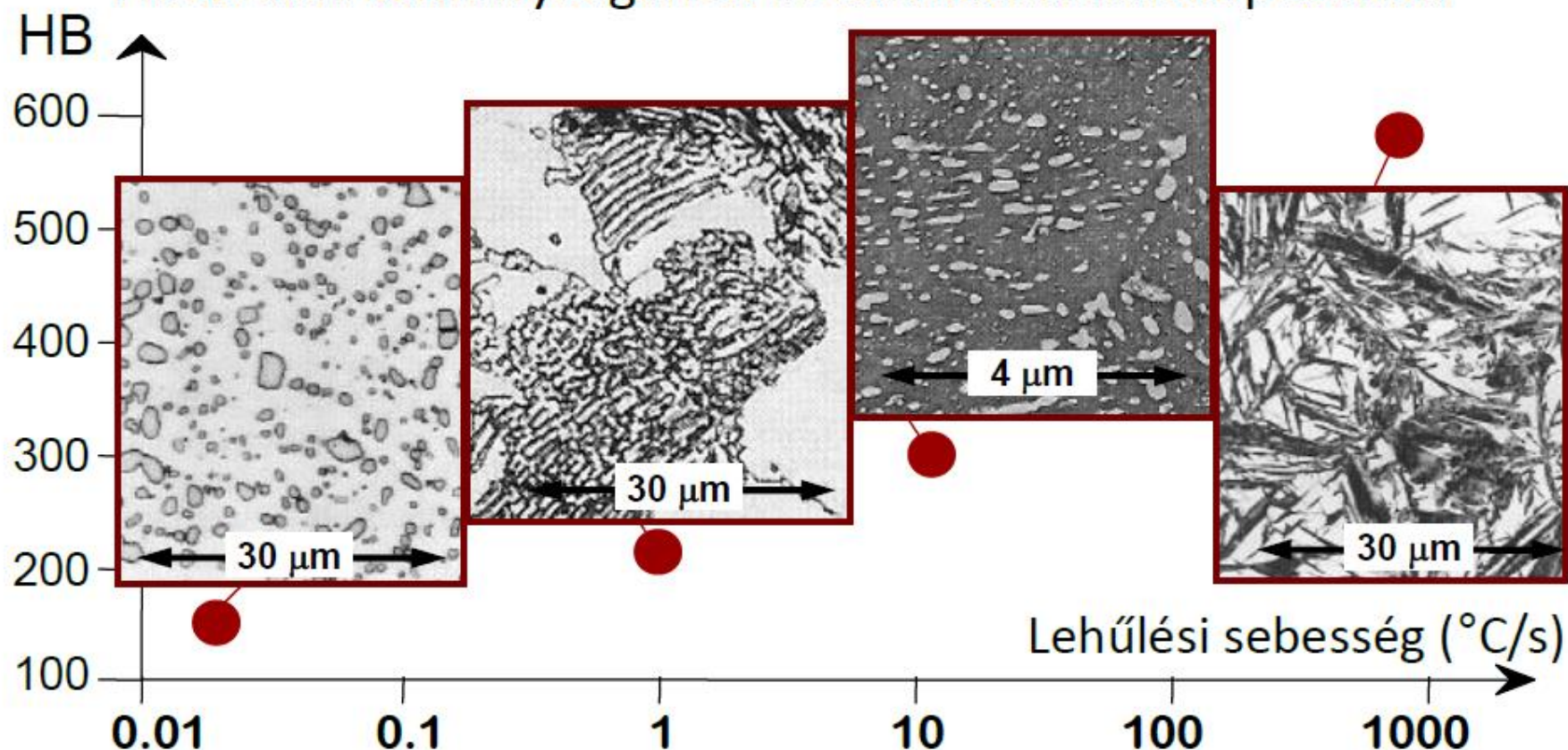


Kisszögű szemcsehatár (2D)
Nagyszögű szemcsehatár (2D)
Fázishatár (2D)



Üregek (3D)
Zárványok (3D)
Kiválások (3D)
Gázbuborékok (3D)

- Az anyag **tulajdonsága** függ a **szerkezetétől**;
Pl: az acél keménységének és szerkezetének kapcsolata



- Folyamat** is megváltoztathatja a **szerkezetet**;
Pl.: Szerkezetváltozás a lehűlési sebesség hatására

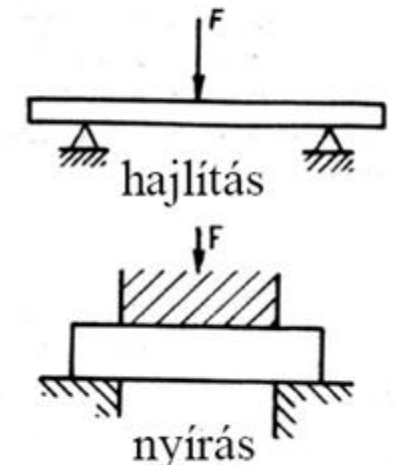
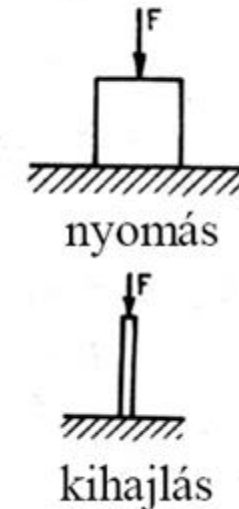
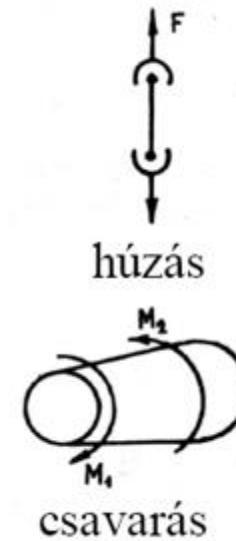
- **Mechanikai** (terhelés és alakváltozás hatása)
- Elektromos (elektromos tér hatása)
- Hő fizikai (hőmérséklet-mező hatása)
- Mágneses (mágneses tér hatása)
- Optikai (elektromágneses tér hatása)
- Károsodási (kémiai reaktivitás hatása)

