



**SEMMELWEIS EGYETEM**

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,  
Nanokémiai Kutatócsoport

# Biokompatibilitás, biodegradabilitás, polimerek, gélek és nanorészecskék (orvosi alkalmazások)

Jedlovsky-Hajdú Angéla

2021.03.16.

# Polimerek - Makromolekulák



Kolloid asszociátumok, vagy kovalens  
kötésű molekulák?



**Hermann Staudinger** (1881- 1962)

The Nobel Prize in Chemistry 1953

Makromolekulák szerkezetét kialakító kémiai kötések minden tekintetben egyenértékűek a kismolekulájú anyagok hasonló kémiai környezetben lévő kötéseivel.

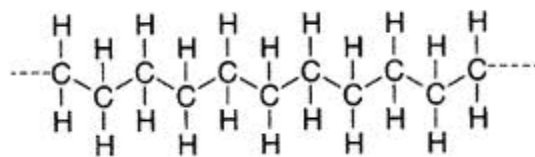
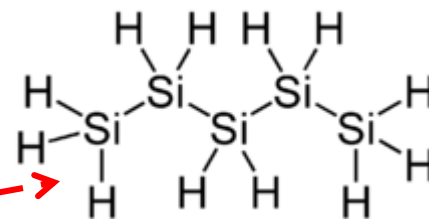
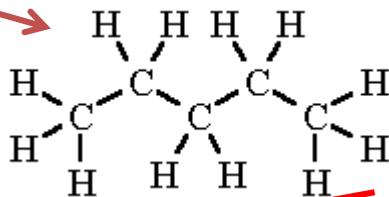
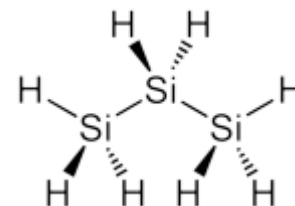
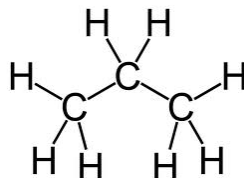
Valamennyi elem közül a **szén az egyetlen, amelynek atomjai korlátlan számban kapcsolódhatnak közvetlenül egymással**, a létrejövő molekulák stabilitásának csökkenése nélkül.

Ismétlés

# Szerves és szervetlen polimerek

kötési energiák; kJ/mol

kötés	Energia kJ/mol
C-C	345
C-O	350
C-N	290
C-P	265
Si-Si	226



*poliszilán*  
**Nem stabil!**

Nagyobb kötési energia  
stabilabb molekula!

Ismétlés

# Konstitúció - konfiguráció - konformáció

szintetikus  
polimerek



biológiai  
makromolekulák

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-

Homopolymer

A-B-A-A-B-B-B

Random copolymer

A-A-A-A-B-B-B-B-B

Block copolymer

A-A-A-A-A

B  
B  
B

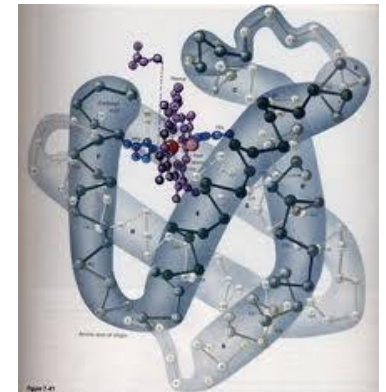
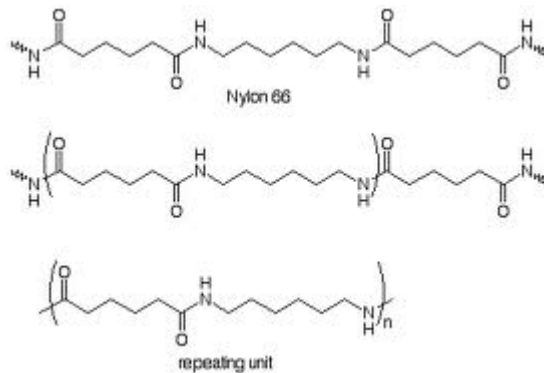
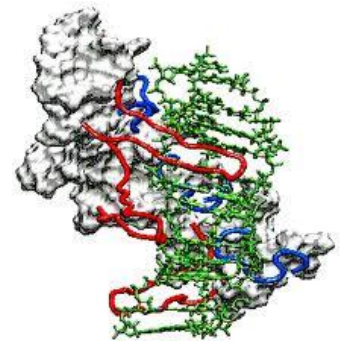
Graft polymer

DNS:

négy különböző  
monomer egység

fehérjék:

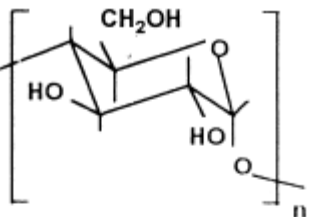
húsz különböző  
aminosav



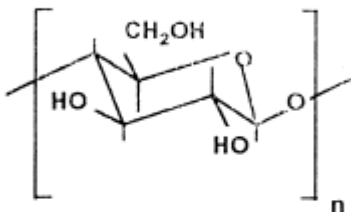
# Természetes - mesterséges polimerek

Pl: poli(szacharidok)

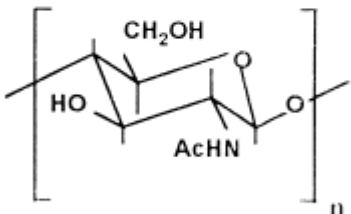
keményítő



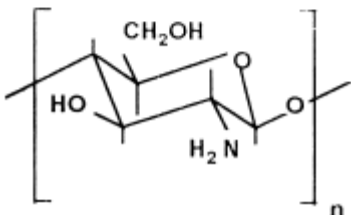
cellulóz



kitin

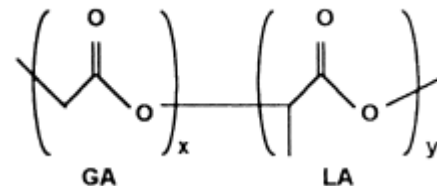


kitozán

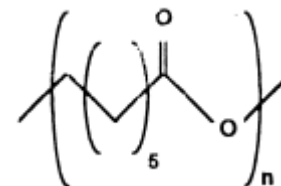


Természetes eredetű:

Poli(glikol-kotejsav)



Poli(kaprolakton)



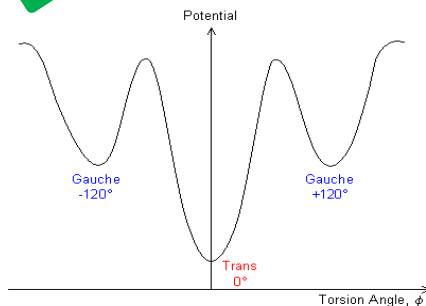
Mesterséges:

Poli(vinil alkohol), poli(vinil-acetát), poli(akrilátok), poli(észterek), poli(amidok), poli(uretánok)...

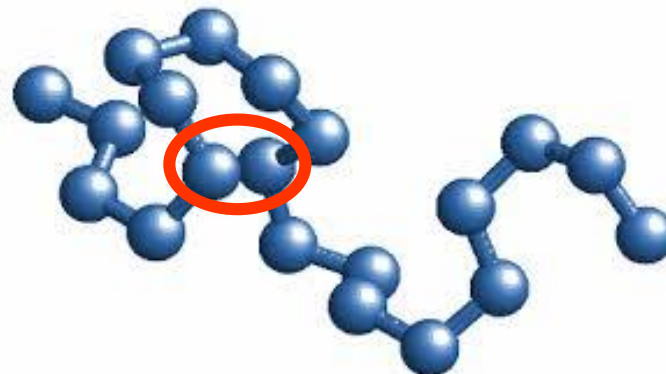
# A térszerkezetet meghatározó alapvető kölcsönhatások

**Makromolekulák** szerkezetét kialakító **alkohol** **kötések** és **molekuláris kölcsönhatások** minden esetben egyenértékűek a **kismolekulájú** anyagok hasonló kémiai környezetben lévő kötéseivel és csoportjainak kölcsönhatásaival.

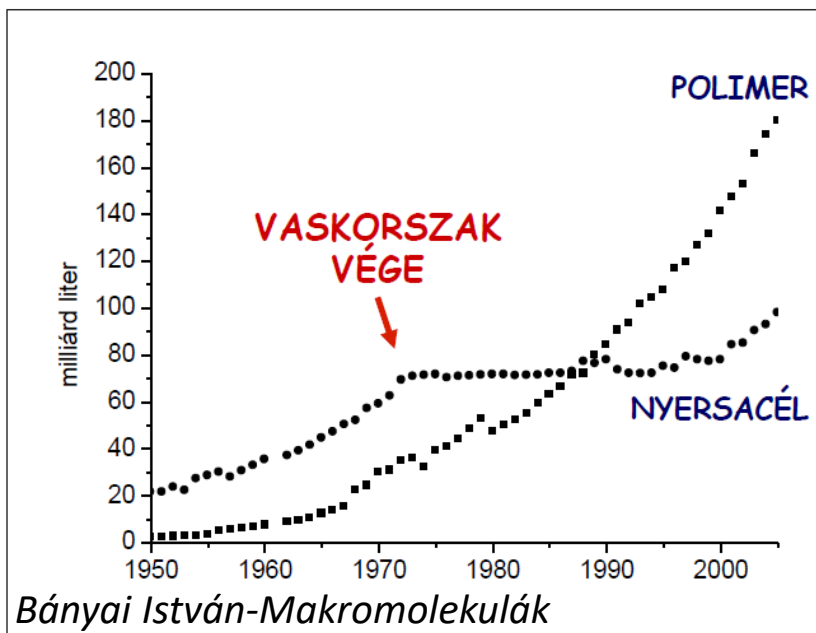
## Rövidtávú kölcsönhatások



## Hosszútávú kölcsönhatások



# Polimerek felhasználása



## A POLIMEREK TERMELÉSÉNEK ALAKULÁSA A VILÁGON

- 1950 1 millió tonna
- 2010 >260 millió tonna

## MAGYARORSZÁGON

1960 - 12 ezer tonna  
2000 - 1 millió tonna  
2007 - 1,4 millió tonna

**MAGYARORSZÁGON A LEGNAGYOBB TERMELÉSI ÉRTÉKŰ VEGYIPARI ÁGAZAT→**

**POLIMER IPAR**

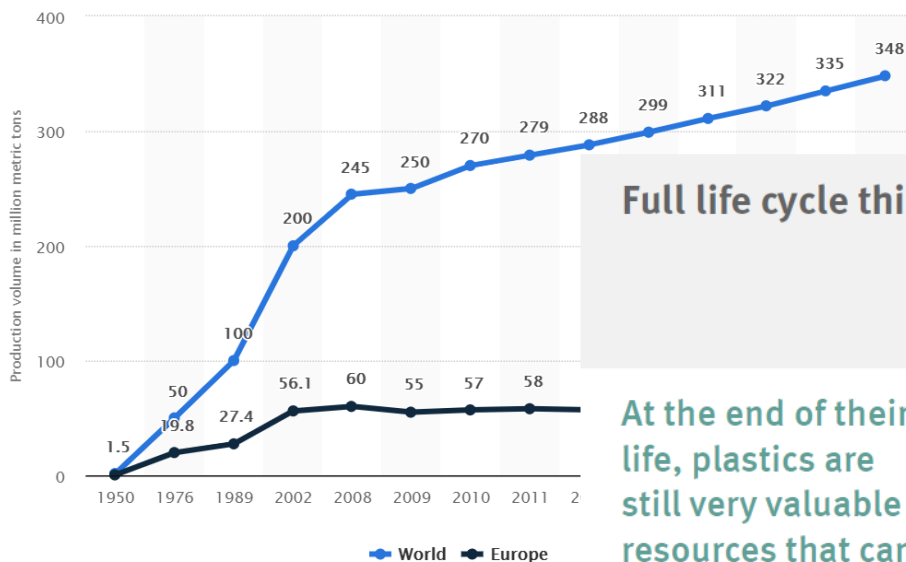
**POLIMER (MŰANYAG) IPAR: ~600 Mrd Ft/év**

**GYÓGYSZERIPAR: ~500 Mrd Ft/év**

lágú – rugalmas – kemény  
például:

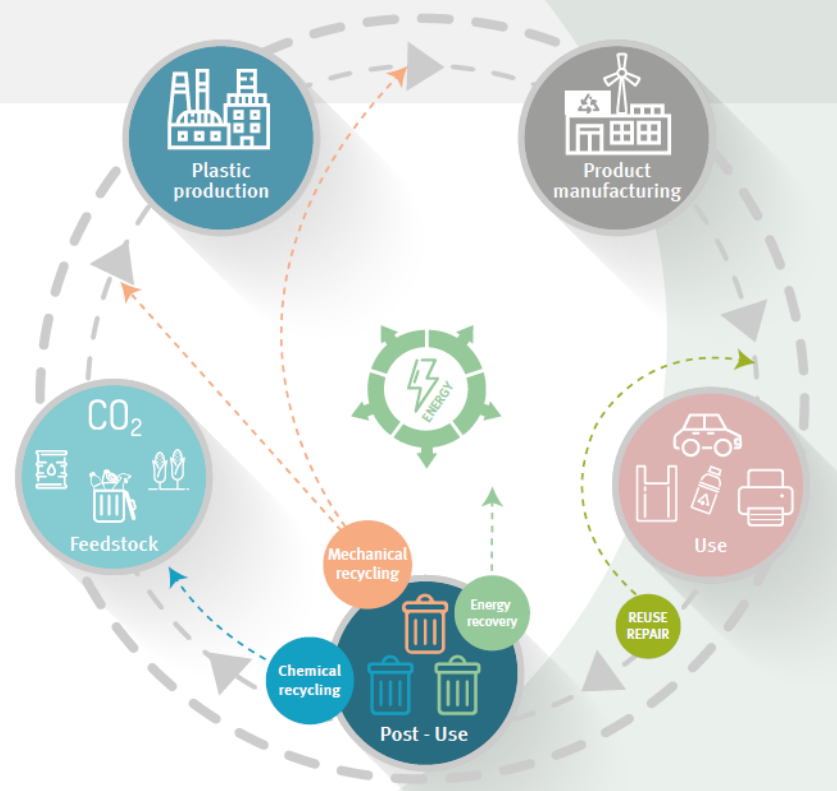
kontakt lencse, pelenka – gumik – golyóálló mellény anyaga

