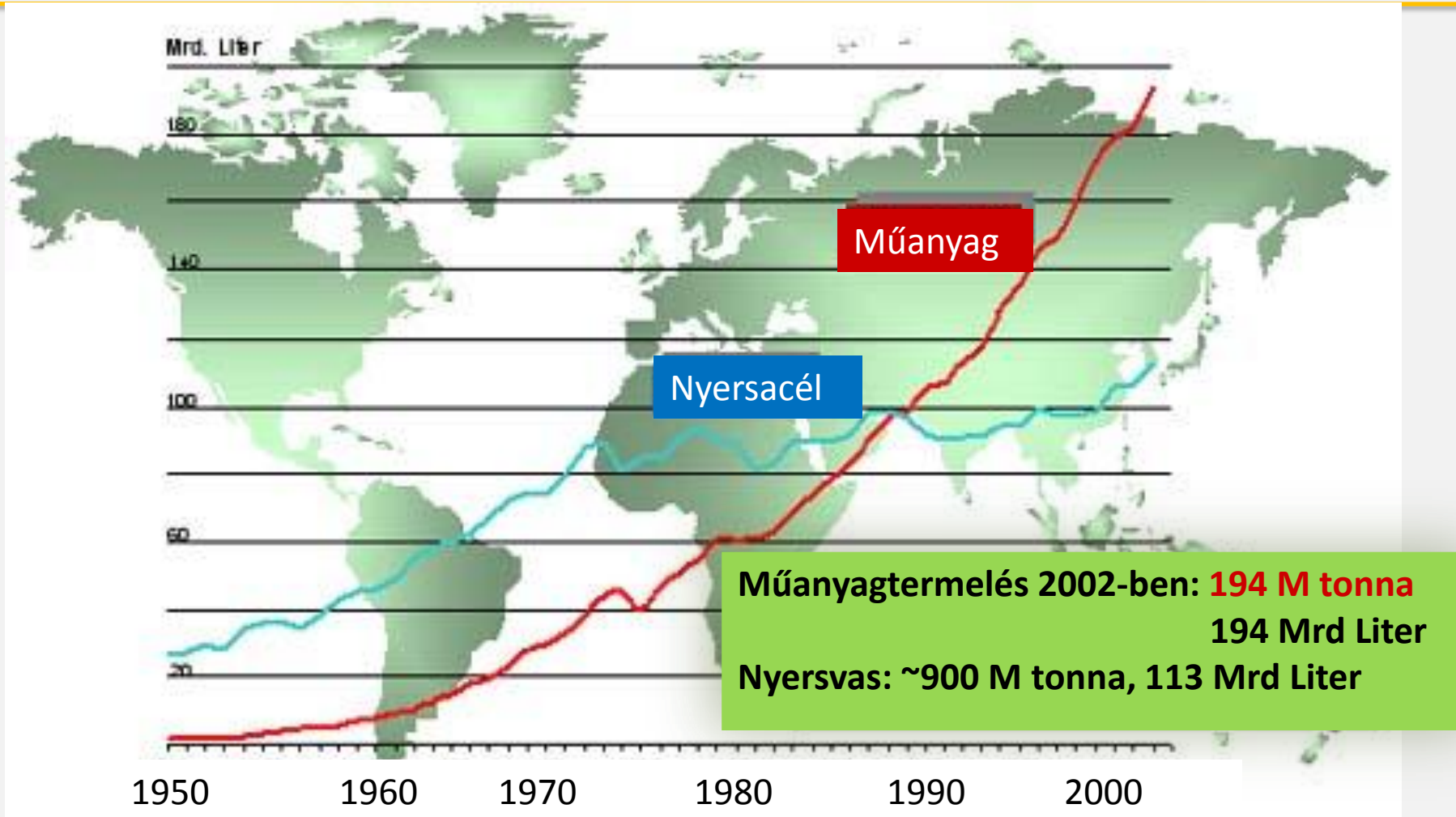


# **Műanyagok és kompozitok anyagvizsgálata 1.**

## **1. Polimerek (Műanyagok) szerkezete, gyártása és típusai**

**DR Hargitai Hajnalka**

# A világ nyersacél és műanyag termelése



# Nem fémes szerkezeti anyagok

Csoportosítás:

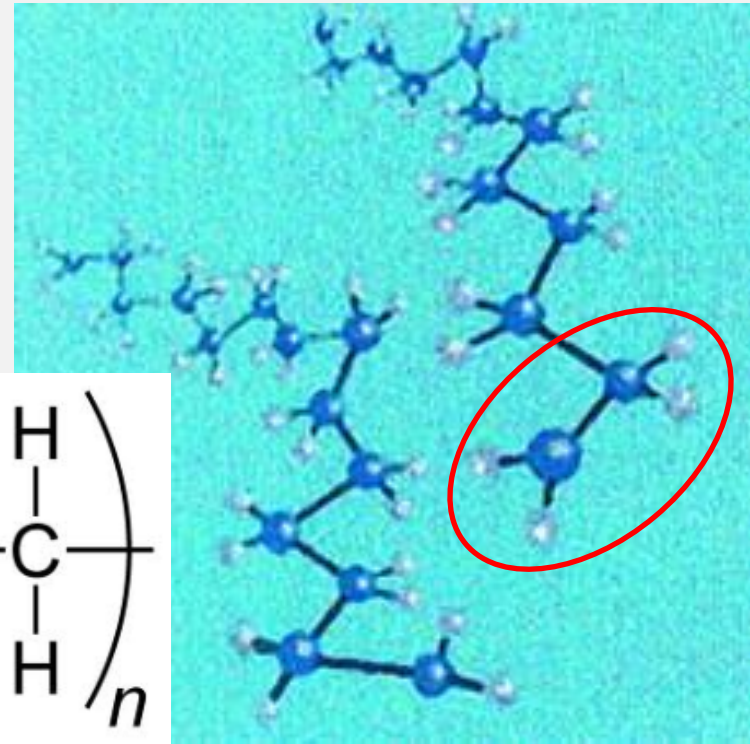
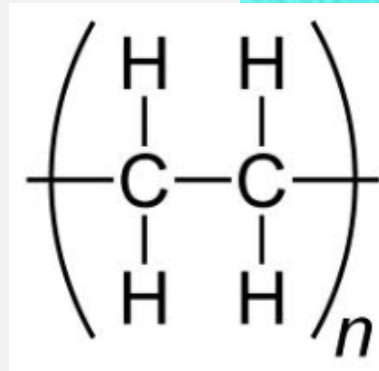
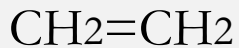
1. **SZERVES** (karbon bázisú) nem fémes szerkezeti anyagok vagy **polimerek**
2. **SZERVETLEN** nem fémes szerkezeti anyagok vagy kerámiák