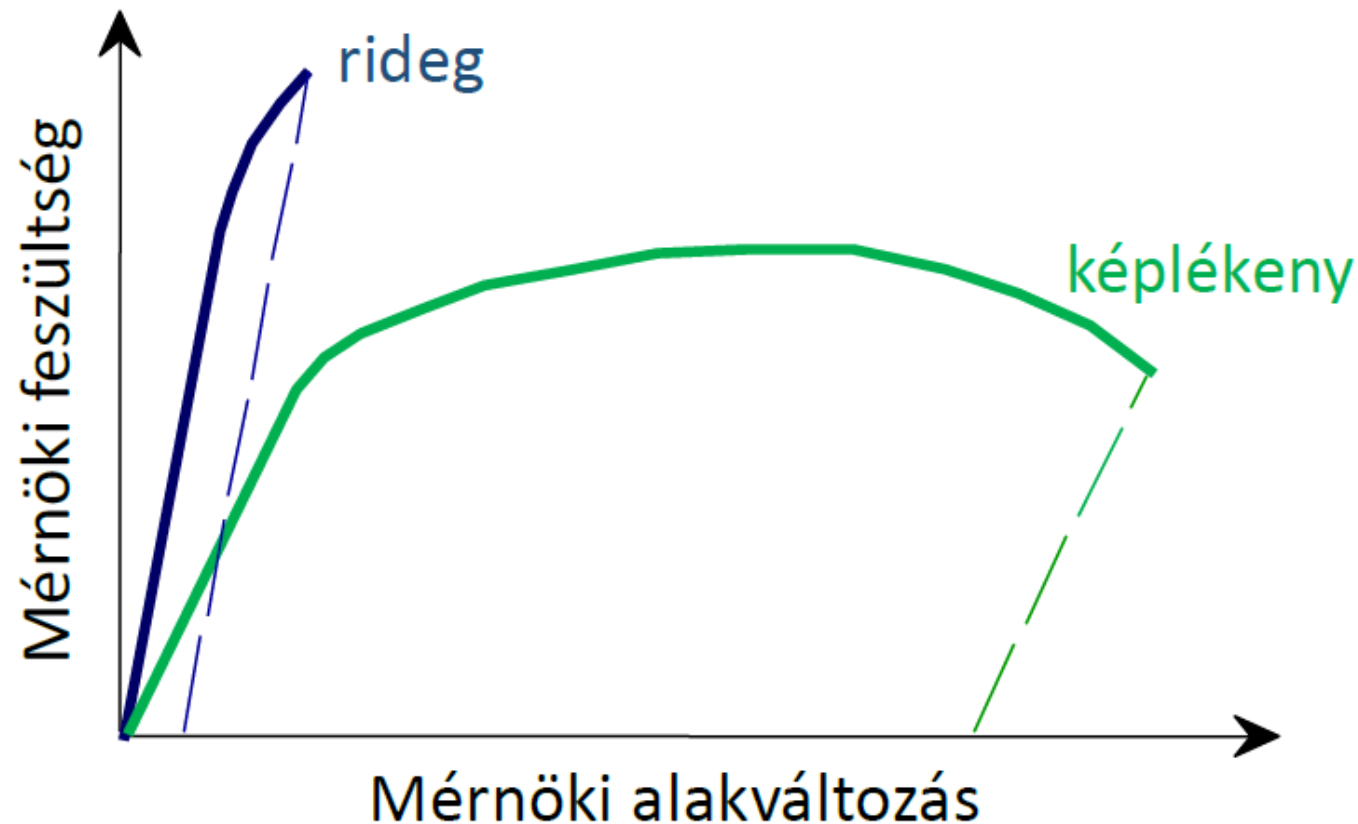
- Klasszikus fizikai anyagjellemzők (pl. rug.mod.)
- Anyagtól, állapottényezőktől függő, vizsgálati módszertől, anyag geometriájától független (pl. törési szívósság)
- Anyagtól, állapottényezőktől, vizsgálati módszertől, anyag geometriájától független (pl. keménység, nyúlás, folyáshatár)
- Technológiai tulajdonság, gyártási folyamatra való alkalmasságot kifejező

Igénybevételek

Mechanikai állapottényezők

- Hőmérséklet (T)
- Feszültségállapot
- Igénybevételi sebesség





ha a **maradó** alakváltozás **közel nulla**, akkor **rideg**

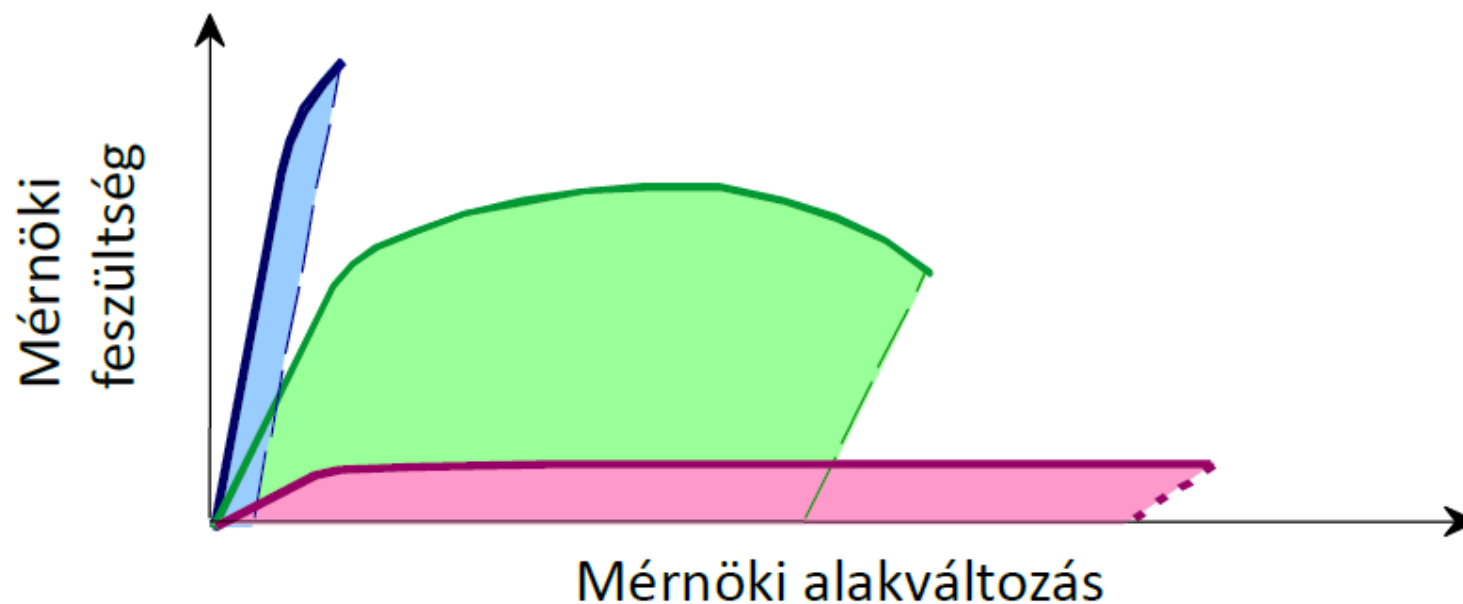
ha a **maradó** alakváltozás **jelentős**, akkor **képlékeny**

Az anyag törésig tartó energiaelnyelő képessége.

kerámia: kis szívósság (nagy szilárdság, rideg viselkedés)

fém: nagy szívósság (közepes szilárdság, képlékeny viselkedés)

polimer: kis szívósság (kis szilárdság, képlékeny viselkedés)



Statikus keménység

A (statikus) keménység fogalma:

- A vizsgált anyag ellenállása az adott geometriájú szúrószerszám behatolásával szemben.

Előnyei:

- Keménységi adatokból becsülhetők a szilárdsági és technológiai tulajdonságok.
- Viszonylag egyszerű, gyors.
- Gyakorlatilag roncsolásmentes.

A keménységmérés kivitelezése:

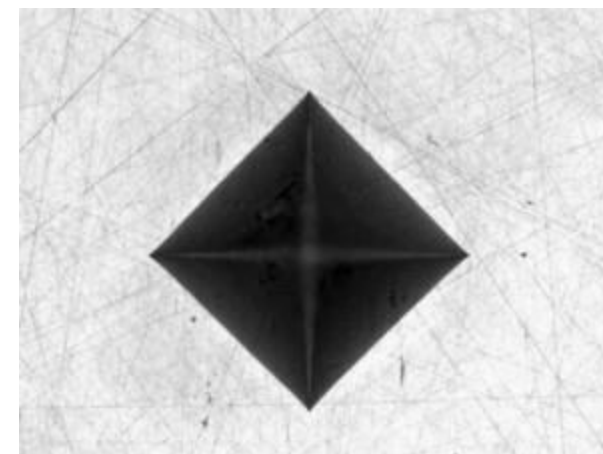
- Szúrószerszámmal benyomódást létrehozva (statikus).
- Rugalmas visszapattanást mérve (dinamikus).