# Műanyagok felhasználása



Full life cycle thinking is smart thinking

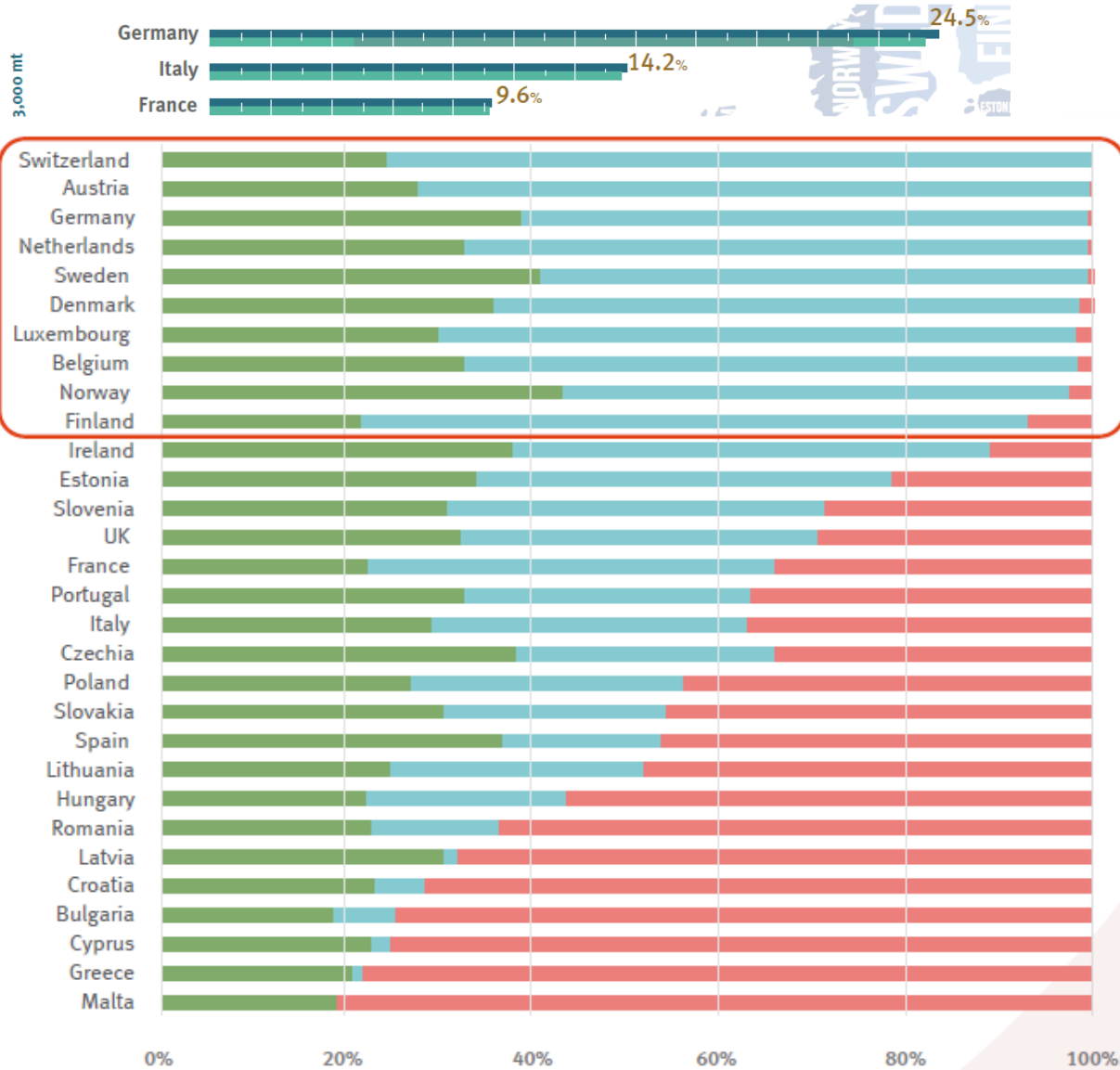
At the end of their life, plastics are still very valuable resources that can be transformed into new feedstock or into energy.



<https://www.statista.com/statistics/2/global-production-of-plastic-1950/>

[https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)



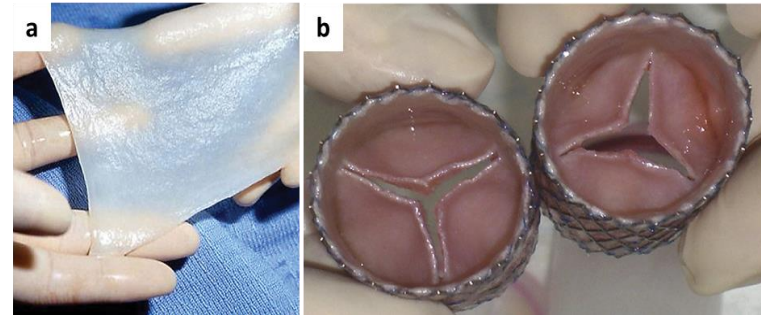


**Plastic post-consumer waste rates of recycling, energy recovery and landfill per country in 2016**

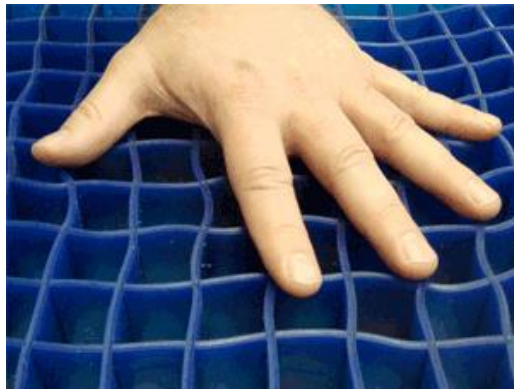
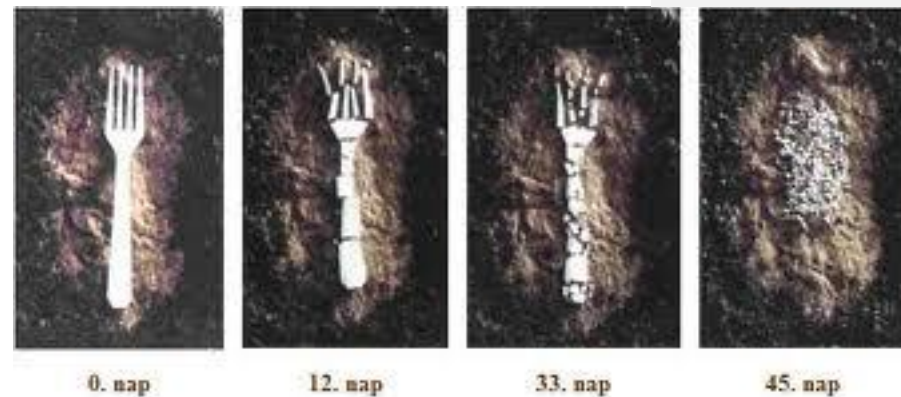
# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

**Kritériumok → felhasználás/cél függő**

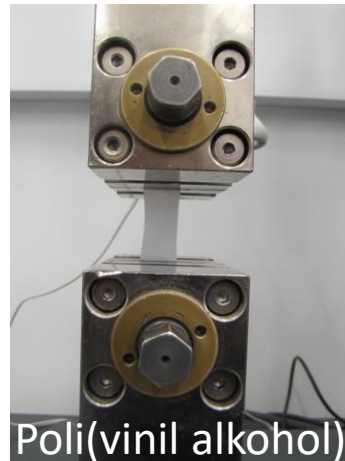
- Biokompatibilis
- Lebomló/ nem lebomló (biodegradabilitás)
- Mechanikailag ellenálló
- Funkcionalizálható
- Hidrofil/hidrofób



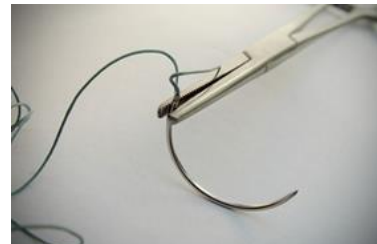
Poli(tejsav)



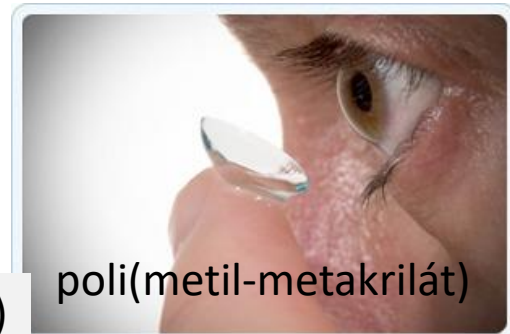
CoolRestGel



Poli(vinil alkohol)



Poli(tejsav/glikolsav)



poli(metil-metakrilát)

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

**Definíció??? –alakul, formálódik, felhasználás függő....**

„A fő kihívás a szövetbarát (biokompatibilis) **bioanyagok** kialakítása. A "megfelelő" bioanyag azt jelenti, hogy **sem rövid- sem hosszú távon** ne legyen mérgező, allergén, vagy gyulladásokkeltő hatású, ne váltson ki immunológiai válaszreakciót, ne legyen rákkeltő, ne károsítsa a környező szöveteket, hanem minél inkább elősegítse a belőle készült eszköz sikeres működését az alkalmazás során. ” /Műszaki felülettudomány és orvosbiológiai alkalmazásai, Bertóti István - Marosi György - Tóth András, 2003/

## **18. biocompatibility**

Ability to be in contact with a living system without producing an adverse effect.

© 2012, IUPAC Pure Appl. Chem., Vol. 84, No. 2, pp. 377–410, 2012

**Biokompatibilis – élő rendszerrel kölcsön hatva semmilyen ártó reakciót ne váltson ki sem az anyag sem a bomlástermékei**

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

**Kölcsönhatás szinten mit jelent???**

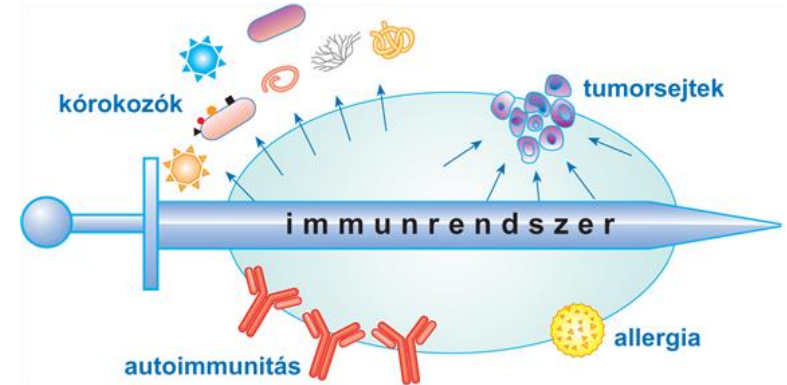
Immunológia-Anna, Erdei, Gabriella, Sármay, József, Prechl; Medicina Könyvkiadó Zrt. (2012)



bőrpír



irritáció



Nem megfelelő  
sebgyógyulás



Összenövés - adhézió

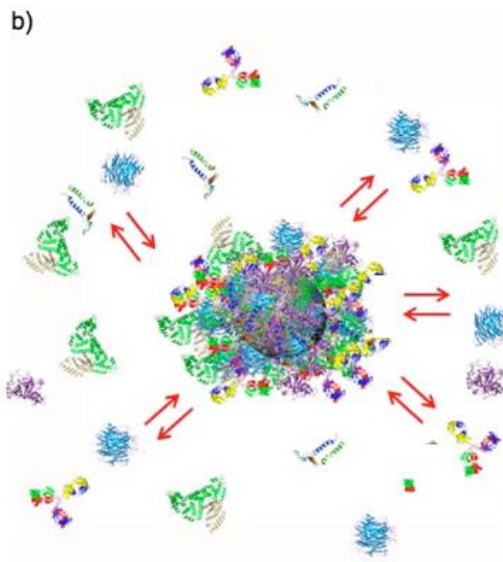
**Felület?? :**

- Felületi töltések
- Felületi funkciós csoportok
- Érdesség
- Adhézió?? (jó vagy rossz?)
- Minta alakja
- ...

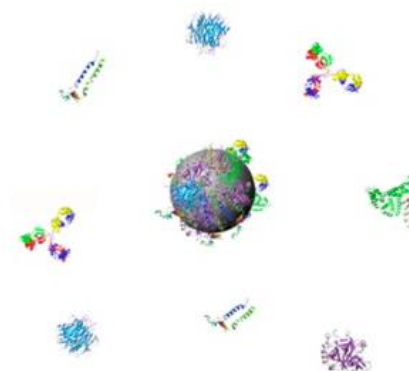
„God created space and the devil created surface.” /Wolfgang Pauli/



## Full corona



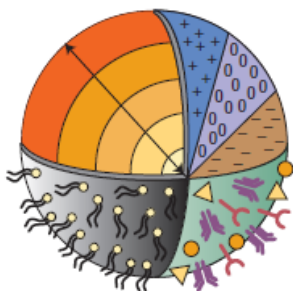
## Hard corona



**a**

### Size

- Th1/Th2 stimulation
- Adjuvant properties
- Internalization/phagocytic uptake
- Hapten properties
- Particle clearance



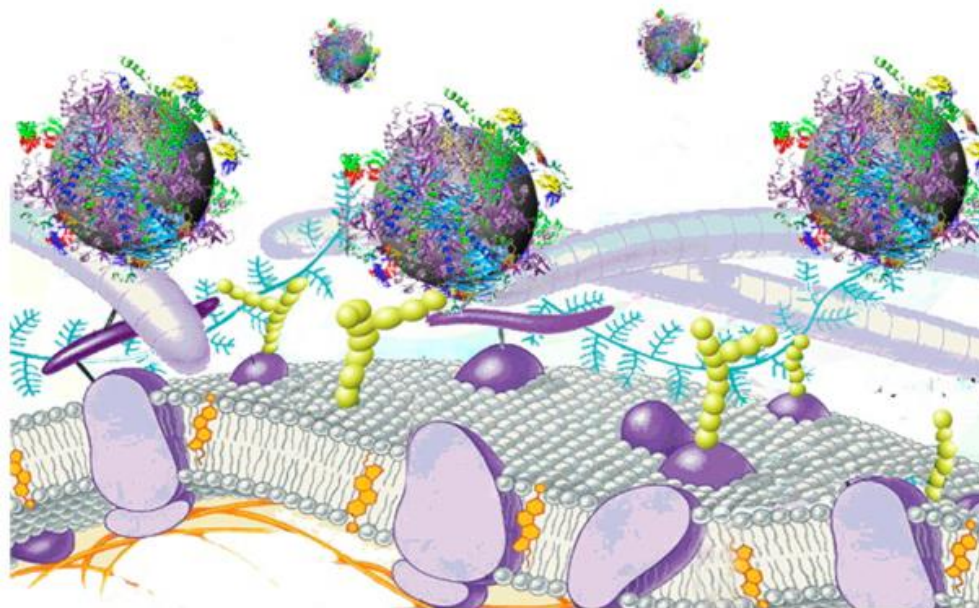
### Hydrophobicity

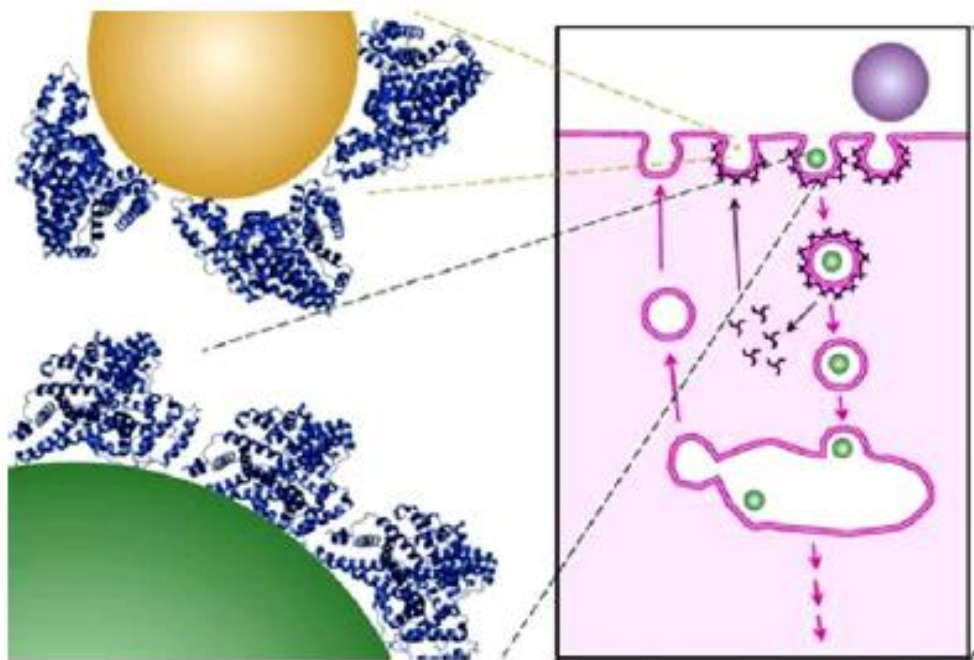
- Interaction with plasma proteins
- Internalization/phagocytic uptake
- Immune cell stimulation
- Particle clearance