## MAKROMOLEKULA

- ismétlődő egységekből áll,
- nagy molekulatömegű

## POLIMER:

- makromolekula / makromolekulák összessége
- Hosszúláncú vegyület,
- Ismétlődő építőegység: monomer,
- elsődleges kémiai kötéssel kapcsolódnak.



## POLIMER

### TERMÉSZETES

Fehérje, cellulóz  
(gyapjú, bőr, fa)

### MESTERSÉGES:

## MŰANYAGOK

**Természetes  
alapanyagú műanyagok**

Alapanyag szerint:

Kaucsuk alapúak

Cellulóz alapúak

Fehérje alapúak

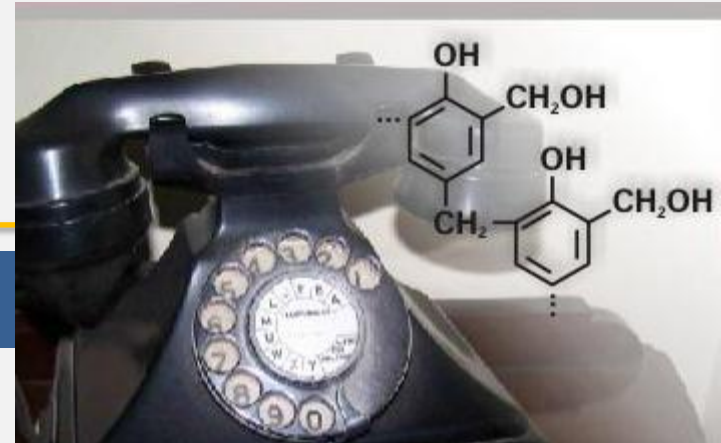
**Mesterséges  
alapanyagú műanyagok**

Előállítási reakció  
típusa szerint:

Polimerizációs

Polikondenzációs

Poliaddíciós



## Laboratóriumi kísérletek 1838-tól

Victor Renault - PVC

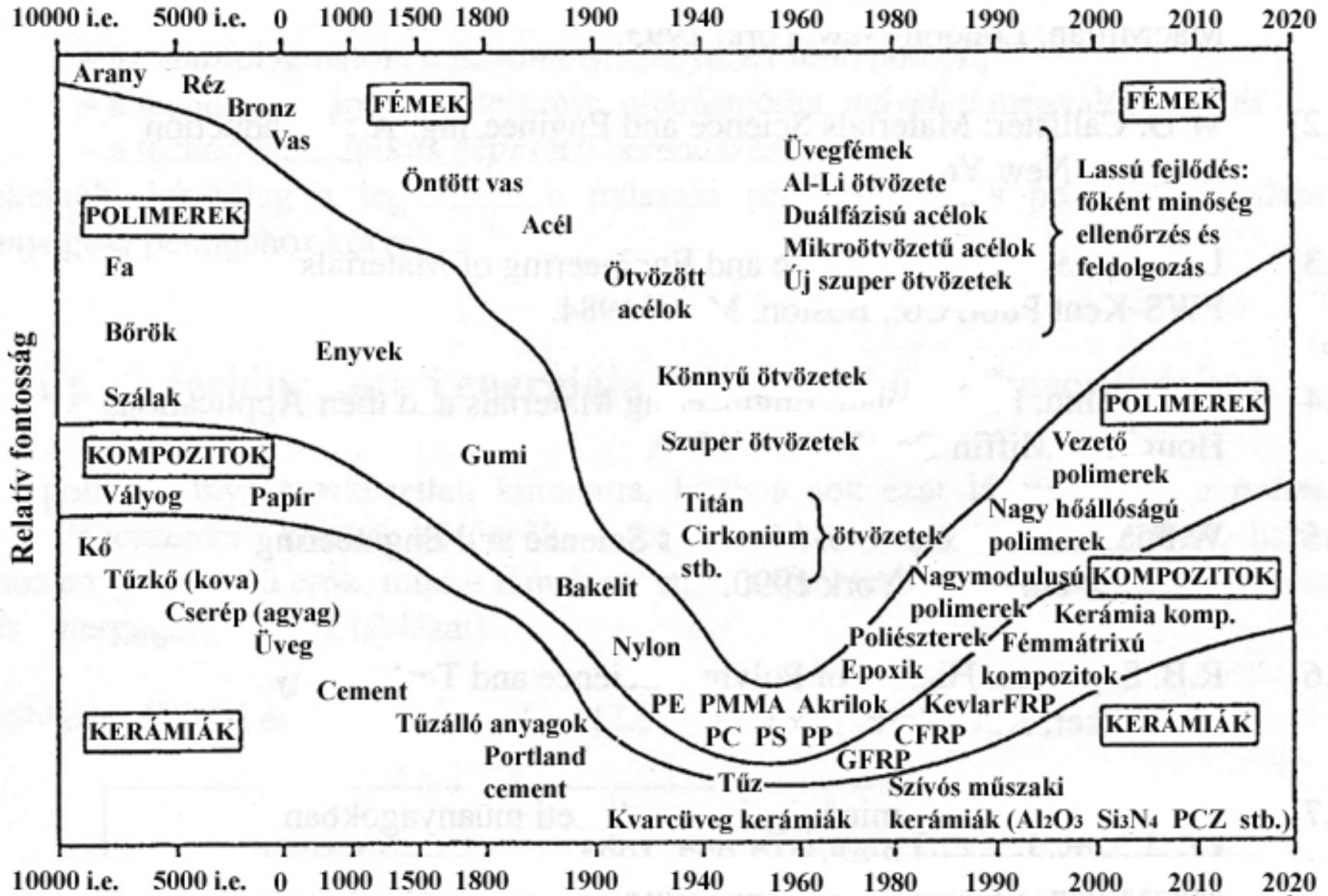
Goodyear - gumit (vulkanizált kaucsuk),  
linóleum és a műbőr