Dinamikus keménység

Gyors, lökészerű erőhatással végzett mérések

Kivitelezés

- Szúrószerszámmal lenyomatot mérve
- Rugalmas visszapattanást mérve



Az anyag (Anyagtudomány, - technológia)

tömbi anyag kémiai
tulajdonságai, felület kémiai
tulajdonságai

felületi érdesség

felületi energia,
töltésállapotok

kémiai stabilitás, kémiai
degradáció termékei

degradációs termékek fizikai
tulajdonságai

Az eszköz (Gépészeti tervezés)

méret

alak (geometria)

rugalmassági modulusz

ridegség

A befogadó szövet, személy (Nem befolyásolható)

szövet típusa és
elhelyezkedése

életkor

nem

általános egészségi állapot

gyógyszerfogyasztás

A rendszer (Orvostudomány)

műtéti technika

implantátum-szövet
érintkezés

fertőzések

- **bioinert**: minimális kölcsönhatás a szövetekkel
- **bioaktív**: részben oldódik, ionáramlás a felületek között
- **biológiailag lebomló**: t idő után teljesen beleolvad a szövetekbe



Tiszta fémek

- arany
- titán
- platina

Ötvözetek

- Au-Ag, Au-Cu, Pt-Pd, Pt-Rh
- Ti-6Al-4V, Ti-Al-Nb
- Co-Cr-Mo, Co-Cr-Ni
- Fe-Cr-Ni (ausztenites korrózióálló acélok)
- 316L Biolan
- Hg-Ag-Sn (amalgám)

Kerámiák

- alumíniumoxid Al_2O_3
- porcelán ZrO_2
- pirolitikus grafit (bevonat, szál)
- hidroxipatit
- kalcium foszfát
- bioaktív üvegek

Polimerek

- szilikon
- PTFE (teflon)
- polietilén, poliuretán, PVC, poliészterek
- polipropilén
- polimetil metakrilát (PMMA)
- politejsav (PLA)

Kompozitok

- dimetakrilát/kvarc
- karbon szál erősítésű (hőre keményedő, lágyuló)

+ Ma már emberi/állati szövetek

4/2009 (III. 17.) EüM rendelet az orvostechnikai eszközökről

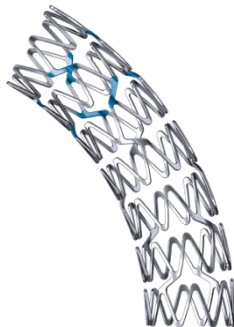
Orvostechnikai eszköznek nevezünk:

- Mindenfajta eszközt, terméket, készüléket, műszert, berendezést, sőt még anyagot és szoftvert is,
- amely emberen történő alkalmasra szolgál,
- gyógyászati (diagnosztikai vagy terápiás) célokból,
- az eszköz gyártójának szándéka vagy meghatározása szerint.

Implantátum



Protézis



- Jogszabály szerinti osztályozás
 - Orvostechnikai eszközök kockázati osztályba sorolása



I. osztály

- használat közben kevés kockázattal járó (úgynevezett alacsony rizikójú) eszközök, amelyek rendeltetésszerű alkalmazás esetén semmiféle látható megbetegedést, vagy sérülést nem tudnak okozni



II.a. osztály

- többnyire aktív diagnosztikai és terápiás eszközök, amelyek nem tekinthetők potenciálisan veszélyesnek



II.b. osztály

- potenciálisan veszélyes aktív diagnosztikai és terápiás eszközök



III. osztály

- nagy kockázattal járó eszközök, a többnyire sebészeti invazív úton beültetett eszközök

- Európai szabvány szerinti osztályozás
- Alkalmazás (felhasználás) szerinti osztályozás

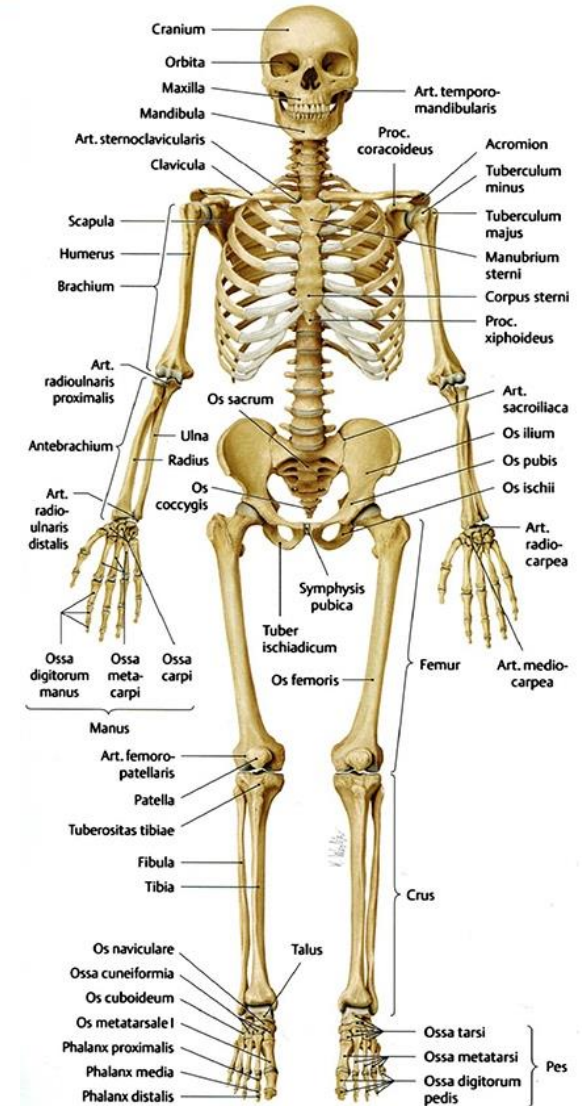
Az emberi szervezet vázát 205-208 nagy szilárdságú, de egyben rugalmas szerv (csont) alkotja, amelyek meghatározzák a test magasságát és a testarányokat. A csontok ezen kívül:

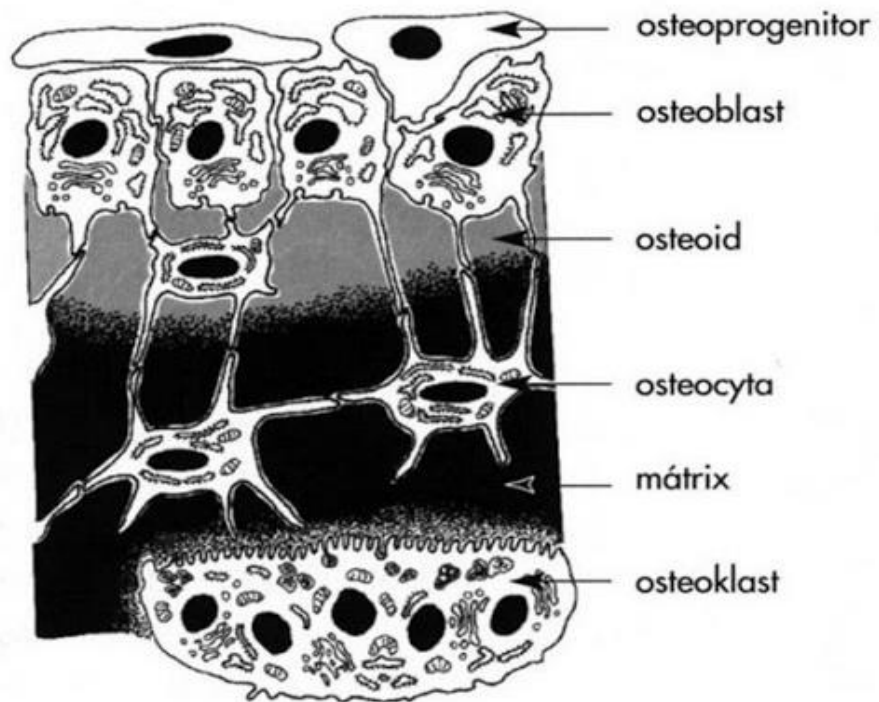
- Biztosítják az emberi test szilárdságát,
- A mozgás passzív szervei, rajtuk erednek és tapadnak a vázizmok,
- Üregeket képeznek és védik a létfontosságú szerveket,
- Üregbe zárják a csontvelőt,
- Részt vesznek a kalcium (Ca) és foszfor (P) anyagcserében.