### Charge

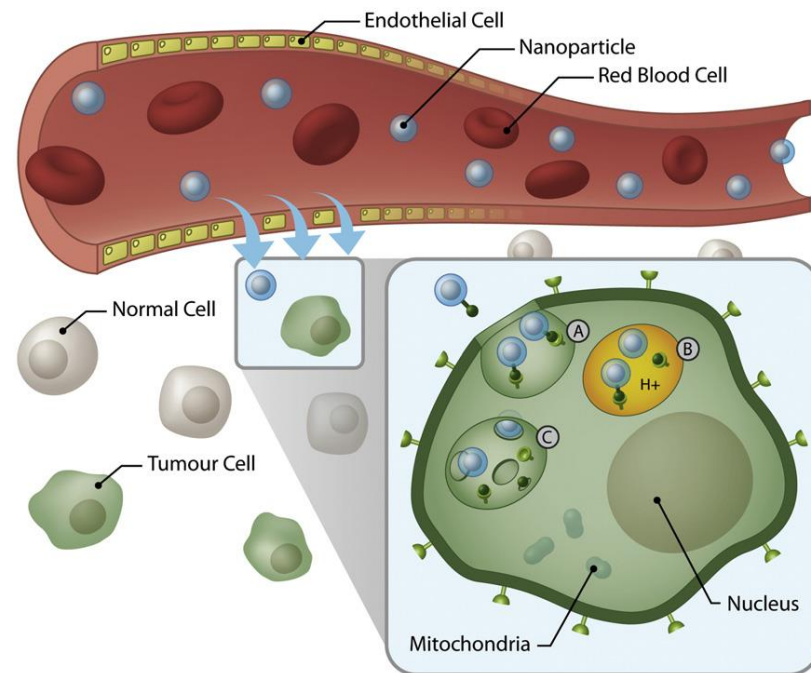
- Toxicity to immune cells
- Binding plasma proteins
- Particle clearance
- Immune cell stimulation

### Targeting Immunogenicity





Lynch et al., ACIS, 2007



Sun et al., Advanced Drug Delivery Reviews, 2008

## Sejtbe történő felvétel

- fagocitózis (mannóz receptor-, komplement receptor, stb.)
- makropinocitózis
- klatrin irányított felvétel
- kaveolin irányított felvétel
- Klatrin/kaveolin független endocitózis

## Mit lát a sejt?

Fehérjét

Implant,  
nanorészecske,  
polimer....

## Biocompatibility Testing Standards

- [ISO 10993-1: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process](#)
- [ISO 10993-2: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 2: Animal Welfare Requirements](#)
- [ISO 10993-3: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 3: Tests for genotoxicity, carcinogenicity and reproductive toxicity](#)
- [ISO 10993-4: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 4: Selection of tests for interactions with blood](#)
- [ISO 10993-5: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity](#)
- [ISO 10993-6: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 6: Tests for local effects after implantation](#)
- [ISO 10993-7: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 7: Ethylene oxide sterilization residuals](#)
- [ISO 10993-9: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 9: Framework for identification and quantification of potential degradation products](#)
- [ISO 10993-10: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 10: Tests for irritation and skin sensitization](#)
- [ISO 10993-11: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 11: Tests for systemic toxicity](#)
- [ISO 10993-12: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 12: Sample preparation and reference materials](#)
- [ISO 10993-13: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 13: Identification and quantification of degradation products from polymeric medical devices](#)
- [ISO 10993-14: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 14: Identification and quantification of degradation products from ceramics](#)
- [ISO 10993-15: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 15: Identification and quantification of degradation products from metals and alloys](#)
- [ISO 10993-16: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 16: Toxicokinetic study design for degradation products and leachables](#)
- [ISO 10993-17: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 17: Establishment of allowable limits for leachable substances](#)
- [ISO 10993-18: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 18: Chemical characterization of materials](#)
- [ISO/TS 10993-19: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 19: Physico-chemical, morphological and topographical characterization of materials](#)
- [ISO/TS 10993-20: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 20: Principles and methods for immunotoxicology testing of medical devices](#)
- [ISO/TS 10993-22: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 22: Guidance on nanomaterials](#)
- [ISO/TR 10993-33: Biological Evaluation of Medical Devices - Part 33: Guidance on tests to evaluate genotoxicity - supplement to ISO 10993-3](#)

# Szabvány???

## Ajánlás????

A modern orvosi eszközök, implantátumok a legtöbbször nem egyetlen anyagból épülnek fel, így nem feltétlen célravezető egyetlen anyag biokompatibilitásáról beszélni.

**Medical Plastics and Biomaterials, FDA, 2001**

*“The primary aim of this part of ISO 10993 is the protection of humans from potential biological risks arising from the use of medical devices.” (ISO 10993-1:2009)*

**International Organization for Standardization**

**Készülékekre, implantátumokra...  
de mi a helyzet az  
alapanyagokkal???**

<https://www.buzzsprout.com/318164/1840135-man-made-materials-meets-biology-taking-a-closer-look-at-biomaterials-and-implants>

# Polimerek kölcsönhatása élő szervezettel

Barrierek → bőr, nyálkahártya, érfal →

szemipermeábilis (félig áteresztő)

Cut off: 10 000g/mol

Nagyobb molekulatömegű polimer a gasztrointesztinális rendszeren keresztül nem tud felszívódni...

Kiürülés 2 útja:

- Vesén keresztül → Vérben oldott állapotban
- Tüdőn keresztül → Metabolizmus: víz + CO<sub>2</sub>

Kivételes esetben → bőrön keresztül (ciszta)

**Ahhoz, hogy a nagy molekulatömegű makromolekulák, polimerek kiürüljenek, alapegységeikre, építő elemekre kell hogy szétessenek... → biodegradáció**



# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

## Definíció???

„Biodegradabilitás alatt azt értjük, hogy a különböző anyagok természetes, vagy mesterséges hatások következtében elvesztik szerkezetüket, alakjukat és a természetre nem káros anyagokká alakulnak át. A polimerek biodegradabilitása függ **az alapanyagok kémiai szerkezetétől és a termék végső összetételétől**. A biodegradábilis polimerek lehetnek természetes alapúak, vagy szintetikus úton előállítottak.”  
/Polimertechnika -Dr. Hargitai Hajnalka, Dr. Dogossy Gábor , Széchenyi István Egyetem (2014)/

### 22. biodegradation

*Degradation* caused by enzymatic process resulting from the action of cells.

*Note:* Modified from [8] to exclude *abiotic enzymatic* processes.

© 2012, IUPAC Pure Appl. Chem., Vol. 84, No. 2, pp. 377–410, 2012

### 23. biodegradation (biorelated polymer)

*Degradation* of a polymeric item due to cell-mediated phenomena [9].

**Biodegradábilis – élő rendszerrel kölcsön hatva funkciója betöltését követően a szervezetben lebomoljon, bomlástermékei semmilyen ártó reakciót ne váltson ki, kiürüljön és/vagy beépüljön a normál anyagcsere körforgásba**

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

## Degradáció hogyan valósulhat meg?

- Hő (testhőmérséklet, magasabb-láz)
  - Fény (látható, UV, IR...)
  - pH (fiziológiás, ettől eltérő)
  - Vizes közeg (víz mint katalizátor)
  - Mikroorganizmusok
  - Enzimatis úton
- Tárolási körülmények  
esetén is fontos!!!

## International Union of Pure and Applied Chemistry :

Biodegradáció definíció szerint az anyag enzimek által katalizált lebomlása *in vitro* vagy *in vivo* körülmények között.

/SUSHMITA PRADHAN/

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

## Degradáció hogyan valósulhat meg?

### Lépcsőzetes:

- Első lépés fragmentálódás → kisebb egységekre esik szét  
ez lehet
  - Fotokémiai reakció
  - Hidrilízis
  - Mikrobiológiai reakció (organizmussal kölcsönhatva)
- Második lépés asszimiláció → a kisebb egységek lebontása  
ezt követően kiürül vagy beépül az anyagcsere körfolyamatok egyikébe

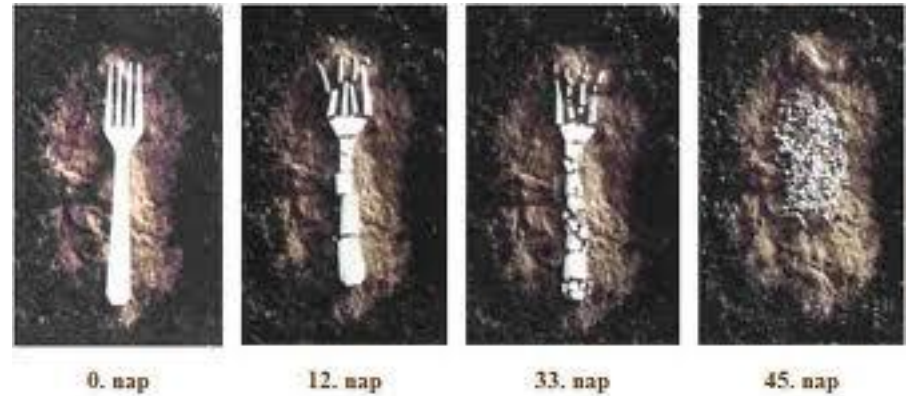
A biodegradáció nem csak az anyag (polimer) kémiai szerkezetétől, de a **degradáció aktuális környezeti paramétereitől** is függ!!

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

Degradáció hogyan valósulhat meg időben?

## Függ:

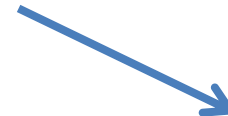
- Kémiai összetétel
- Molekula tömeg
- Termék formulálása
- Mechanikai tulajdonság
- Tárolás
- Öregedés
- Alkalmazás körülményei → aktuális környezet



**Természetes - mesterséges alapanyag**



**Pl.: poli(szacharidok), fehérjék,  
keményítő, cellulóz, stb**

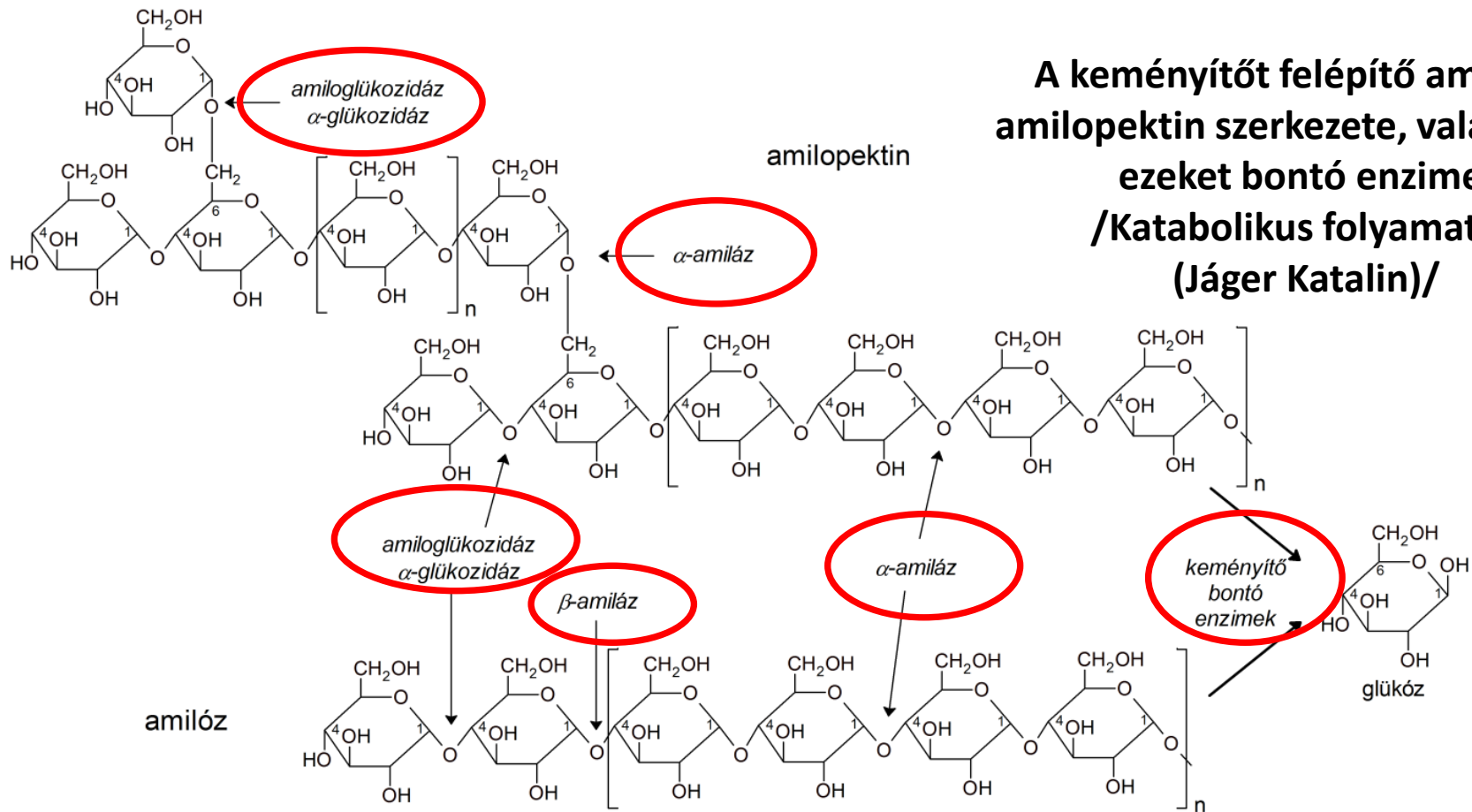


**Pl.: szintetikus polimerek**

# Biokompatibilitás és biodegradabilitás

Degradáció hogyan valósulhat meg?