## John Wesley Hyatt (1869) – modern műanyagipar kezdete

cellulóz nitrát (celluloid) - üzemésítette és kereskedelmi forgalomba hozta (az elefántcsont biliárdgolyók kiváltására)

## Az első szintetikus műanyag: 1907-ben Leo Bakeland (Bakelit),

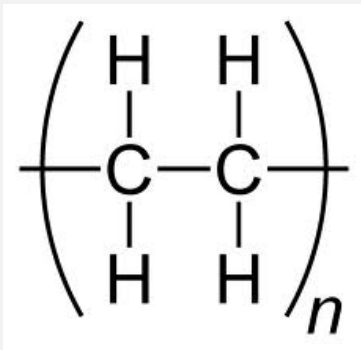
**XX. század második felétől** a műanyagfejlesztés, gyártás és alkalmazás **ugrásszerű növekedésnek** indult.



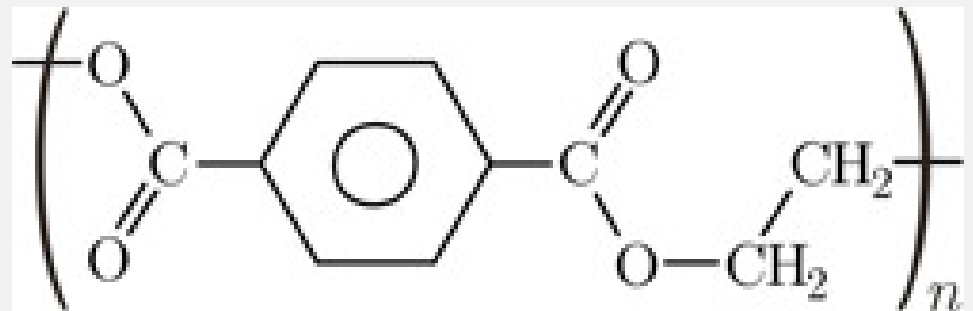
**Polymer** – poly meros („sok rész”)

Dr. Hermann Staudinger (1922): szerves anyagok vázát hosszú molekulaláncok képezik – **műanyag: makromolekula** (óriásmolekula)

A **műanyagok** kisebb molekulákból, **monomerekből** felépített makromolekulák (100-1000) összessége.



PE



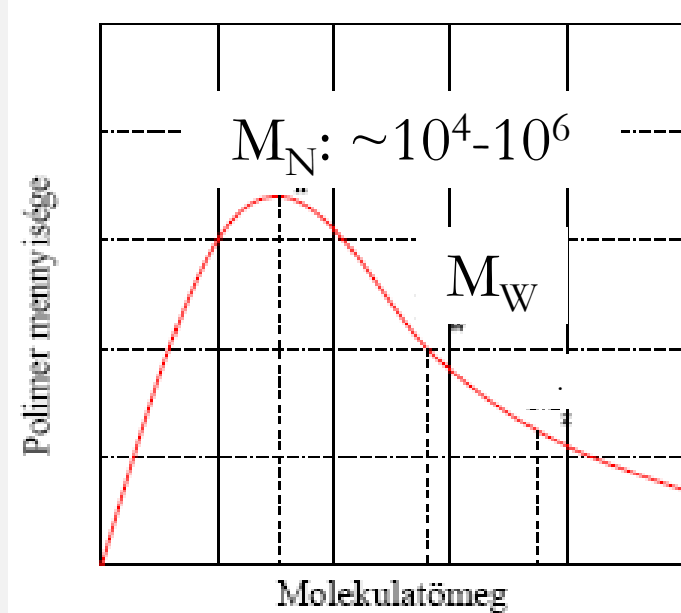
PET

A kisebb (rendszerint 3-10 monomerből) álló polimerek neve **oligomer**.