A csontban raktározott Ca (a szervezetünkben található kalcium 80%-a itt raktározódik) és foszfor mobilizálható, a vérbe kerülve a szervezet különböző területein biztosítja az ionok megfelelő koncentrációját, s így a csontszövet meghatározó szerepet játszik a szervezet Ca-ion szabályozásában is.

A csont összetétele:

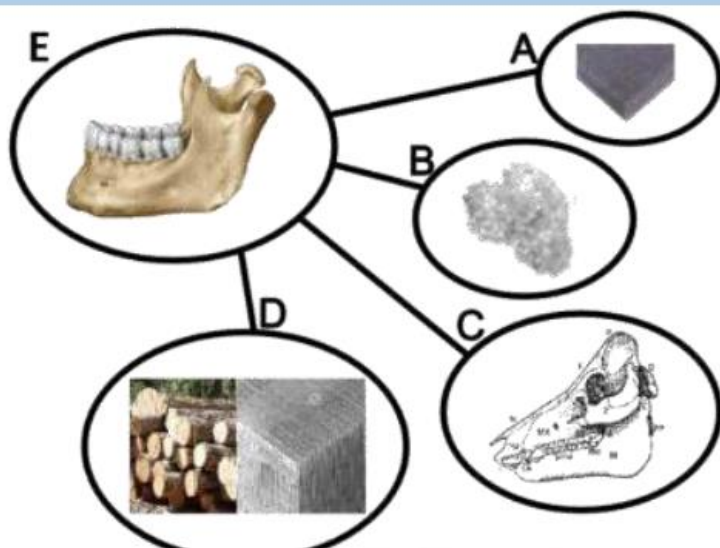
40% víz, 60% szárazanyag, Mg és Ca foszfát, karbonát, fluorid



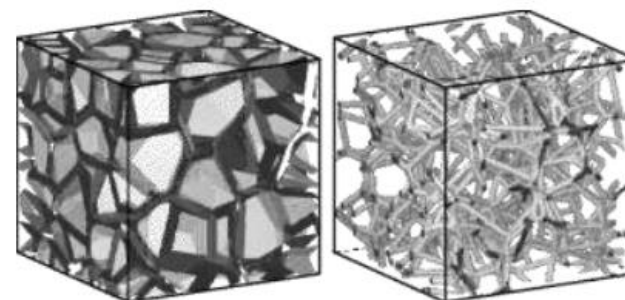
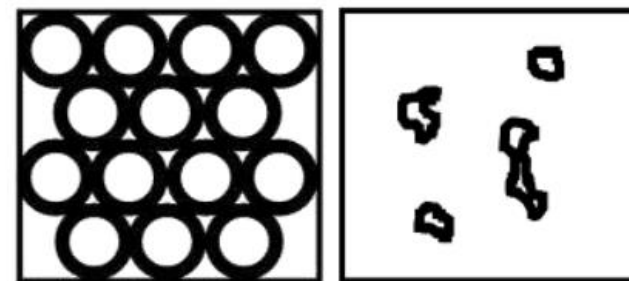


- **Oszteoprogenitor sejt:** differenciálatlan kiindulási sejt. Bizonyos stimulusok hatására differenciálódik, és csontépítő-sejtté, oszteoblasztta alakul.
- **Oszteoblaszt sejt** (csontépítő): csontállomány felépítéséért felelős. Az általa termelt osteoid szövet kollagén rostjai keresztbekötődnek egymással, így kialakul egy vázszerkezet, amelyhez a többi fehérje kötődhet. Ezután szervetlen sók beépülésével (mineralizáció) az oszteoblasztok csontsejtekké, oszteocitákká differenciálódnak.
- **Oszteocita sejt** (csontsejt): vékony, hosszú nyúlványokkal rendelkező lapos, szilvamag alakú érett csontsejt. Mechanikai érzékelőként is működik. Mechanikai nyomás, húzó- és nyíróerők hatására a csontsejt és a csontépítősejt-rendszer fokozottan kezd működni, utasítják a csontfalósejteket, hogy építsék le a csontszövetet, cél: csont átépítése, megerősítése.
- **Oszteoklaszt sejt** (csontfaló): a csontok fiziológiás átépülésében vesznek részt, a pusztuló csontállomány eltávolítását végzik.

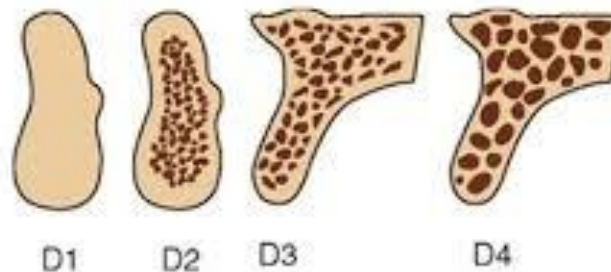
Graftok

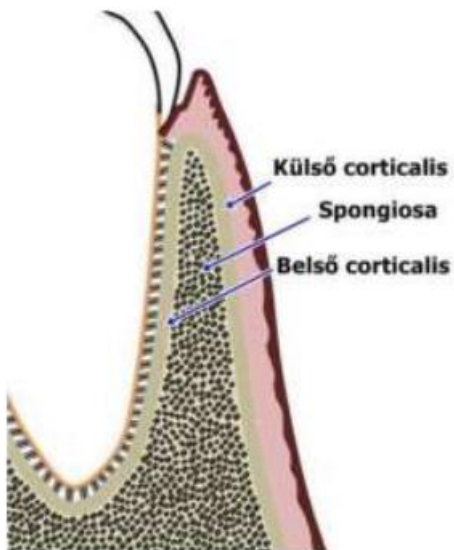
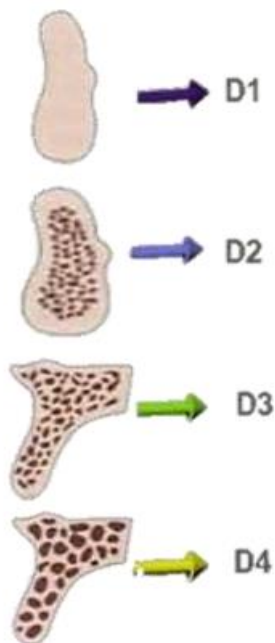
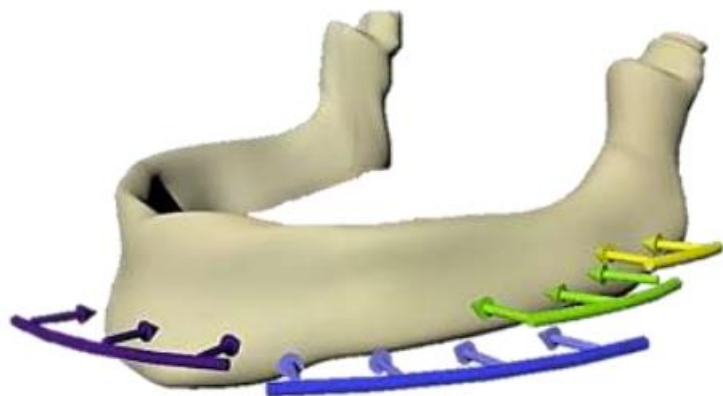


- A – Polimerek (*PUR*)
- B – Csontgraftok (*csontörlemény*)
- C – Állati csontok (*sertés*)
- D – Celluláris anyagok (*fa*)
- E – Élő csont (*ember*)