Enzimatis úton

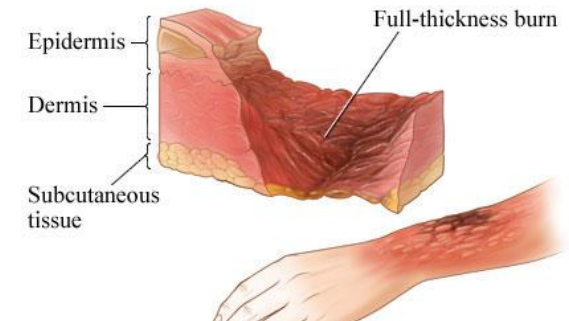


**A keményítőt felépítő amilóz és amilopektin szerkezete, valamint az ezeket bontó enzime.  
/Katabolikus folyamatok (Jáger Katalin)/**

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példákon bemutatva - Szöveti regenerálás

- Sérült, fertőzött szövetpótlás nehézségei:
  - Transzplantáció-kilökődés
  - Donor szám korlátozott
  - Kockázatos költséges műtéti eljárások



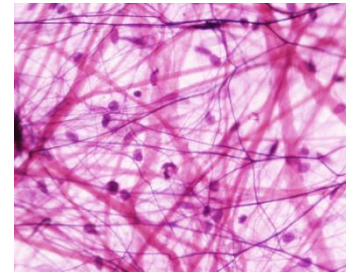
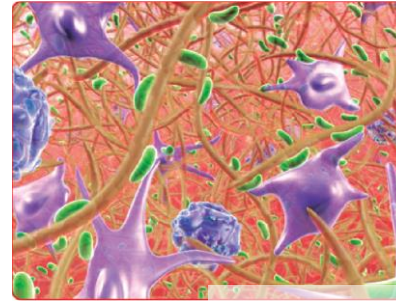
## Kötőszöveti állomány:

Kötőszöveti sejtek

Amorf állomány

**Extracelluláris mátrix (ECM)**

*Természetes polimer* → **Kollagén szálak** ~60 nm



Schultz et al.,  
World Wide Wounds, 2005

## Mesterséges ECM

- **Háromdimenziós struktúra**
- Biokompatibilis
- Biodegradábilis
- **Átjárható**
- Mechanikailag ellenálló
- Funkcionalizálható

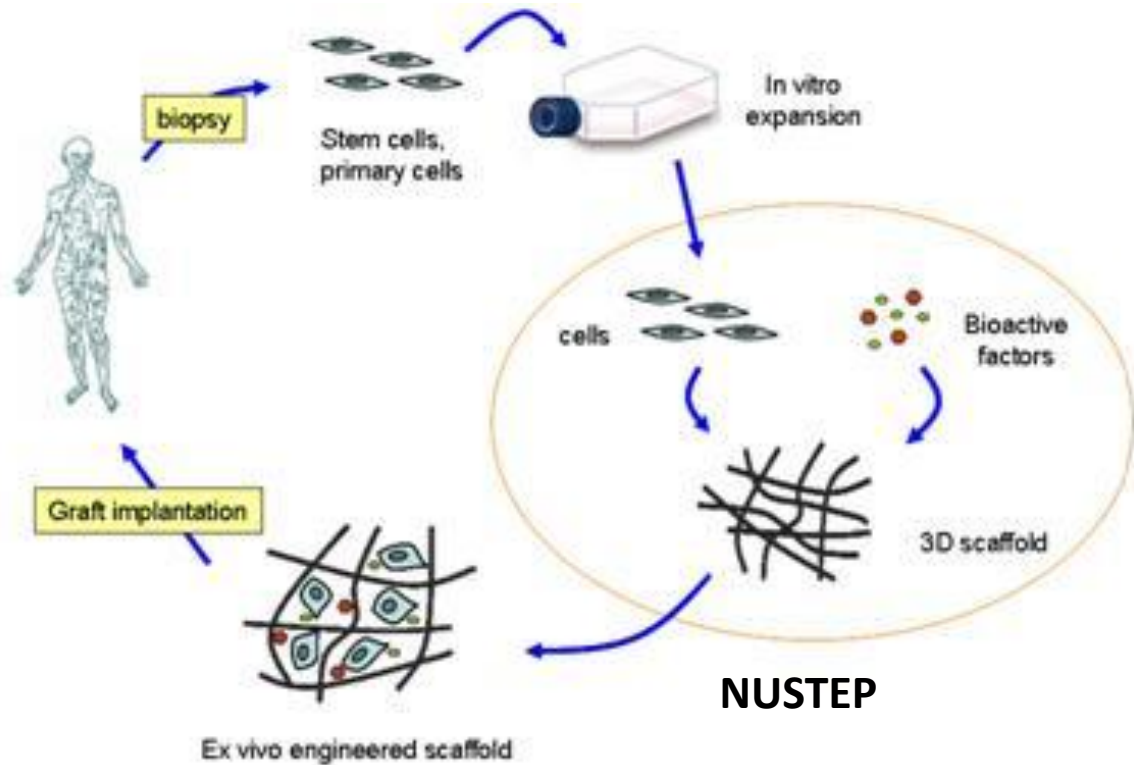
### Scaffold



Habok és rostok  
Gélek és membránok  
Nanostruktúrák  
Szerkezeti fehérjék



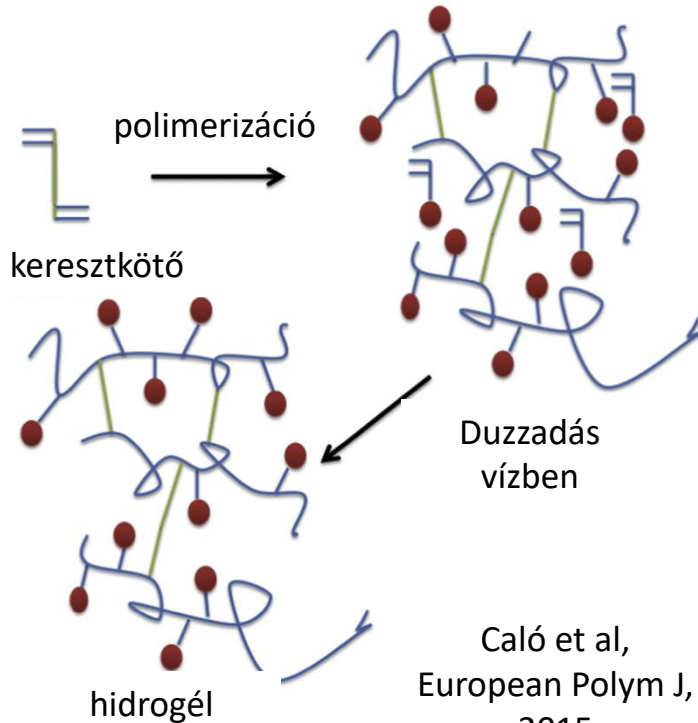




Vízoldható  
monomer

+

polimerizáció  
keresztalkötő



- Háromdimenziós struktúra
- Nagy mennyiségű folyadék felvétele
- Kismolekulák szabad diffúziója



# GÉLEK

*Könnyebb körülírni, mint definiálni. (P.J.Flory)*

*Átmenet a szilárd testek és a folyadékok között, alaktartóak, vagyis kis terhelésere nem folynak, csak deformálódnak.*

*Tehát a gélek a rendszer összefüggő vázához képest nagy alakállandósággal és folyadéktartalommal rendelkeznek.*

**Főbb jellegzetességek:**

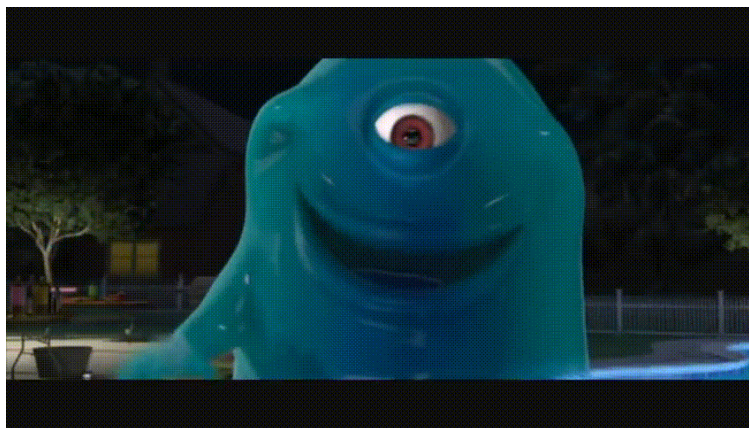
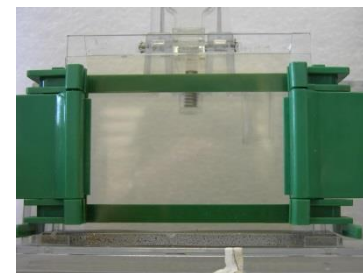
**3D szerkezet**

**nagy mennyiségű fluid fázis**



## *Termikus stabilitás alapján:*

- *termoreverzibilis* (fizikai)
- *permanens* (kémiai)



## *Gélesedés:*

*viszkozitás* → végtelen a gélpontnál  
*modulusz* → növekszik a gélponttól

*oldat* → *gél pont* → *szilárdtest*

# Polimergélek anyagi intelligenciája

*Nincs még egy olyan anyag, amely oly sokféleképpen képes reagálni a környezeti változásokra, mint a polimer gél.*

környezeti változás

válasz reakció

*hőmérséklet,  
összetétel,*

*térfogat változás  
és az ettől*

*pH,*

*függő tulajdonságok*

*specifikus ionok,*

*(optikai, mechanikai,*

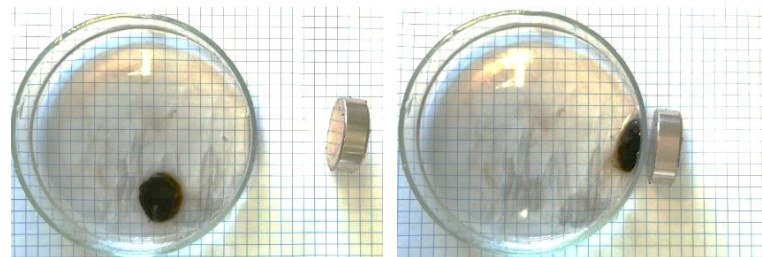
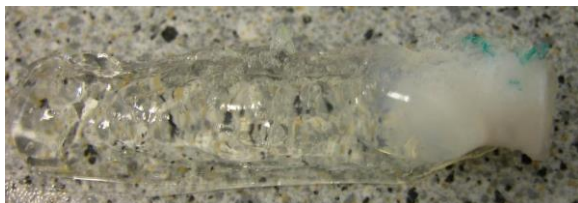
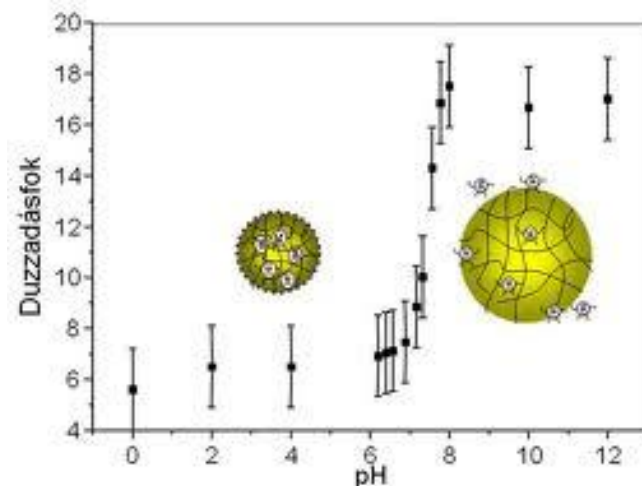
*felületaktív anyagok,*

*termodinamikai,*

*elektromos tér,*

*transzport és kinetikai)*

*mágneses tér...*



## Fizikai gél képződése:

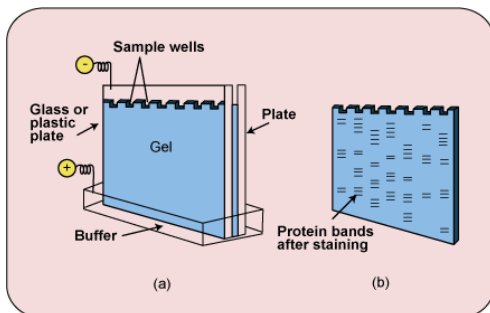


- *kristályosodás*
- *hélix képződés*
- *H-híd kötés*
- *Coulomb kölcsönhatás*

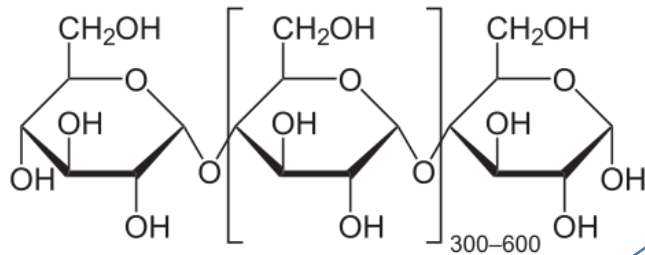


## Kémiai gél képződése:

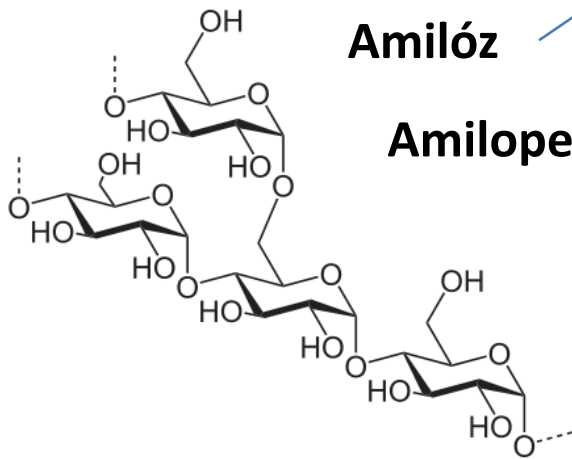
- *térhálósítás*
- *térhálósító polimerizáció*