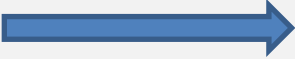
- **Szintetikus** anyagokból (pl. kőolaj)
- **Természetes** (nagy molekulájú) anyagokból (növényi rostok, növényi tejnedvek, fehérjék)
  - **Cellulóz** alapú műanyagok: pl. műselyem, viszkózszivacs, celofán, vatta, cellux.
  - **Cellulóz nitrátból** készülnek többek között a robbanóanyagok, lakk, ragasztó, film/celluloid, hangszerek billentyűi, pingponglabda.
  - Tej, kukorica, szójabab **fehérje**: műszaru gombok, fésű.
  - **Kaucsuk**: gumi,
  - bitumen és a linóleum

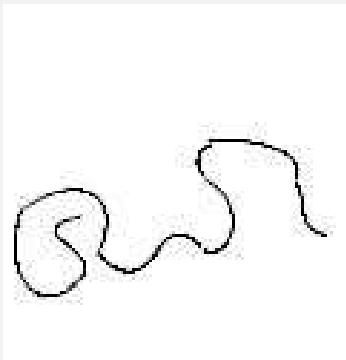
- **Polimerizációs fok:** ismétlődő egységek (monomerek) száma
- különböző hosszúságú láncok alkotják (polidiszperz rendszerek)
- Nincs egyetlen jól definiált molekulatömege: átlagos molekulatömeg, illetve molekulatömeg-eloszlás
- Számszerinti ( $M_N$ ) és tömegszerinti molekulatömeg ( $M_w$ )
- **polidiszperzitás foka ( $M_w/M_n$ )**



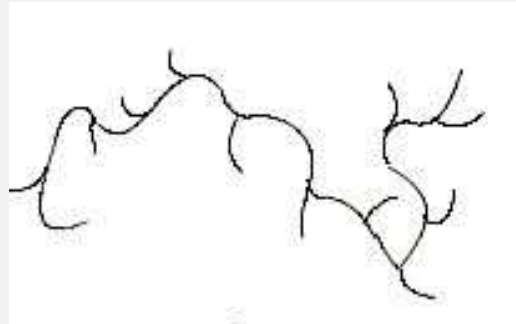
$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

$$M_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i}$$

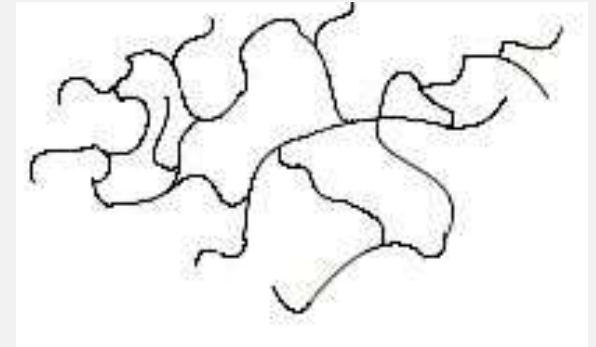
POLIMERIZÁCIÓS FOLYAMATOK JELLEGE ÉS  
KÖRÜLMÉNYEI  LÁNCOK SZERKEZETE



fonalmolekula



elágazott fonalmolekula



térhálós molekula

# Műanyagok csoportosítása

A műanyagok *mesterséges úton előállított szerves vegyületek.*

Eredet szerint (természetes, mesterséges),

Előállítás reakciótípusa szerint

Szerkezet (a polimermolekulák alakja szerint),

Hővel szembeni viselkedés alapján, feldolgozhatóság és alakíthatóság:

- Hőre lágyuló (85-90%-a a termelésnek)
- Hőre nem lágyuló

Tulajdonságok alapján:

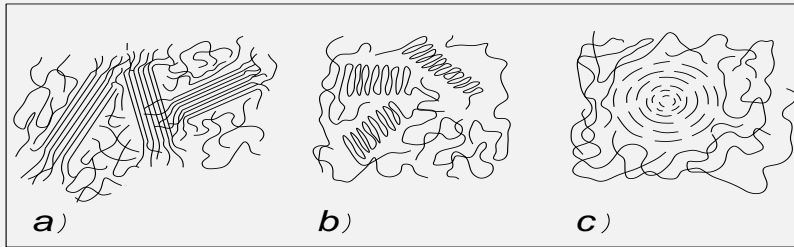
- Tömegműanyagok
- Műszaki műanyagok
- Különleges tulajdonságú műanyagok

## Hőre lágyuló műanyagok

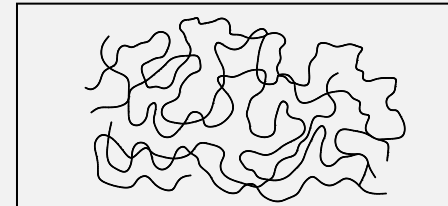
Láncmolekuláit **másodlagos kémiai kötések** kapcsolják össze:

van der Waals féle erők, dipólus erők, hidrogénhidak.