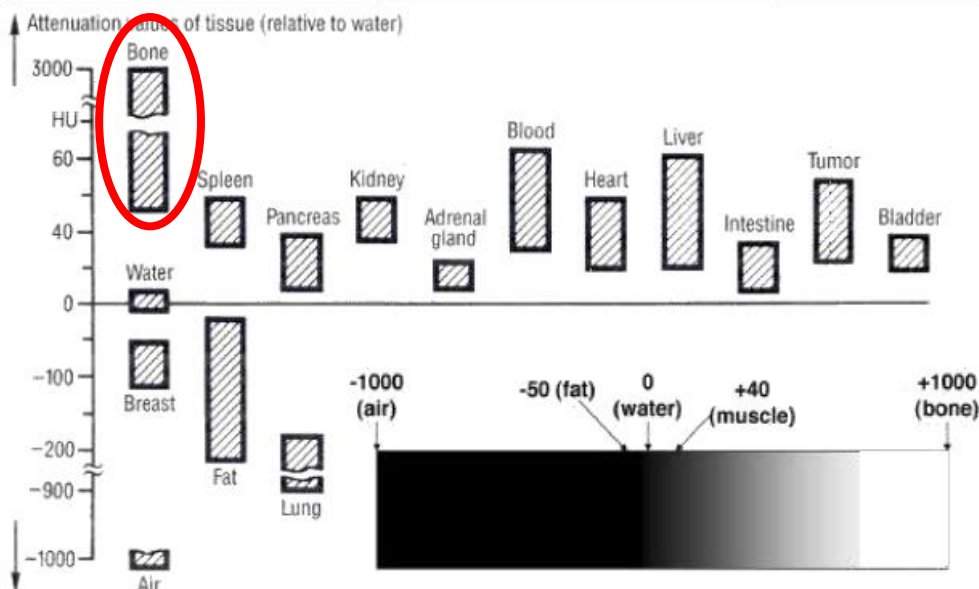


D1	szilárd, sűrű corticalis réteg
D2	sűrű vagy porózus corticalis réteg durva szemcsés spongiosa állománnyal
D3	vékony porózus corticalis kéreg és finom szemcsés spongiosa állomány
D4	finom szemcsés spongiosa
D5	éretlen, ásványosodás nélküli csont





Csont sűrűség	Megnevezés	Típusos anatómiai helyek	CT értékek (Hounsfield)
D1	Sűrű kortikális	Anterior mandibula	>1250 HU
D2	Porózus kortikális, durva trabekulák	Anterior és posterior mandibula, anterior maxilla	850-1250 HU
D3	Porózus kortikális, finom trabekulák	Anterior és posterior maxilla, posterior mandibula	350-850 HU
D4	Finom trabekula szerkezet	posterior maxilla	150-350 HU



Oszteodenzitometria

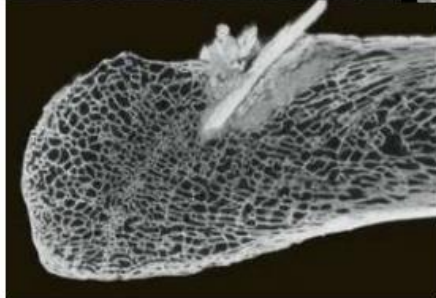
Csontpótló sebészeti beavatkozásokra betegségből vagy baleseti okból bekövetkező csontvesztés esetén, vagy szájsebészeti beavatkozások előtt a csontállomány javítása céljából van szükség.



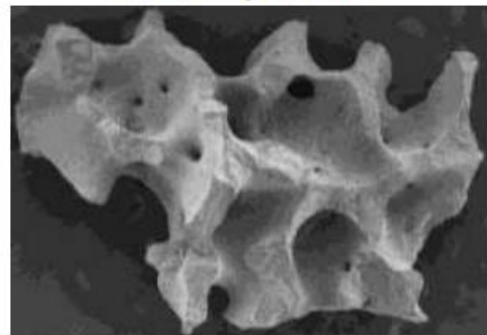
Csontvelő
átültetés

- 1) Emberi alapszövet
- 2) Állati eredetű szövetpreparátum
- 3) Mesterséges anyagok

Csont



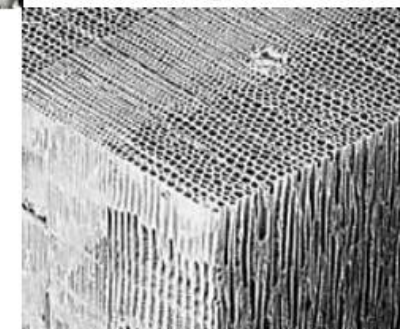
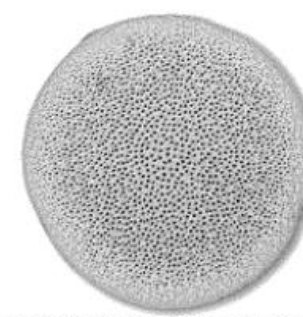
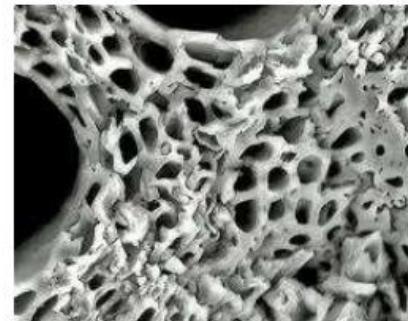
Csontpótlók



PUR



Fa

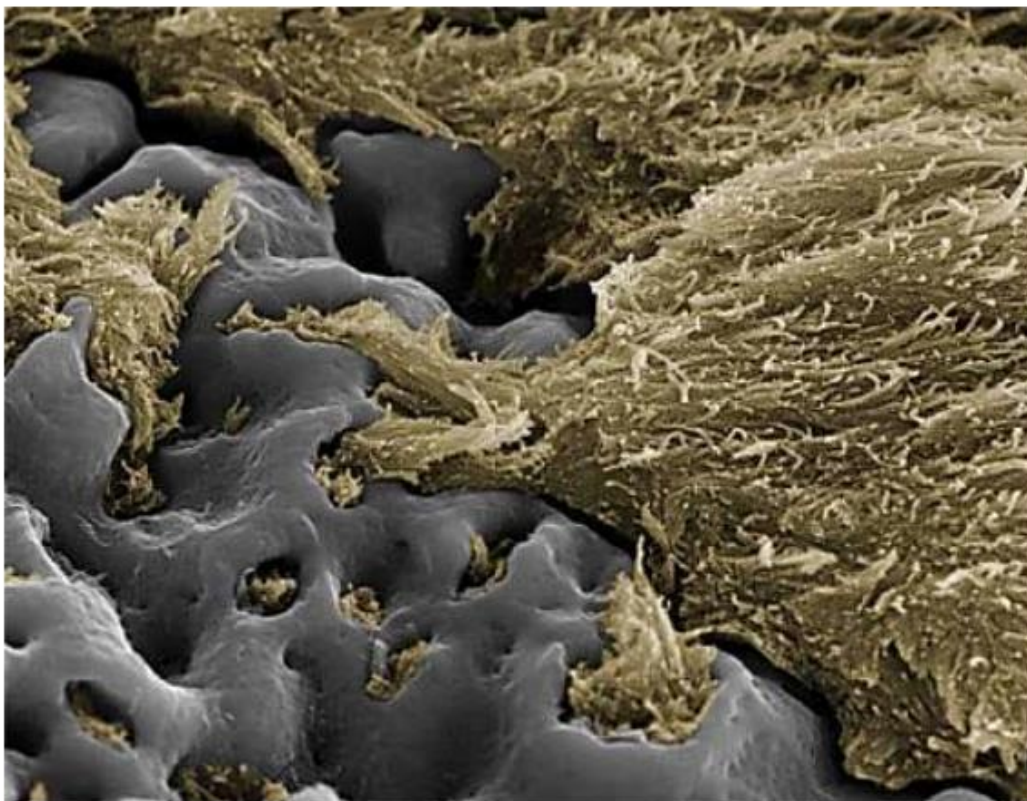


3D nyomtatott struktúra



Implantátum felülete és a csontszövet között létrejövő kémiai és fizikai kapcsolatot nevezzük összefoglaló néven,