# Térhálósító polimerizáció

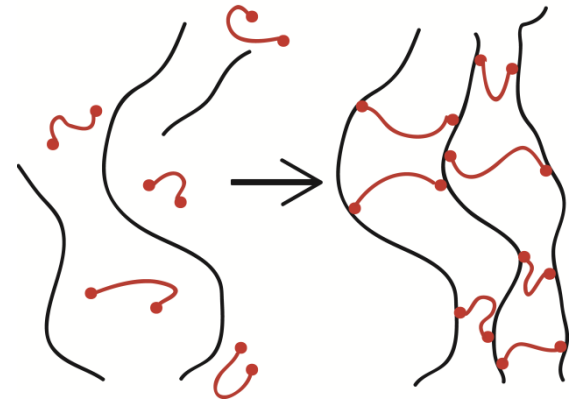


**Amilóz**



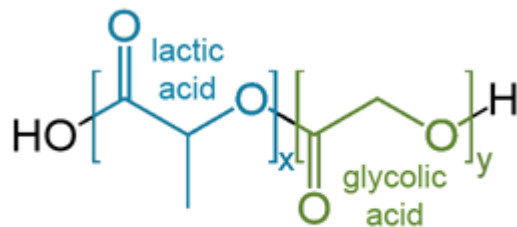
**Amilopektin**

**Keményítő**



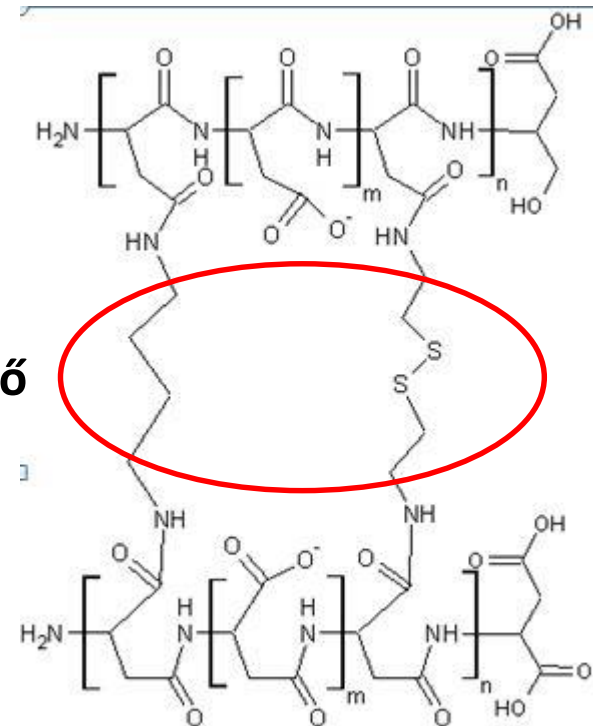
**Polimer lánc**

**Térhálósító molekula - keresztkötő**



$x$  and  $y$  indicate the number of times each unit repeats.

**Polimer lánc**





# Polimerek - gélek orvosi biológiai felhasználása



**Transdermal  
drug delivery**



**Tissue engineering**



**Wound dressing**



**Drug delivery  
system**

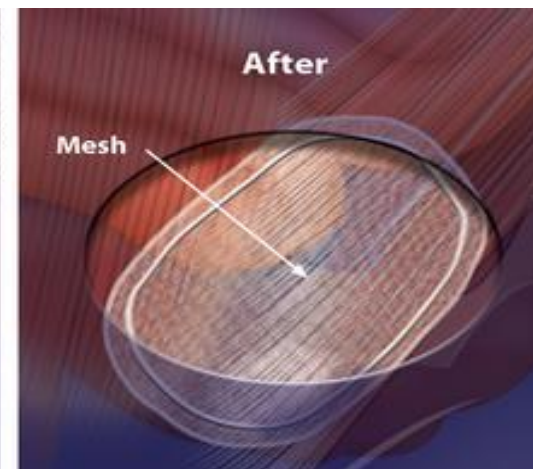


**Contact lens**

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példákon bemutatva - implantok

### Hasi sérvháló

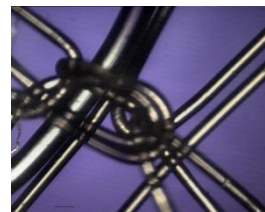
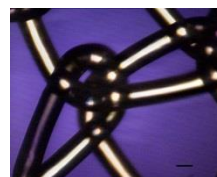


### Nem lebomló hálók:

Poli(propilén)

Poli(észter)

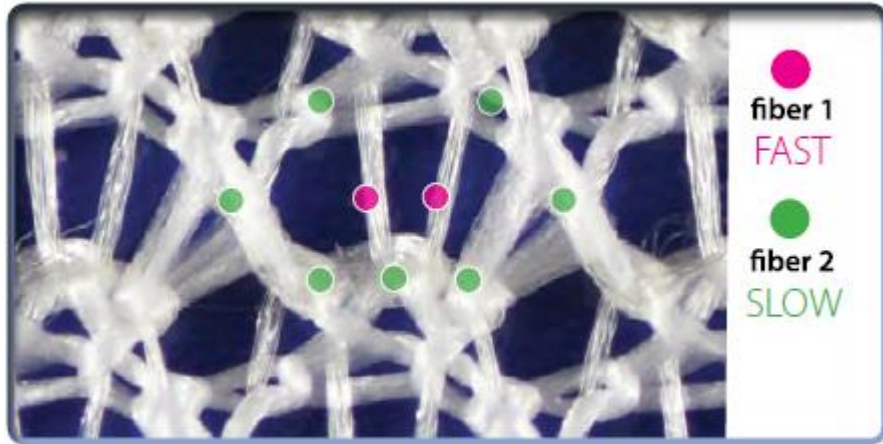
Teflon



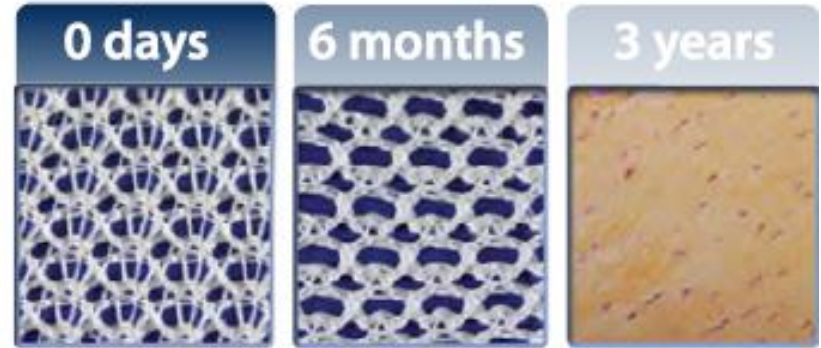
GORE®  
DUALMESH®



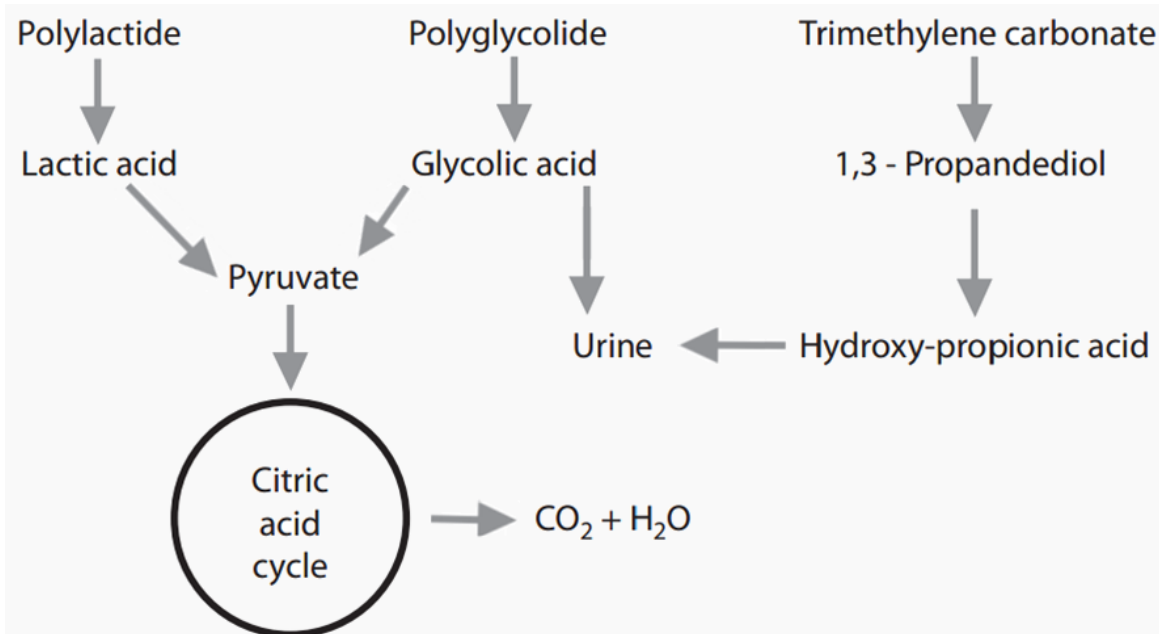
# Hasi sérvháló – lebomló → TIGR® Matrix (Novus Scientific)



Kopolimer: glikol, tejsav és trimetil karbonát



**Funkcióját betöltve lebomlik!!!!**



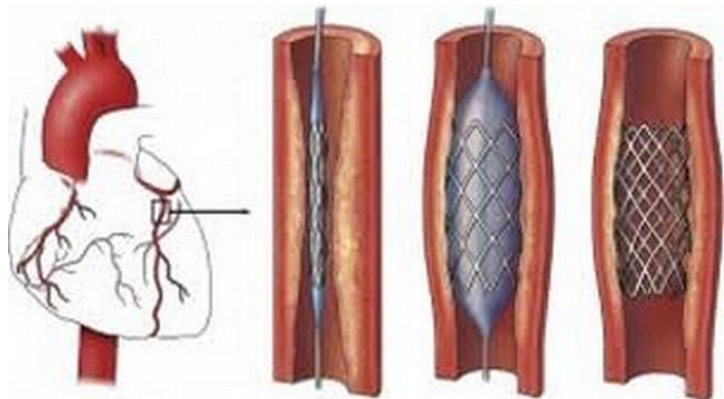
**Lebomlás során  
bomlástermékei  
bekapcsolódnak a  
normál anyagcsere  
folyamatba!**



# Polimerek orvosbiológiai felhasználása

## Konkrét példákon bemutatva – implant → stent

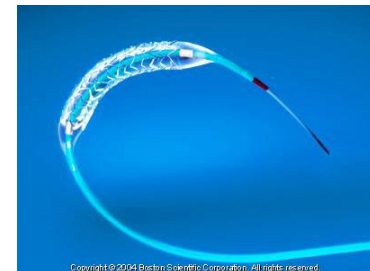
**Nem lebomló** → fém alapú, nem polimer



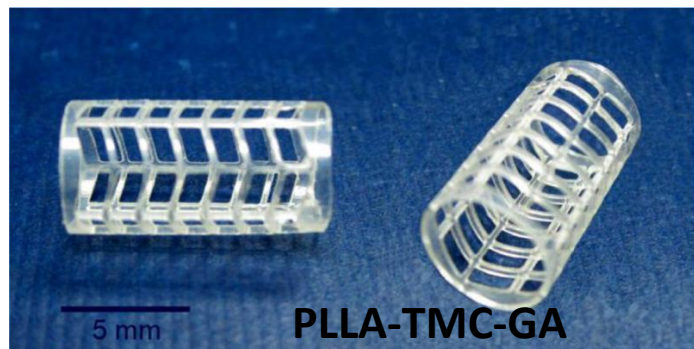
PSt-b-PIB-b-PSt  
Triblokk kopolimer



Hatóanyag tartalmú  
FDA 2003-ban hozta forgalomba



Gyógyszeradagoló és felszívódó „stent”-ek is vannak ma már, melyek polimerből készülnek.



Dong et al, Plastic Research Online, 2013

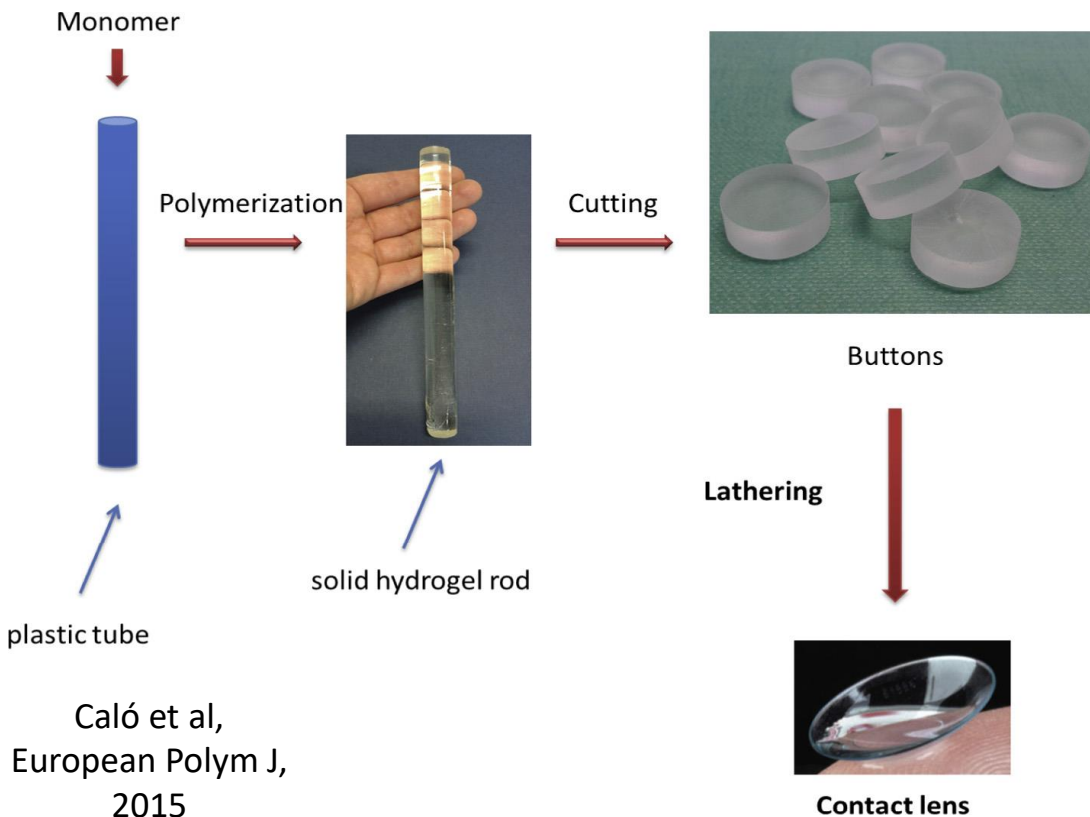


Poli(tejsav)  
MeKo®

**Funkciójának  
betöltése után  
lebomlik**

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példák bemutatva – kontakt lencse



### Kritériumok:

- Nem lebomló
- Transzparens
- Szabad diffúzió
- Mechanikai tulajdonságok
- Törésmutató

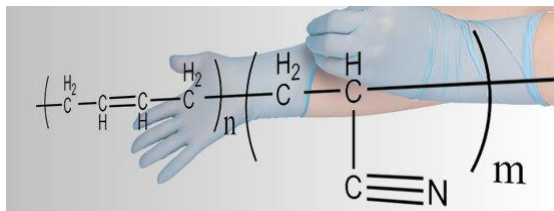
PHEMA –poli-2-(hidroximetakrilát)

PMMA-poli(metil-metakrilát) → kemény lencse, hidrofób

HFIM-poli(hexa-fluoroizopropil-metakrilát) → lágy lencse, hidrogél

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példák bemutatva-nem lebomló polimerek



[DISPOMEDICOR Zrt.](http://www DISPOMEDICOR Zrt.)