### Részben kristályos termoplasztok

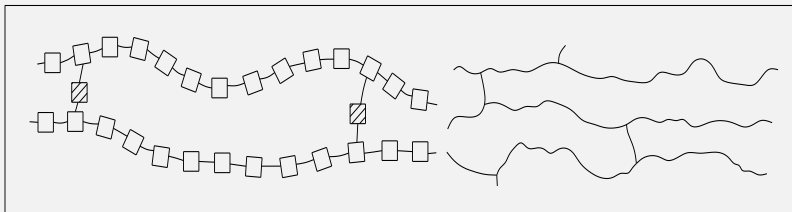


### Amorf termoplasztok

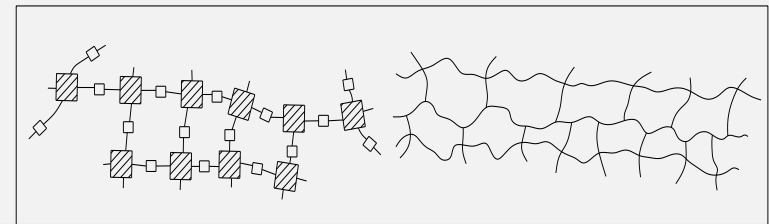


## Hőre nem lágyuló műanyagok

### Elasztomerek



### Duromerek



# Hőre lágyuló műanyagok

- láncmolekulákból épülnek fel,
- olvasztás – szilárdulás **reverzibilis**,
- **erős** kémiai kötés a **láncon belül**,
- **láncok közötti** kötés **gyenge**,
- **hő hatására** az anyag meglágyul, majd **megolvad**.



## Amorf

Olvadásuk nem egy határozott hőmérsékleten, hanem egy tartományban megy végbe.

PVC, PS, SAN, ABS, PMMA, PC

## Részben kristályos

(kétfázisú: amorf+kristályos)

Típus	Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Elágazottság (CH <sub>3</sub> /1000 C)	Kristályosság (%)	Modulus (GPa)
LDPE	0,921	12	35	0,17
HDPE	0,970	0	70	1,35

A kristályossági fok <100%,  
hosszútávú rendezettség  
nagy szilárdságú,  
nehezen oldódó,

A tulajdonságokat meghatározza a kristályszerkezet, kristályossági fok.

LDPE, HDPE, LLDPE, PP, PA, POM, PET

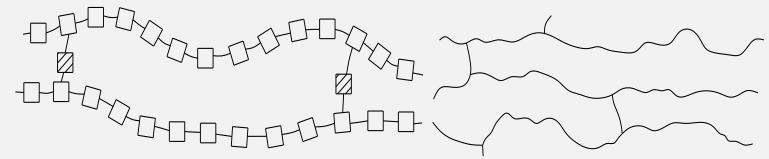
# Hőre **nem** lágyuló műanyagok

- szerkezetük **irreverzibilis** megváltoztatásuk nélkül már képlékeny vagy folyékony állapotba nem hozható,
- feldolgozásuk során csak **egyszer alakíthatók** **plasztikusan**,
- **térhálós** molekula elrendezéssel jellemezhető,
- ha a hőmérséklet a bomláspontra fölé emelkedik a láncon belüli kötések sérülnek, a **műanyag bomlik** (szenesedik),
- molekuláit **erős vegyi kapcsolat** köti össze.



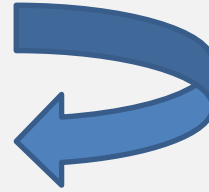
# Hőre nem lágyuló, elasztomerek

- Ritka térháló (a főlánc néhány száz atomjára egy keresztkötés jut),
- az egész polimerháló mozoghat,
- rugalmasság
- Pl. PUR, szilikon, sztirolbutadien gumi



# Hőre nem lágyuló, duroplasztok

- minden irányban **valódi vegyérték kötések**
- térben három dimenziós háló alakul ki.
- **térhálós szerkezet**
- hővel szembeni viselkedés irreverzibilis.