Osszeintegrációnak



- Biokompatibilis anyagból készült implantátum
- Az implantátum felületének megfelelő makroszkópikus és mikroszkopikus kialakítása
- Csontminőség
- Sebészeti technika
- Zavartalan gyógyulási fázis

Anyagok:

- Mérlegelni kell, hogy az eszköz végleg bent marad, vagy csak ideiglenesen
- **Titán: kiváló csontosodás, könnyű, idős betegeknek, csonttritkulás esetén, nem eltávolítandó eszközök**
pl. gerinccsavar, lemezek, drótok, stb.
- **Acél: olcsó, biokompatibilitása kvázi megfelelő, hosszabb távon korrózió lép fel, gyenge csontosodás, ideiglenes**
pl. lemezek, csavarok, drótok
- Kerámia: ridegsége miatt csonttrögztítésre nem alkalmas
- Polimer: nem jó csontosodás, nem megfelelő szilárdság

- **Kulcscsonttörés:** könnyen törik, mert bőr alatt közvetlenül helyezkedik el, könnyen felismerhető, nagyfokú fájdalommal jár
- **Felkar- és alkartörés:** felkarcsont vállízületi végén, középső részén, könyökízületi végén alkart az orsócsont és a singcsont alkotja, külön-külön és együtt is törhetnek
- **Csuklótörés:** sokszor nem kerül rögtön felismerésre, nagy alaki változással nem jár, ezért a beteg későn kerülhet orvoshoz
- **Bokatörés:** törhet külboka, belboka és sípcsont hátsó része, törés tünetei könnyen felismerhetők, mert az érintett végtagját a beteg nem, vagy csak nehezen tudja terhelni
- **Lábujjtörés:** ált. erőbehatás helyén keletkezik, a törés azon ritka csontsérülések közé sorolhatjuk, melyeknél rögzítés nem feltétlenül szükséges, de fájdalomcsillapítás, felpolcolás azonban célszerű

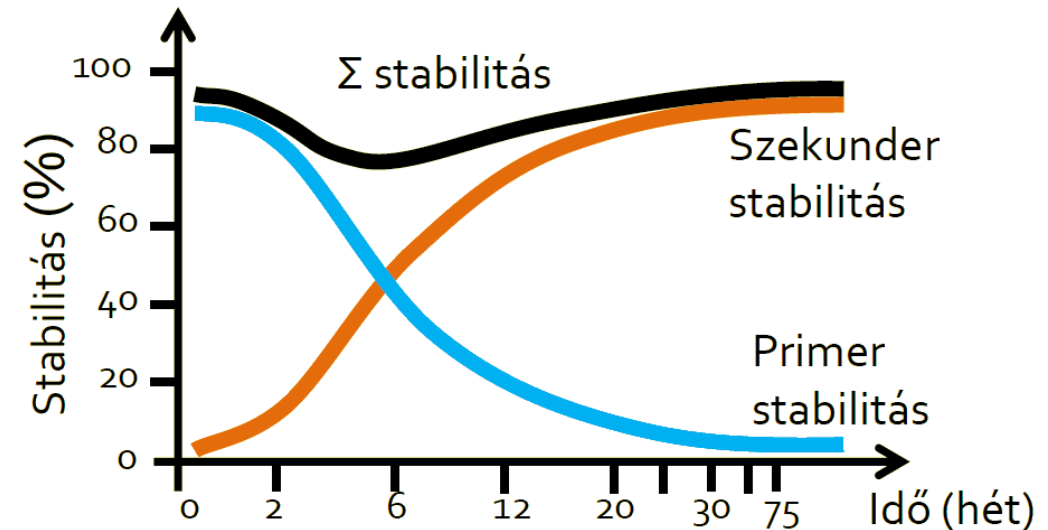
Primer stabilitás (mechanikai)

- műtéti technika,
- egyén csontsűrűsége,
- egyén csontstruktúrája,
- implantátum kialakítása,
- implantátum felülete.

Mérése:
Ostell – Rezonancia
frekvencia analízis (RFA)
Periotest – Visszaverődésen
alapul

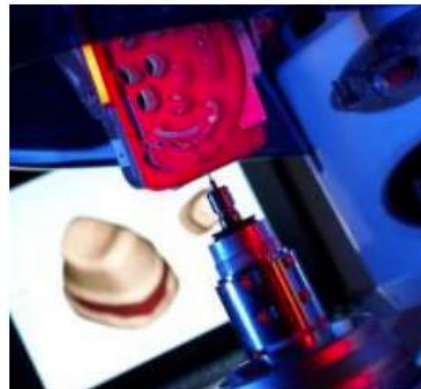
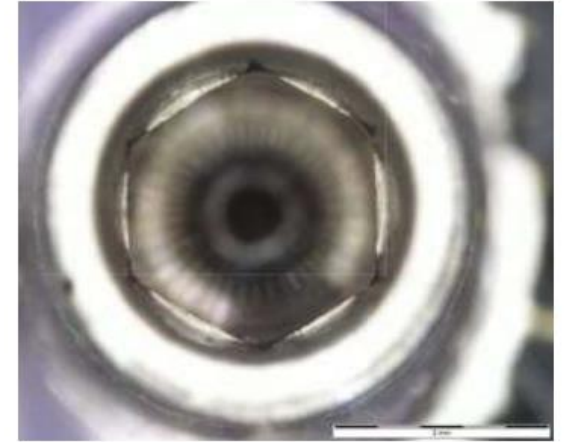
Szekunder (biológiai) stabilitás

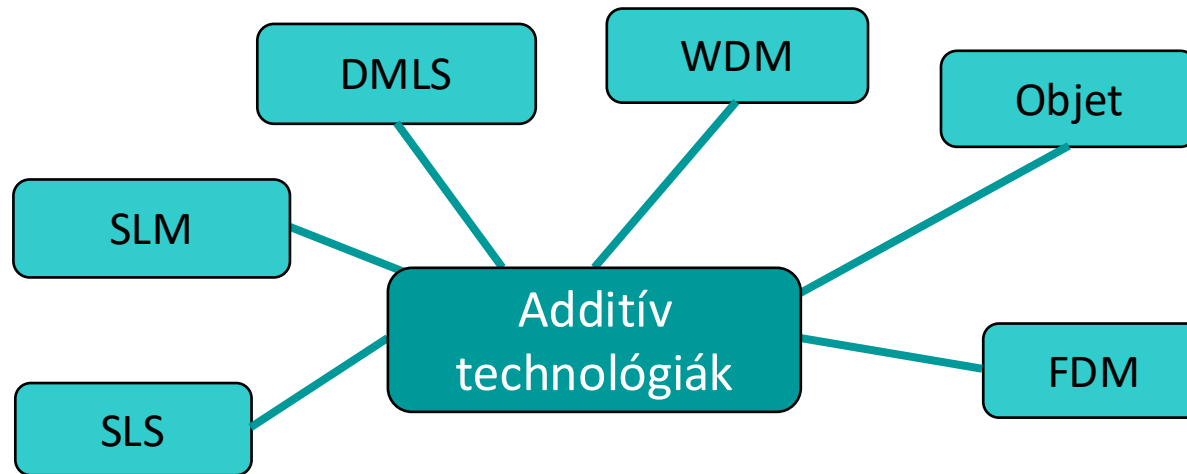
- implantátum alapanyaga,
- implantátum terhelhetősége,
- az egyén egészségi állapota,
- egyén csontregenerációs képessége