Polydioxanone

Hidrofób

Inert

Nincs irritáció

Nincs kölcsönhatás  
az élő rendszerrel

**Hulladék kezelés???** →  
**mikroorganizmusok, enzimatisus??**

**Mikroműanyagok megjelenése?**  
**Egészségügyi következmény? Toxicitás?**



# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példákon bemutatva – gyógyszerhordozók

### Előnyei:

- Polimerhez kötés → kémiai kötés  
→ lassabb degradáció mint a szabad forma
- Oldhatósági tulajdonságok megváltoznak
- Szervezetben belüli életút változik
- Célba juttatás kontrollálható (?)
- Formulálás



# Polimerek orvosiológiai felhasználása

## Konkrét példákön bemutatva – gyógyszerhordozók

### Előnyei:

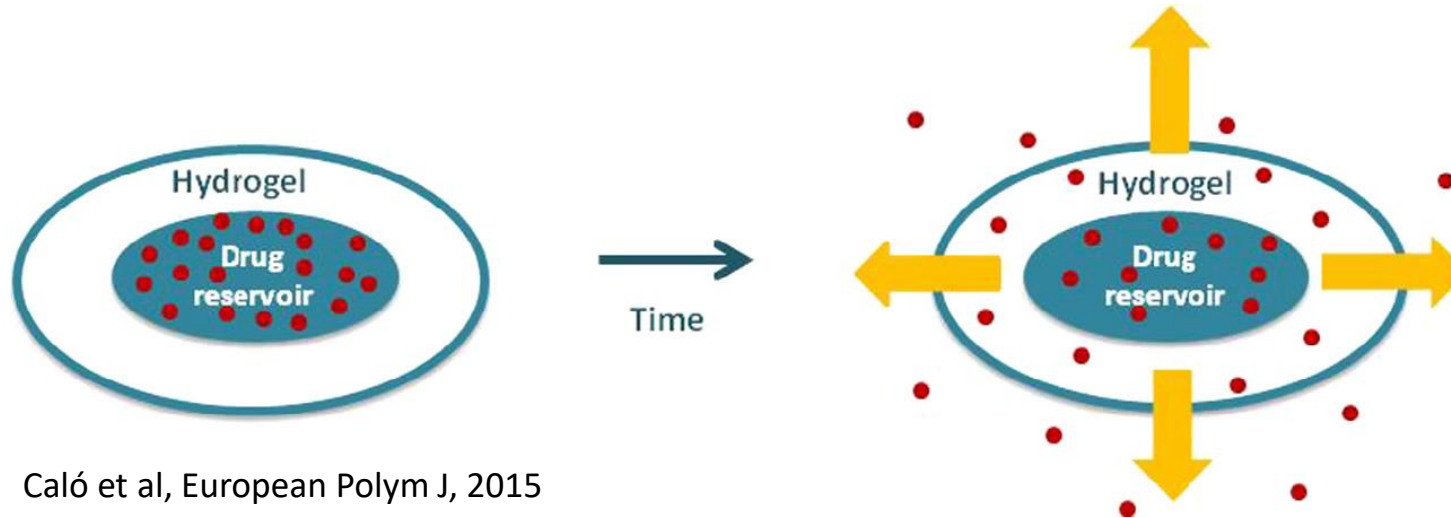
- Polimerből hidrogél létrehozása → egyedi fizikai-kémiai tulajdonságok
  - Környezetre reagál
- Porozitás → keresztkötések számával változtatható
- Hatóanyag megkötése és kioldódása könnyen megoldható
- Folyamatos kioldódás környezeti paraméterek függvényében
  - elnyújtott hatás
  - lokálisan magas hatóanyag koncentráció

Kontroll: diffúzió, duzzadás, pH, hőmérséklet, stb

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példák bemutatva – gyógyszerhordozók

Diffúzió kontrollált hatóanyag leadó rendszer



Caló et al, European Polym J, 2015

Hatóanyag csapdázva egy „tartályban” a hidrogél belsejében.

Hatóanyag koncentráció a kiegyenlítődés felé tart.

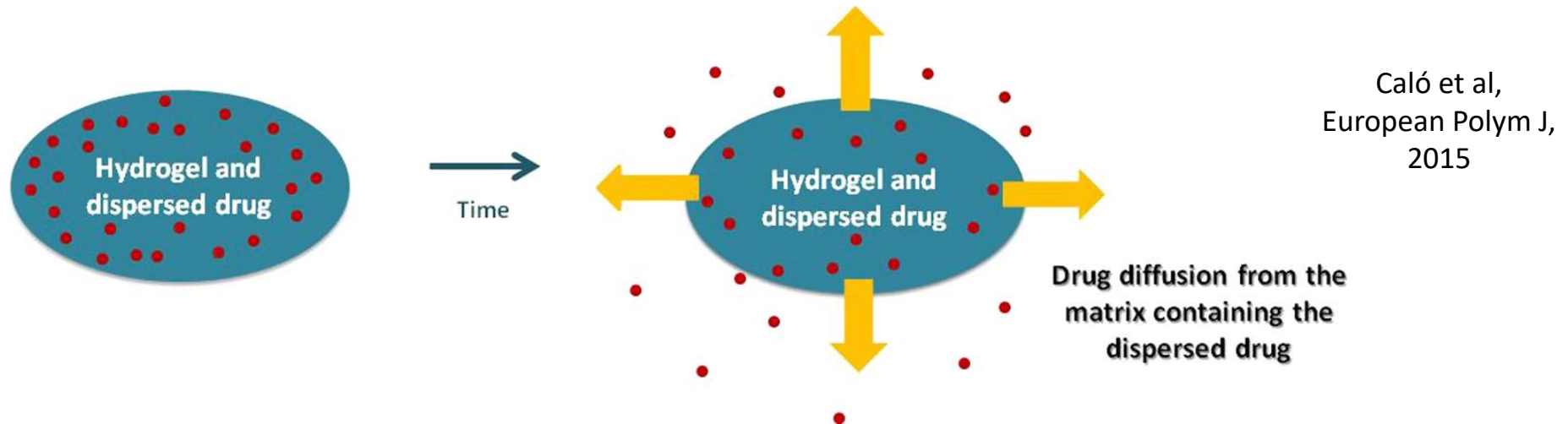
Folyamatos hatóanyag leadás.



# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példák bemutatva – gyógyszerhordozók

Hatóanyag leadó rendszer



A hidrogél teljes rendszerében eloszlatva vagy a benne lévő folyadék térben oldva helyezkedik el a hatóanyag.

A hatóanyag a polimer láncok között kialakult pórusokból áramlik ki.

Hatóanyag leadás ugrásszerű, nem olyan egyenletes, mint az előző esetben →  $v_t$  függés

# Polimerek orvosi biológiai felhasználása

## Konkrét példák bemutatva – gyógyszerhordozók

Hatóanyag leadó rendszer

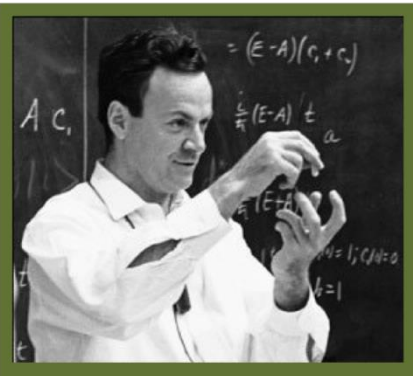
Szemészeti felhasználás → poli(etilén glikol) hidrogél →  
gyulladás csökkentő

Szájüregi felhasználás → Pilobuc™ hidrogél → Sjögren szindróma  
(autoimmun betegség)

Nőgyógyászati felhasználás → Cervidil hidrogél

Bőr alá ültetés → elnyújtott hatóanyag leadás, számos gyógyszer,  
hormon, szteroid, stb esetén





*Magyar kolloidkémia megalapítója Buzágh Aladár*

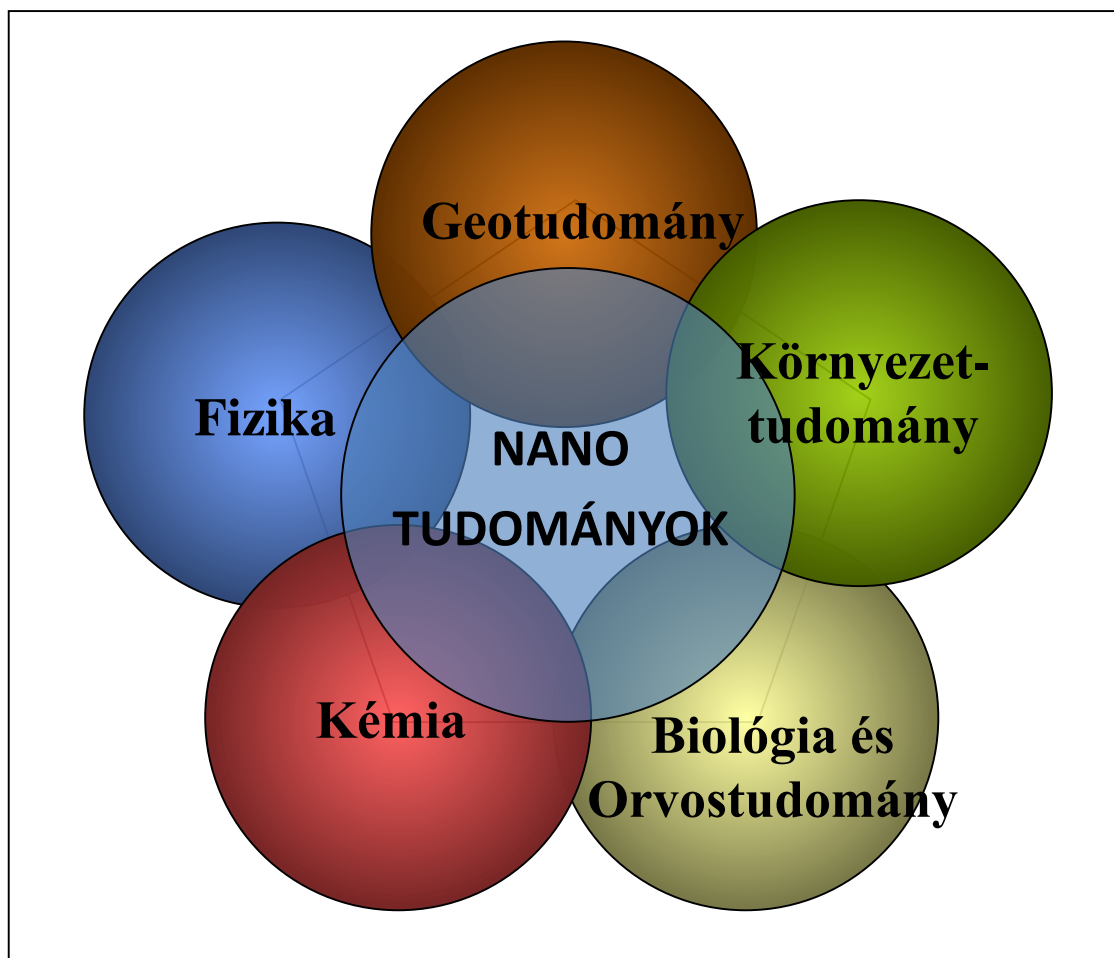
# There's Plenty of Room at the Bottom

A világunk abban az értelemben  
oly csodálatos, hogy a csillagok  
ugyanazokból az atomokból  
állnak, mint a tehenek, és mi  
magunk is, meg a kövek.

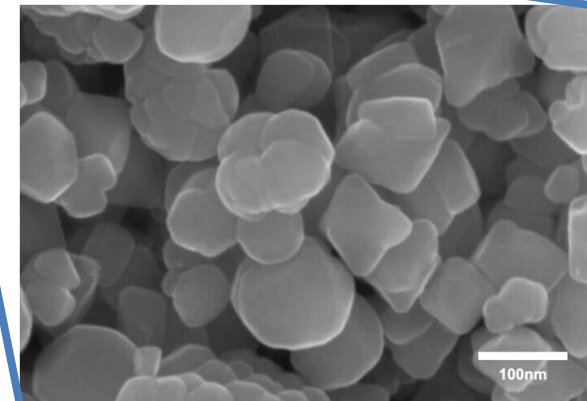
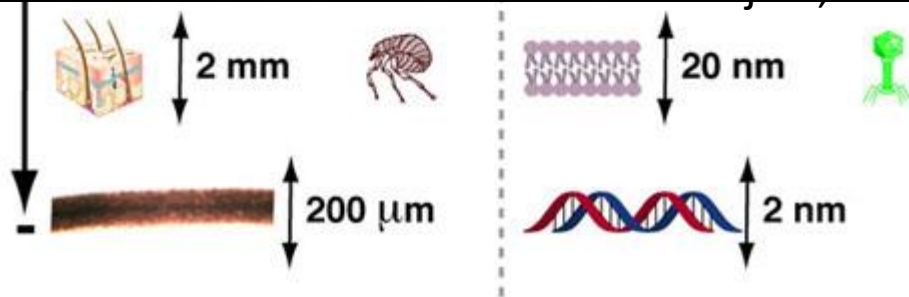
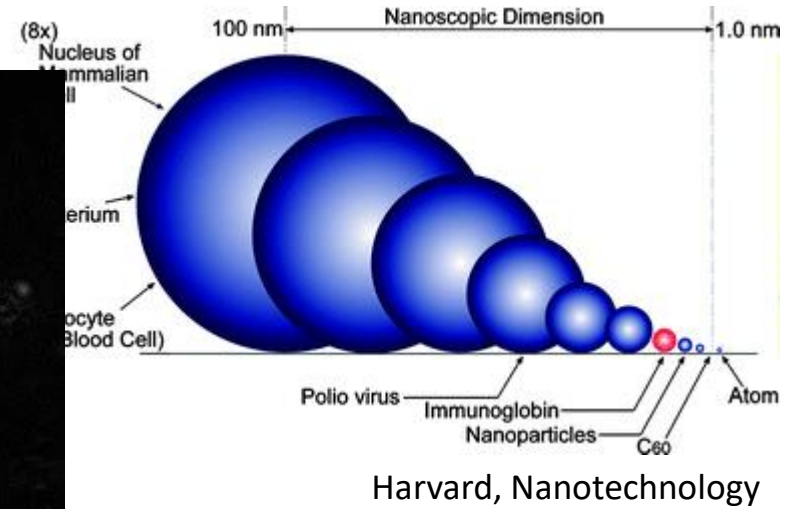
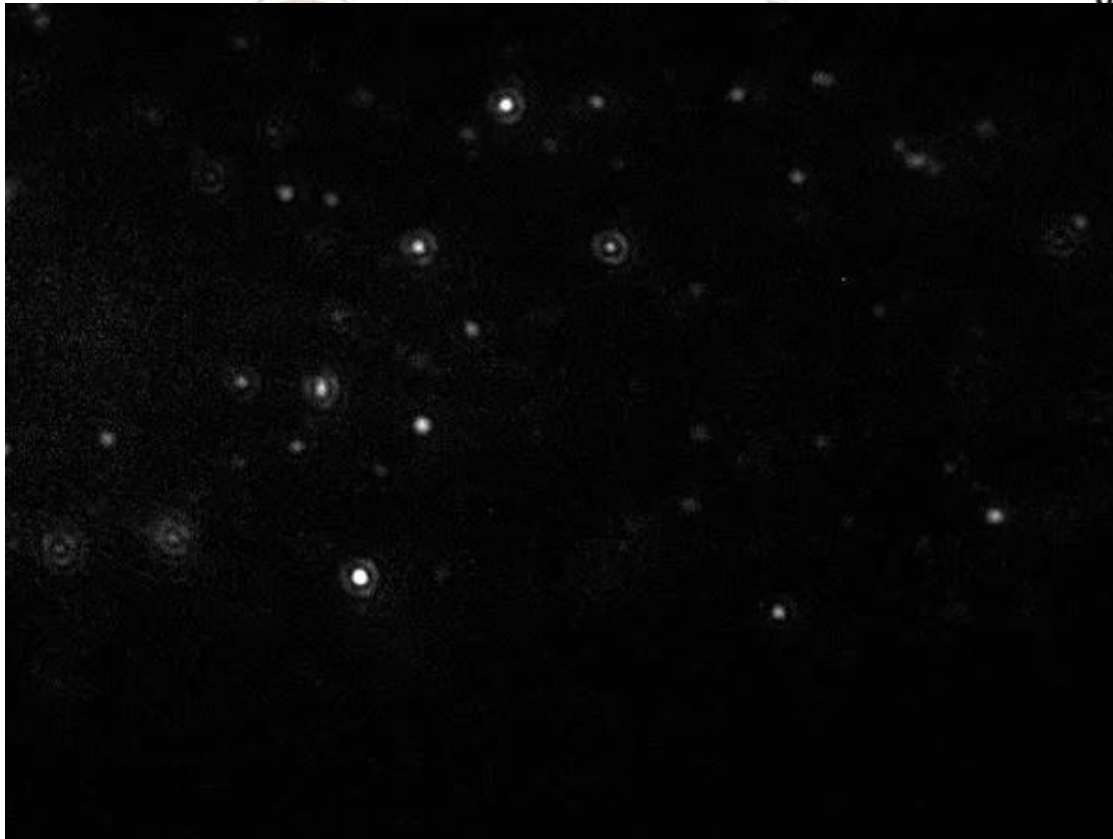
A fizika olyan, mint a szex.  
Időnként van valami haszna is,  
de nem ezért csináljuk.