*hőre lágyuló műanyagok:*

- *por vagy granulátum formában*

*hőre nem lágyuló műgyanták*

- *por vagy folyékony félkész-termékként*

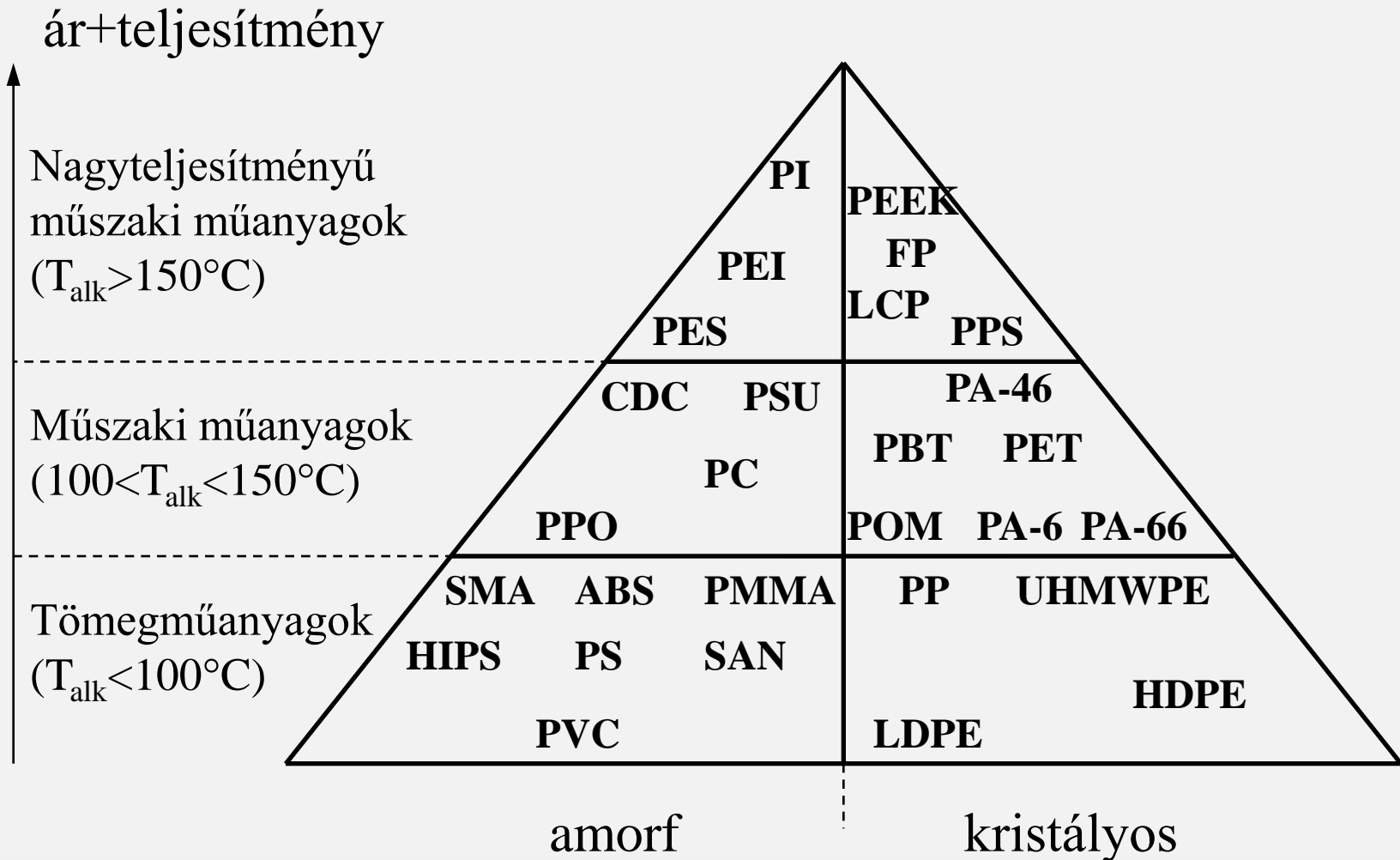


**A feldolgozásra kerülő alapanyagok tulajdonságait különböző adalékokkal javítják.**

- A **stabilizátorok** :növelik a mű-anyagok fény- és vízállóságát, késleltetik az öregedésüket.
- Az **antisztatizáló szerek** (fémpor, korom) csökkentik a műanyagfelületek elektrosztatikus feltöltődését.
- A **csúsztatószer**ek a műanyagok könnyebb alakíthatóságát segítik elő.
- **Színezék** adagolására kizárólag esztétikai szempontból kerül sor.

# Műanyagok tulajdonságai

- kis sűrűség → acélokénak 15-25%-a → járműszerkezet, csomagolás stb.
- kedvező kopási és siklási tulajdonságok → siklócsapágyak
- szakítószilárdságuk a fémeknél kisebb
- nagy a kúszásuk → deformáció tartós terhelésre
- jelentős a feszültség relaxáció → csavarkötés oldódása
- rugalmas- és maradó alakváltozás
- rugalmassági tényezőjük kicsi → szerelést megkönnyíti pontatlanság esetén
- kedvező rezgéscsillapító hatás
- kiváló elektromos- és jó hőszigetelő képesség
- hővel szemben érzékenyek → hőre lágyuló 100 C-ig, nem lágyuló 200 C-ig
- jó vegyszer és korrózió állóság
- öregedésre hajlamosak → pl. UV sugárzás.



Az anyag **deformációjának** és **folyásának** a tudománya.

„rheo” - a görög „rheos” szóból: folyam, folyás, áramlás  
**Panta rhei: minden folyik; Héракleitosz i.e. VI sz.)**

Az anyagok folyását és deformációját tanulmányozza külső feszültségek (erők) hatására (az idő függvényében).

1929. december 9: The Society of Rheology (E. C. Bingham és M. Reiner)

**Deformáció: a test pontjainak relatív elmozdulása,**  
két típus:

1. **Folyás** a deformáció **irreverzibilis** része: amikor a feszültség megszűnése után az anyag nem nyeri vissza az eredeti alakját (a munka hővé alakul).
2. **Elasztikus** vagy **reverzibilis** deformáció. (A munkát visszanyerjük és a test felveszi eredeti alakját.)

## GYAKORLATI JELENTŐSÉGE:

a polimer feldolgozási technológiáknál felmerülő  
problémák megoldásánál

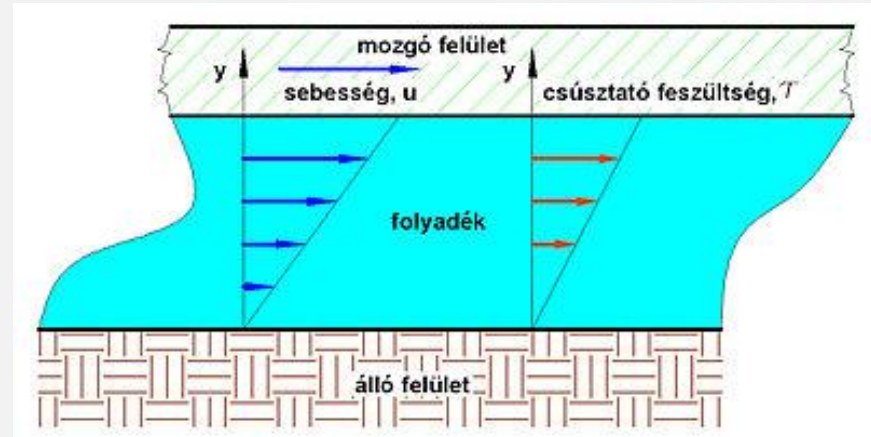


# A folyási tulajdonságok alapvetően függenek:

- a molekulatömegetől, (víz:  $10^{-3}$  Pas, műanyag:  $10^2 - 10^5$  )
- A polimer láncszerkezetétől, pl. lineáris (HDPE, PP, PS) vagy elágazó (LDPE),
- A feldolgozás hőmérsékletétől,
- Nyomás,
- Idő,
- Degradáció (molekulalánc tördelődés),
- Nyírási sebesség.