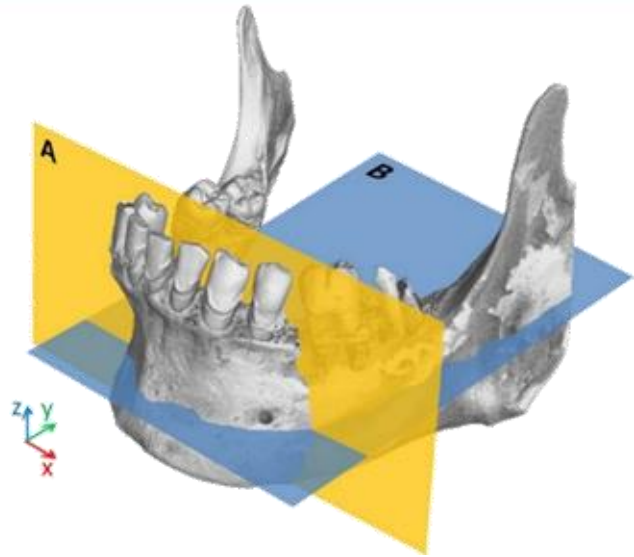


Szubtraktív technológiák:

- Marás
- Esztergálás
- Fúrás
- + Többtengelyes megmunkáló központok

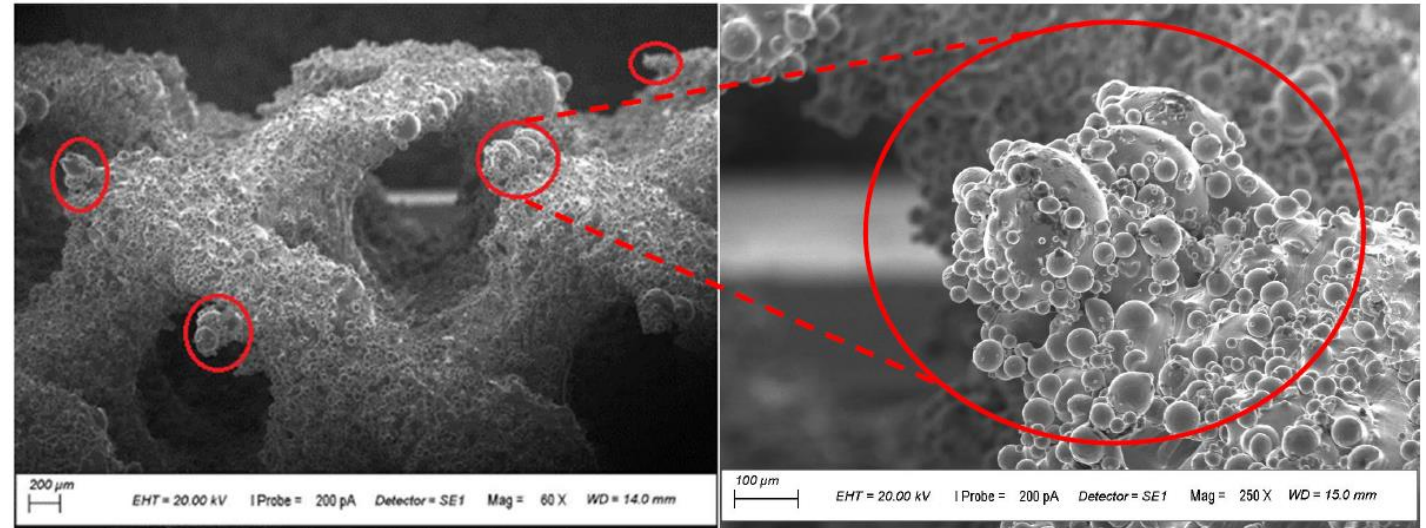
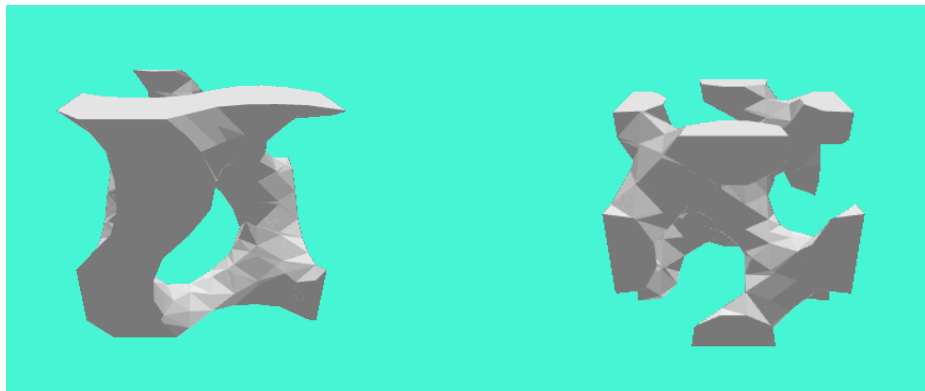
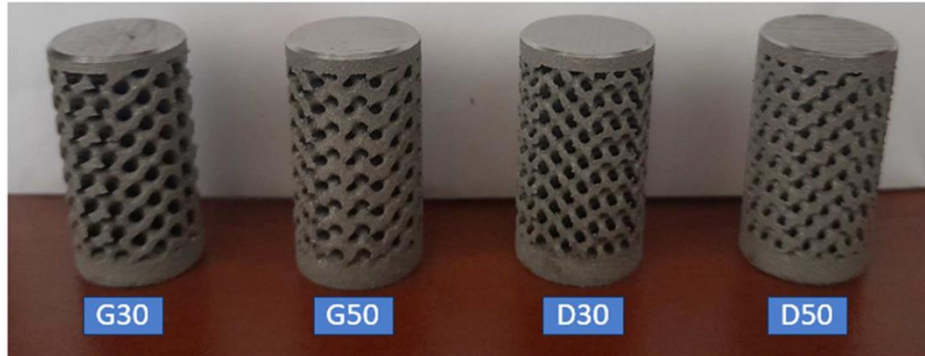