**Minden érdekessé válik, ha elég mélyen elmerülünk benne.**

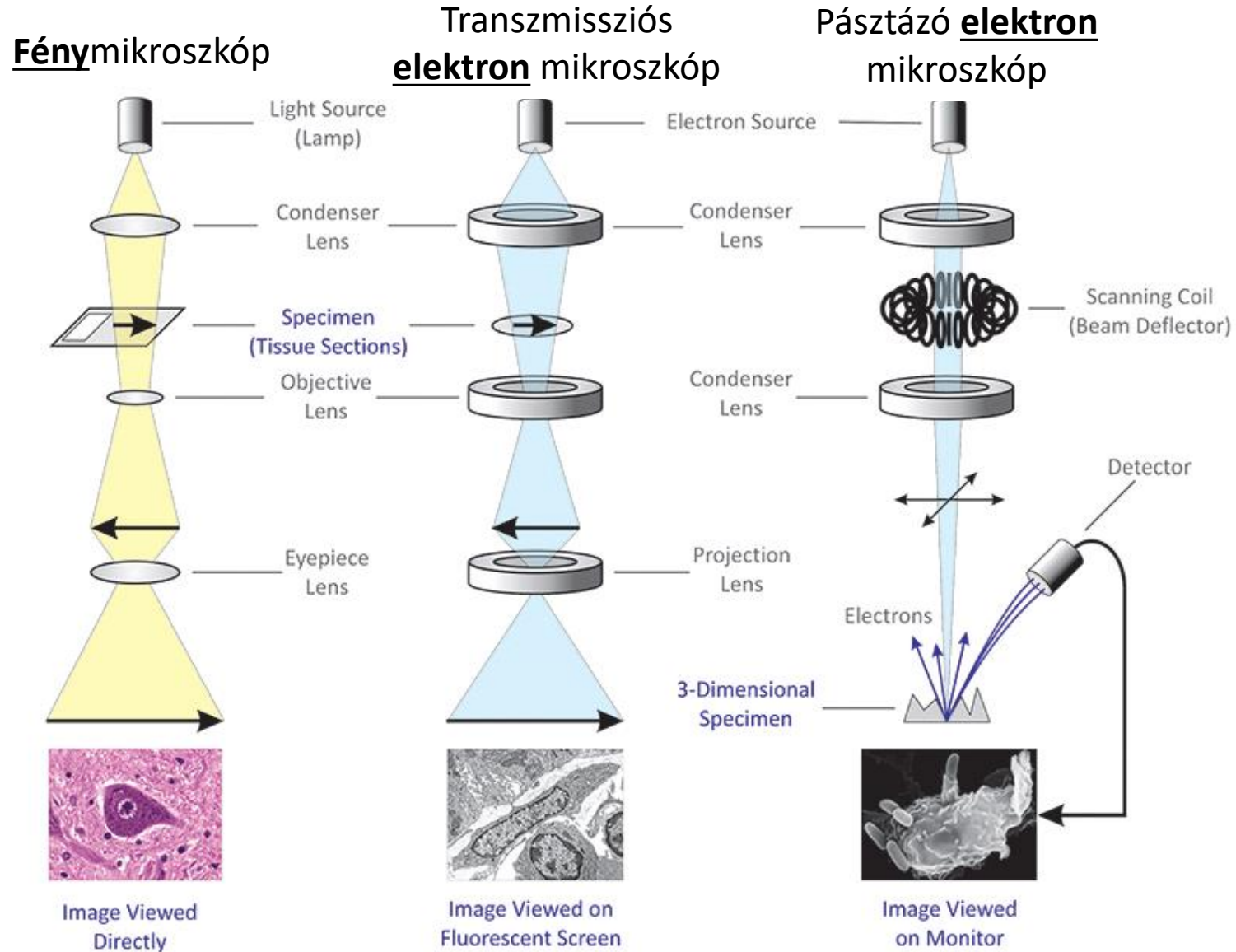
# Az egyes tudományterületek megjelenése a nanovilágban



# Nanovilág



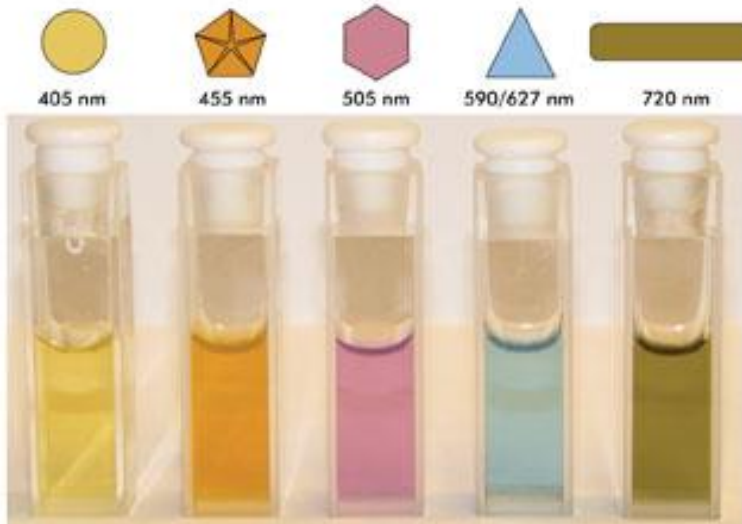
# Ha ilyen kicsi mégis hogyan látjuk???



# Méret a lényeg?



Fajlagos felület változása a méret függvényében

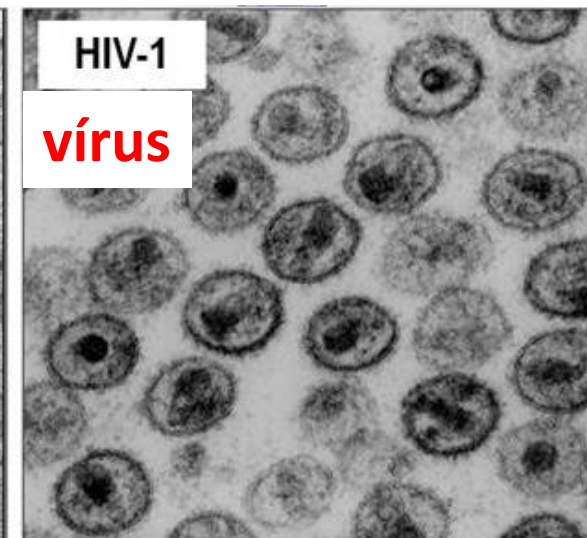
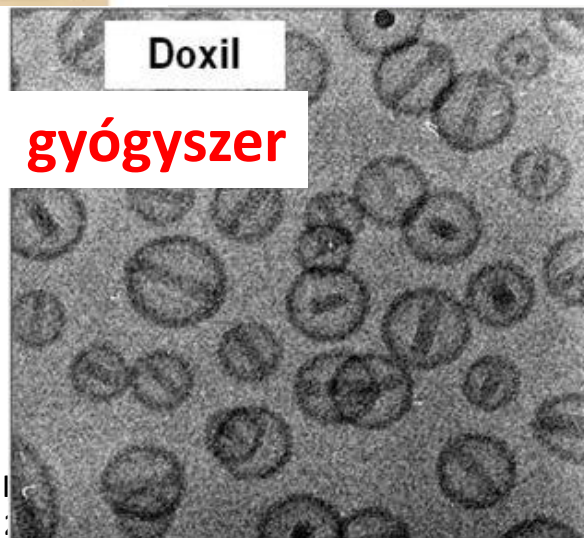


„God created space and the  
devil created surface.”  
/Wolfgang Pauli/

Nanorészecskék a  
mindennapjainkban

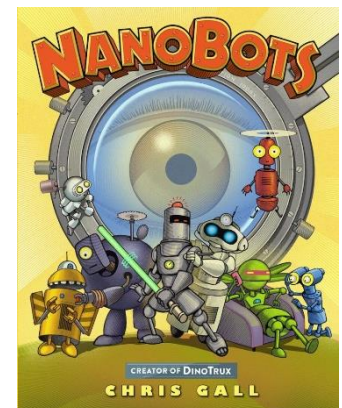
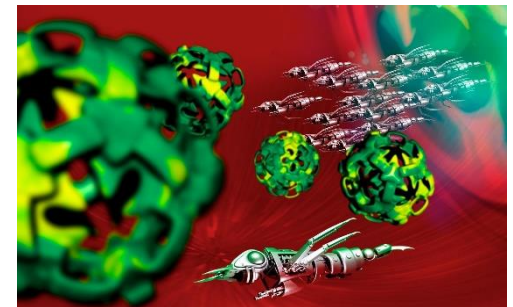
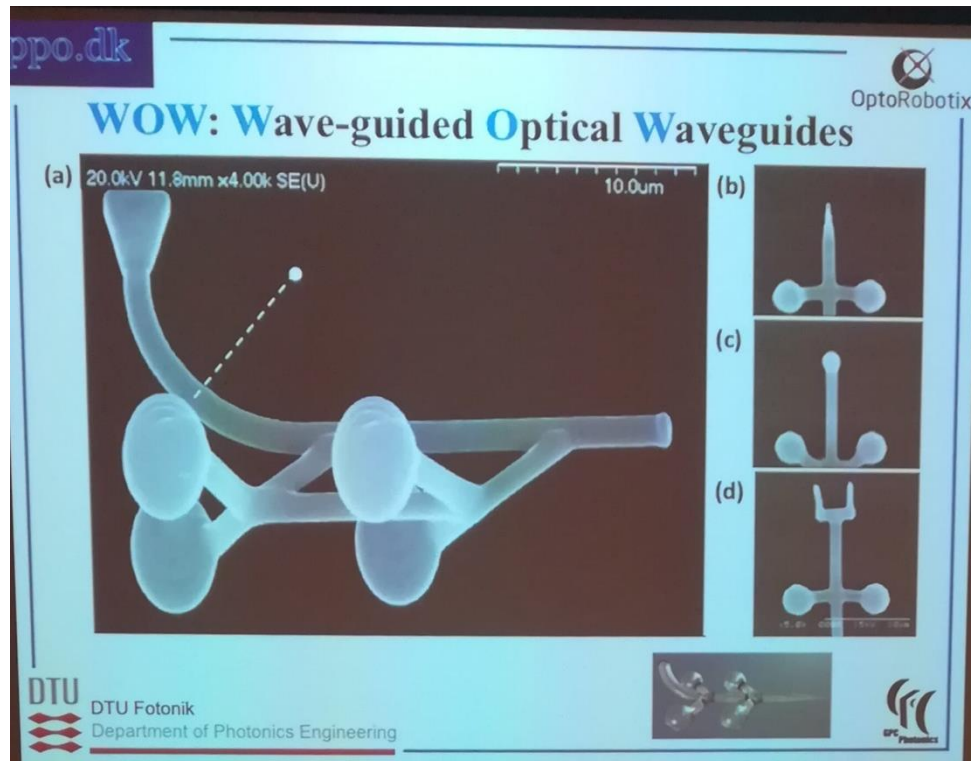
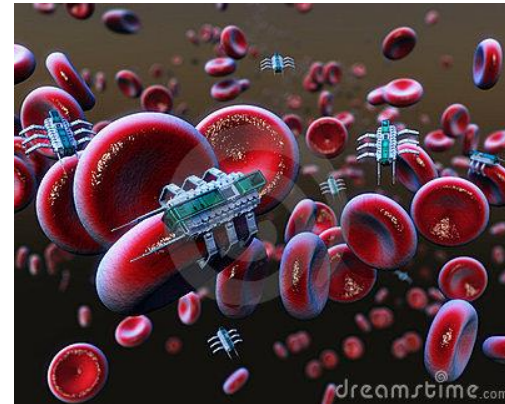
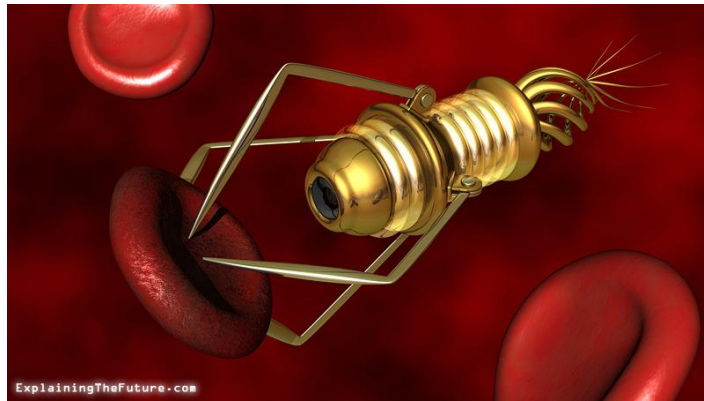
**Nanotoxicitás???**

Andrew D. Maynard et al., Safe  
nanotechnology, Nature,





# Nanovilág





# Ezüst nanorészecskék → antibakteriális hatás



Paul Karason



Sovereign Silver, Colloidal Bio-Active Silver Hydrosol Nasal Spray, 10 PPM, 2 fl oz (59 ml)

By Sovereign Silver

★★★★★ 67 Reviews

In Stock

- Expiration Date: Jun 2019
- Shipping Weight: 0.5 lbs (0.23 kg)
- Product Code: SSV-23234
- UPC Code: 684088232340
- Package Quantity: 2 fl oz (59 ml)
- Dimensions: 1.6 x 1.6 x 5.5 in, 0.3 lbs (0.14 kg)
- Sovereign Silver by Natural-Immunogenics Corp.