- **Viszkozitás (belső súrlódás, folyással szembeni ellenállás)** egy gáz vagy folyadék belső ellenállásának mértéke a csúsztató feszültséggel szemben.
- **Newton elmélete:**
  - Lamináris (réteges) áramlás

$$F = \eta A \frac{du}{dy}$$



$$\tau = -\eta \frac{du}{dy} \Rightarrow \eta = -\frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

csúsztató feszültség:

nyírási sebesség

# Newtoni és nem-newtoni folyadékok

5 – **plasztikus folyadék**

4 - Bingham folyadék, (pl. iszapfolyások leírása, fogkrém, majonéz, puding)

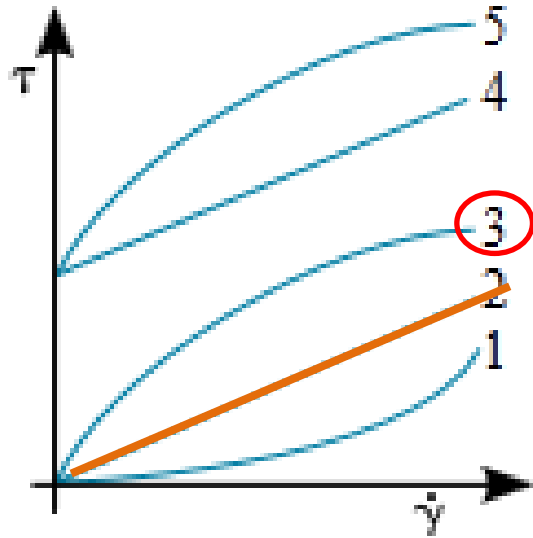
3 - **Pszudoplasztikus folyadék**, (pl. vér, festék)

2 – **Newtoni folyadék**,

1 – dilatáns folyadék, (golyóálló mellény...puliszka

<http://www.youtube.com/watch?v=wP0QZfqE3x>

[o](#))



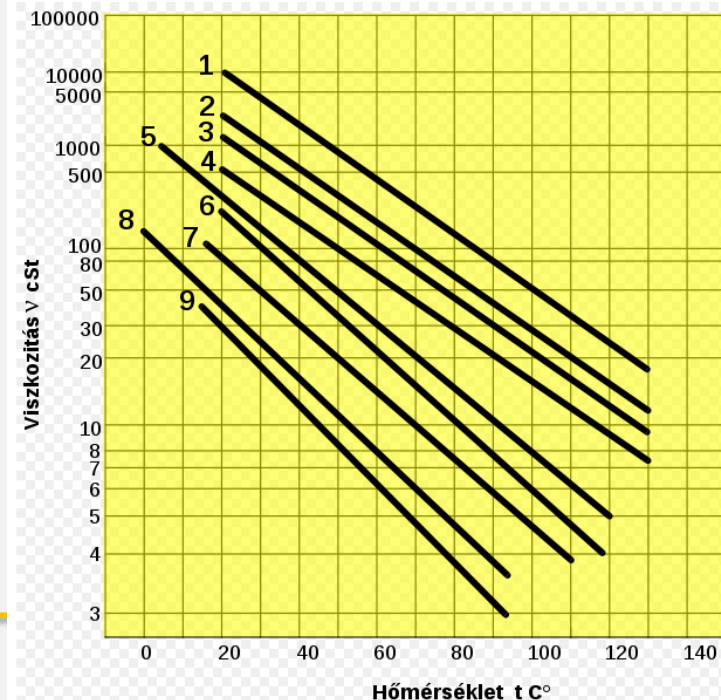
## Viszkozitás [Pas]:

Víz:  $10^{-3}$ , Etil-alkohol:  $0,248 \times 10^{-3}$

Méz: 10, Vér:  $25 \times 10^{-3}$

Kőolaj:  $0,65 \times 10^{-3}$

**Polimer:  $10^2 - 10^5$  feldolgozás alatt**



- Newtoni folyadékok esetén csak a hőmérséklettől függ.
- Nem-newtoni folyadékoknál változik a deformáció sebességével.

# Melt flow index/ Folyási mutatószám

- **MFI vagy MFR: a szabványos mérőkészülékből adott hőmérsékleten és terhelőerő mellett 10 perc alatt kifolyt anyag mennyisége.**
- PE (ASTM D-1238):  $F=2,16\text{kg}$ , kapilláris átmérője  $D=2,095\text{ mm}$  és hossza:  $L=8\text{mm}$ . A vizsgálati hőmérséklet:  $190^{\circ}\text{C}$ .
- Mérése: kapilláris plasztométerrel.
- Kis MFI érték nagy molekulatömegű, nagy viszkozitású anyagot jelent.