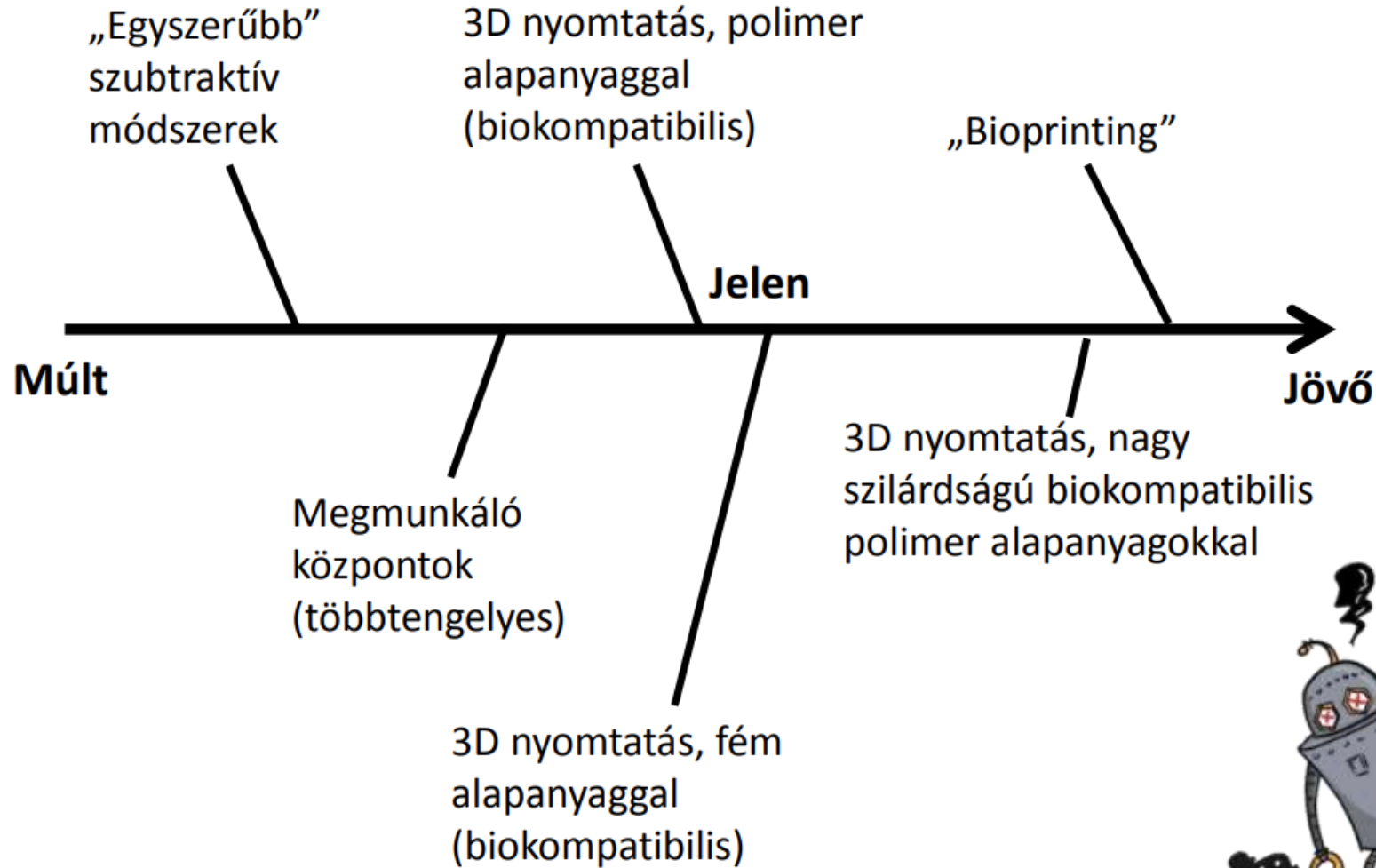




Cellás szerkezetek

- Beállítható sűrűség, topológiai optimalizálás – rugalmassági modulusz – feszültségárnyékolás elkerülése
- Korábban csak matematikailag leírható szerkezetek gyártása





Miért szükséges?

Biofunktionalitás, biokompatibilitás javítása!

Mit módosíthatunk vele?

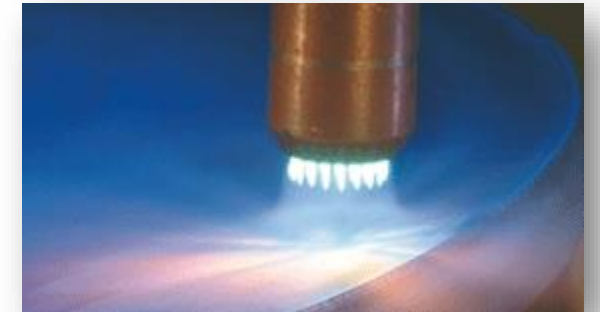
- Keménység
- Kopásállóság
- Súrlódási tulajdonságok – felületi érdesség
- Kémiai összetétel – korrózióállóság, bioaktivitás
- Felületi energia
- Töréssel szembeni ellenállás

Pozitív anyagtranszport (anyagfelhordás)

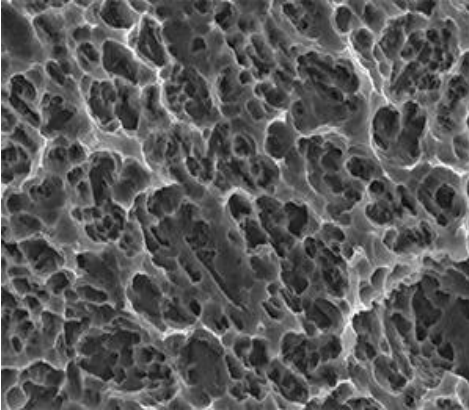
- Termikus szórás (lángszórás, plazmaszórás, robbantásos szórás)
- Bevonás bioaktív anyaggal (PVD, CVD, elektrokémiai)
- Ionimplantáció, ion mixing

Negatív anyagtranszport (anyageltávolítás)

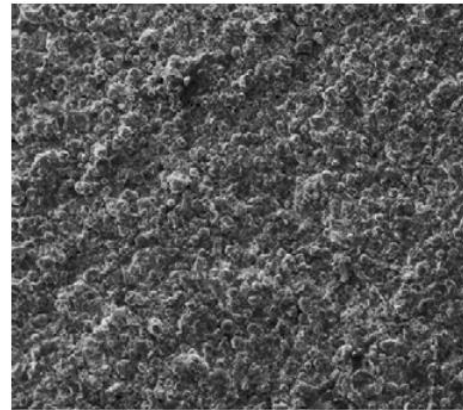
- Kémiai, elektrokémiai kezelés (maratás, elektropolírozás, eloxálás, anodizálás)
- Szemcseszórás
- Lézeres felületkezelés



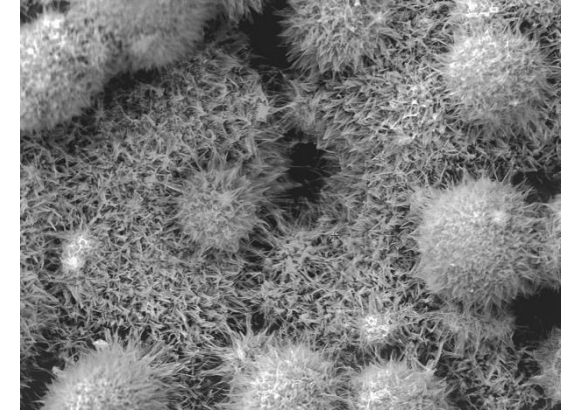
Homokkal szórt



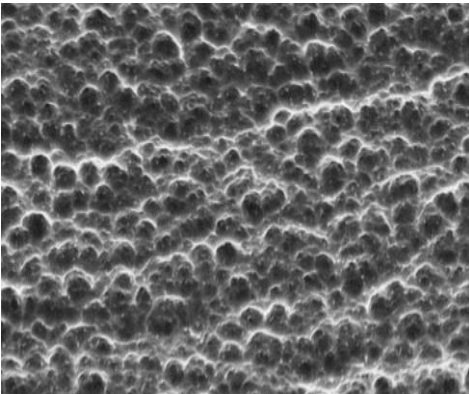
Plazmaszórt



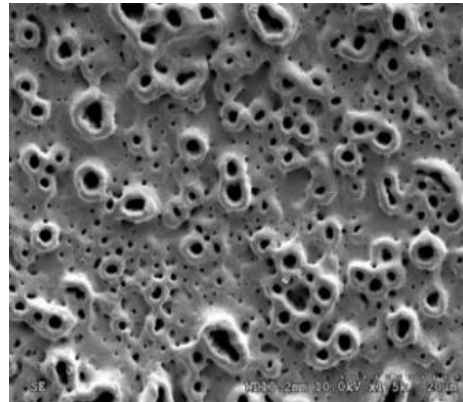
Elektrokémiaailag bevont



Kémiaailag maratott



Anodizált



Lézeres