MSRP: \$14.99  
Our Price: **\$11.99**  
You Save: \$3.00 (20%)

👉 Earn 10% Loyalty Credit ?

1 ▾

Add to Cart

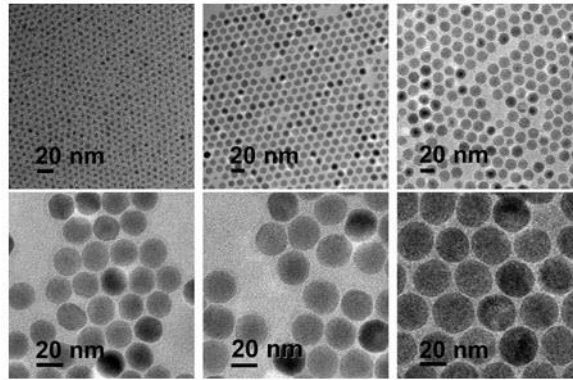
Add to Wish List



## Chemical Free Colloidal Silver

Colloidal silver is the best thing that could have happened to man. The benefits of colloidal silver are plenty and to ignore it means you are missing the benefits that it has afforded you. Learn more about the colloidal silver and the many variations that are presented to the human use.

# Mágneses részecskék - Magnetit

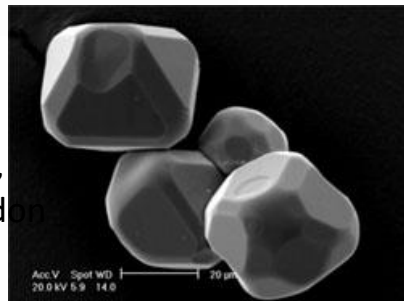


Sigma-Aldrich

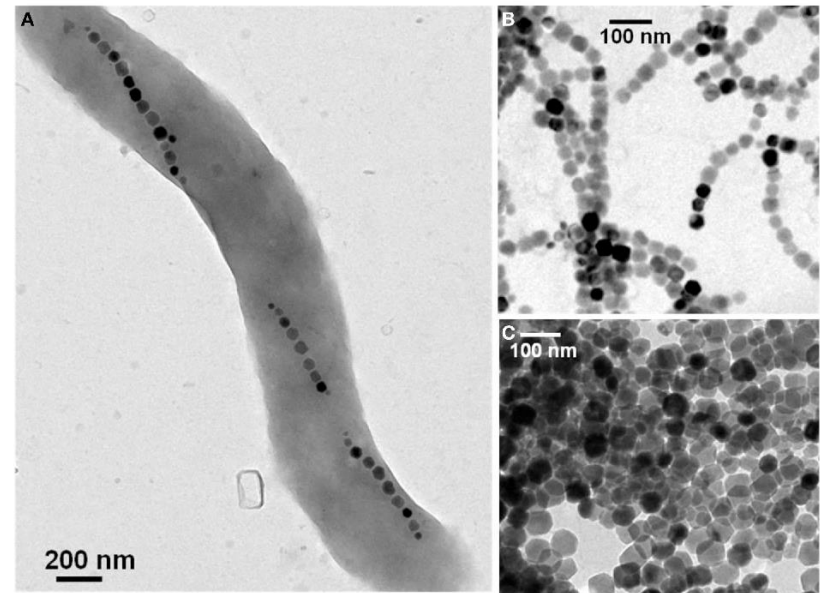


Mágneses folyadék

## Magnetotaktikus baktériumok



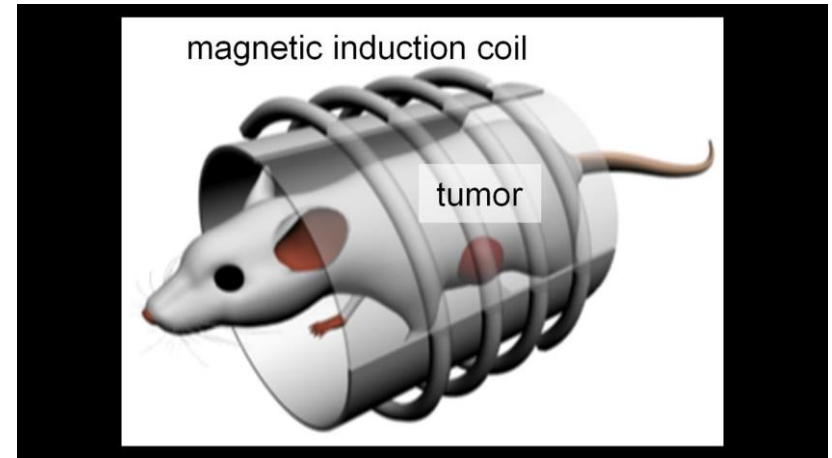
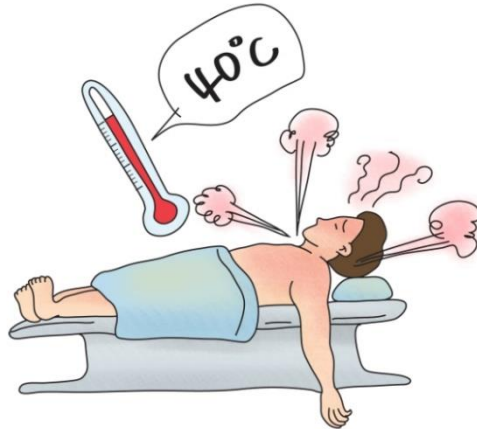
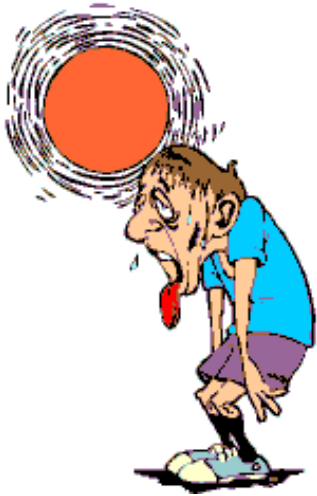
Adrian Muxworthy,  
Imperial College London



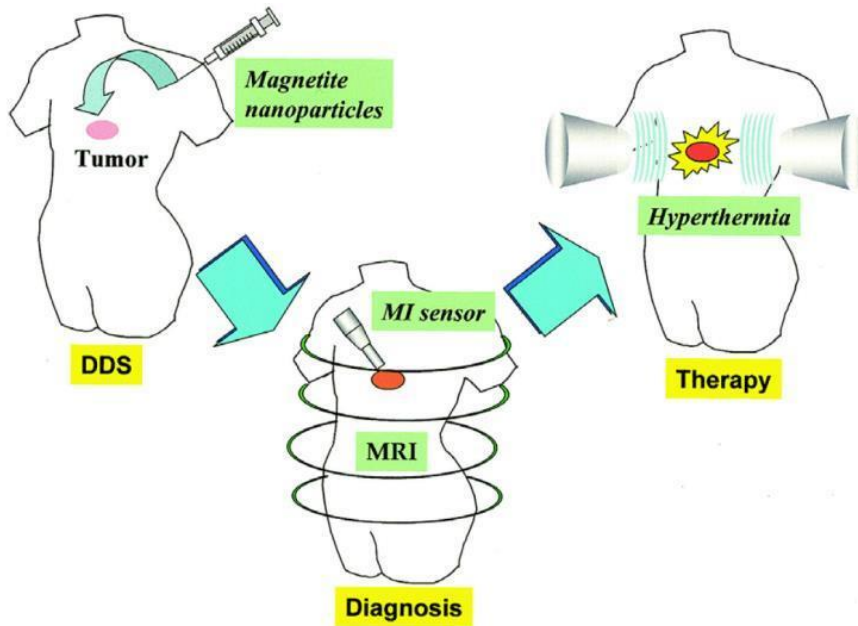
Alphandéry, 2014



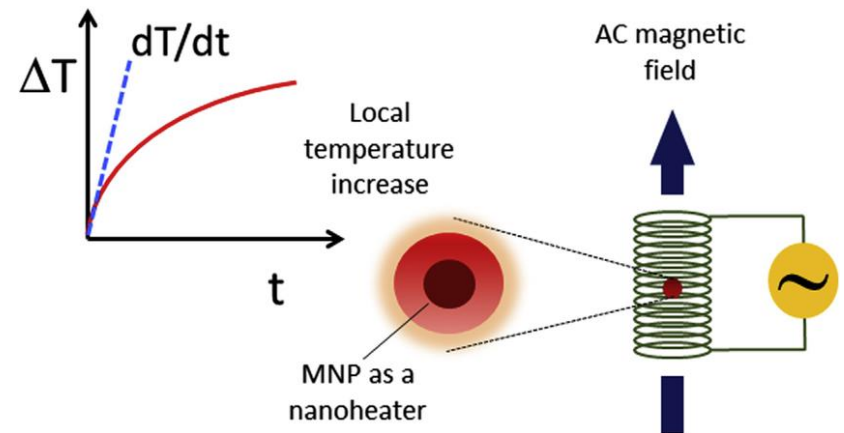
# Mágneses hipertermia



Wogan, Sciencemag, 2011

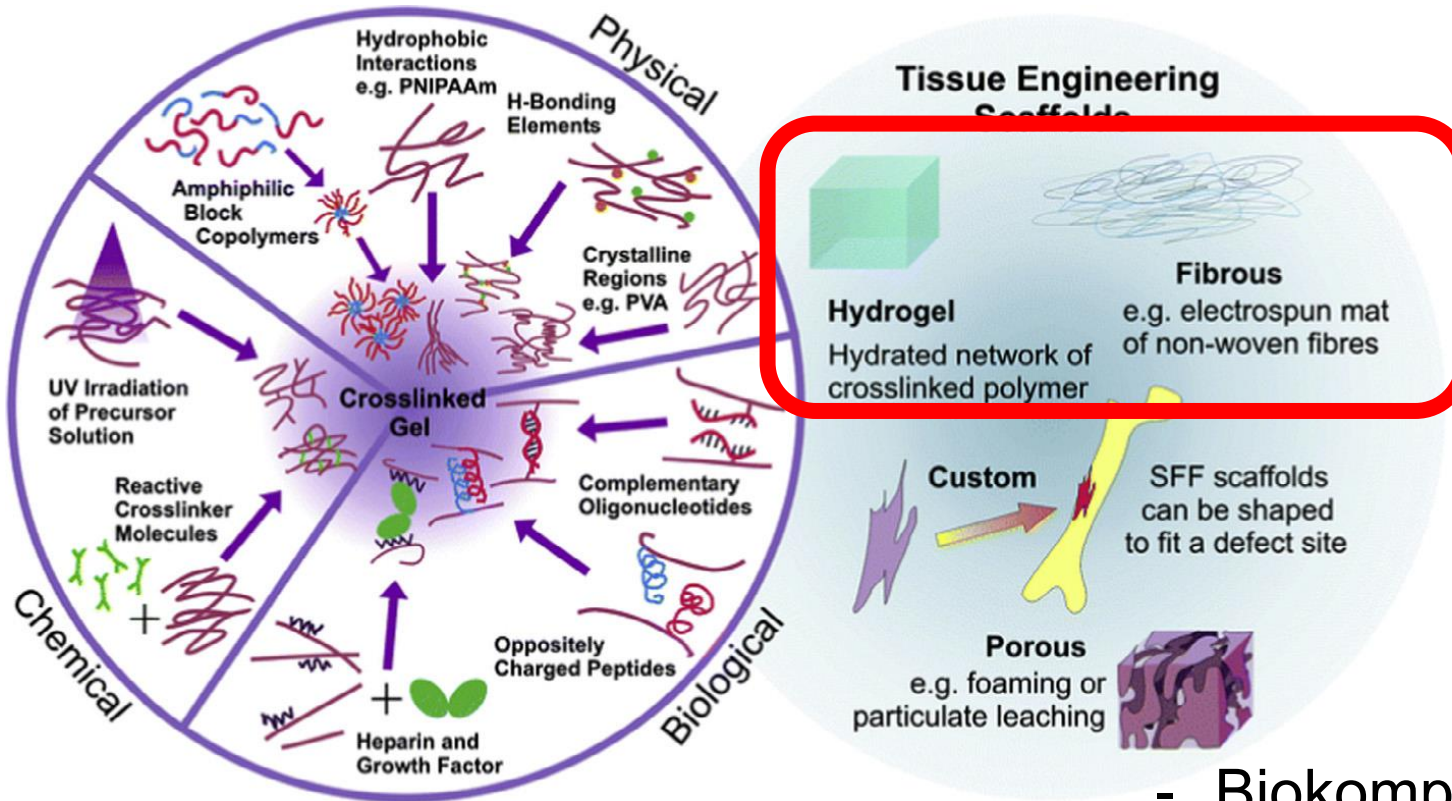


Ito, J. Biosci Bioeng, 2005



Riva, Magnetic Nanocolloids, 2016

# Polimer térhálók orvosi alkalmazása



E.S. Place, J.H. George, C.K. Williams, M.M. Stevens, Chem. Soc. Rev. 2009, 38, 1139–1151

## Mesterséges extracelluláris mátrix

- Biokompatibilitás
- Biodegradáció
- Folyadék megkötése
- Diffúzió
- Mechanikai állandóság
- Pórusos szerkezet

# Polimer nanokompozitok:

Nanorészecske + polimer (+ hatóanyag)

- Biokompatibilitás
- Biodegradáció
- Nagy fajlagos felület
- Kismolekulák rögzítése
- Célbajuttatás



- Biokompatibilitás
- Biodegradáció
- Folyadék megkötése
- Diffúzió
- Mechanikai állandóság
- Pórusos szerkezet