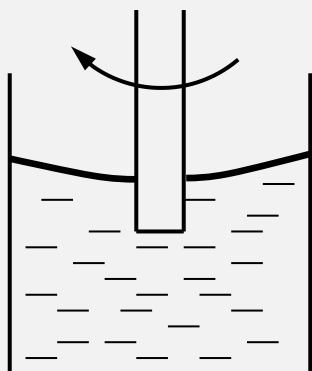
- **Viszkoelasztikus hatások**
  - Kifolyási duzzadás
  - Weissenberg hatás
  - Kaye hatás
- **Jelenségek**
  - Nyírási (nyomásra) vékonyodás (tixotróp anyagok) pl. festékek
  - Nyírási vastagodás(dilatáns anyagok)

# Rúdra mászás (Weissenberg hatás)

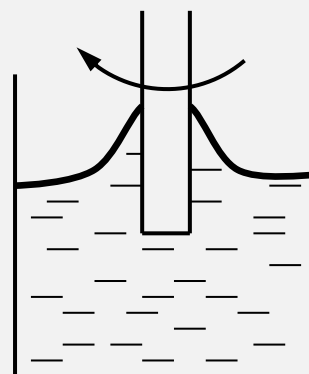
<http://www.youtube.com/watch?v=nX6GxoiCneY&NR=1>

<http://www.youtube.com/watch?v=hraaO3fhPz4>

Newtoni folyadék



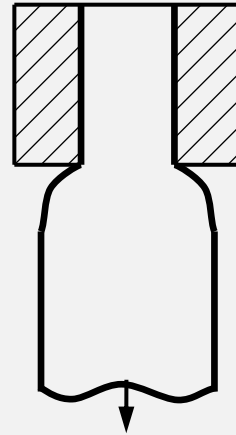
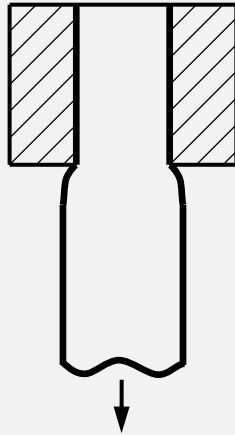
Viszkoelasztikus folyadék



# Kifolyási duzzadás

Newtoni folyadék duzzadása  
~13%

Viszkoelasztikus folyadék  
duzzadása akár 400%



$$\frac{d}{D} = 4,00$$

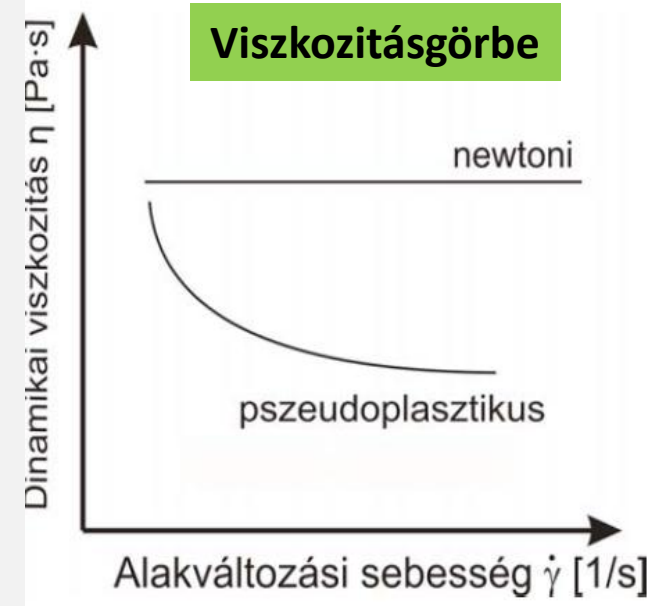
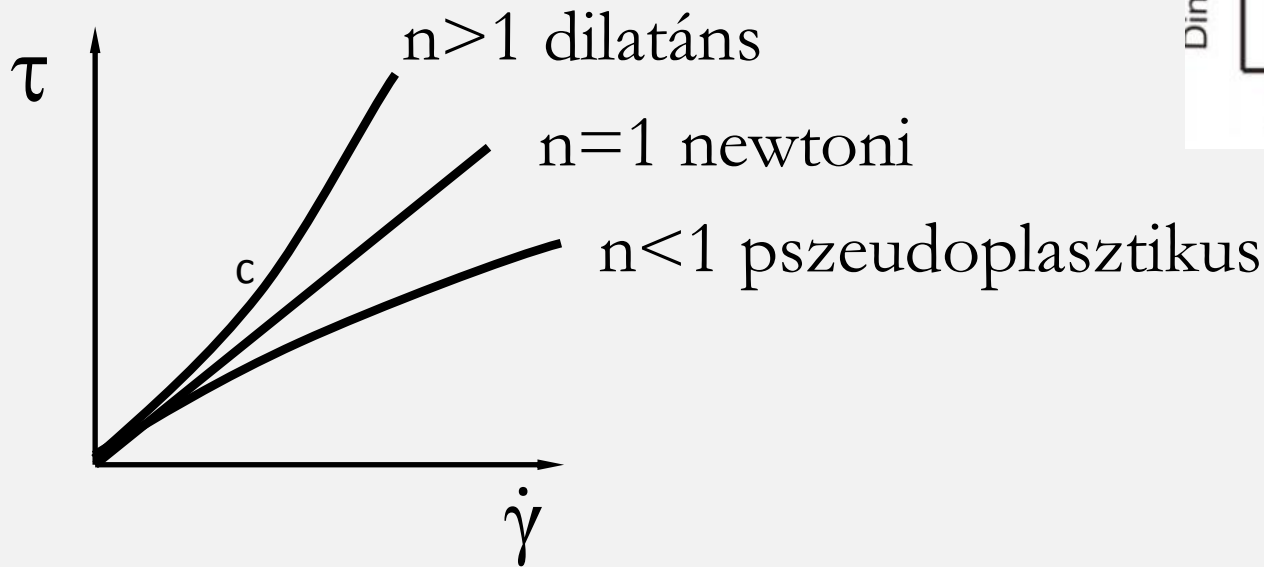


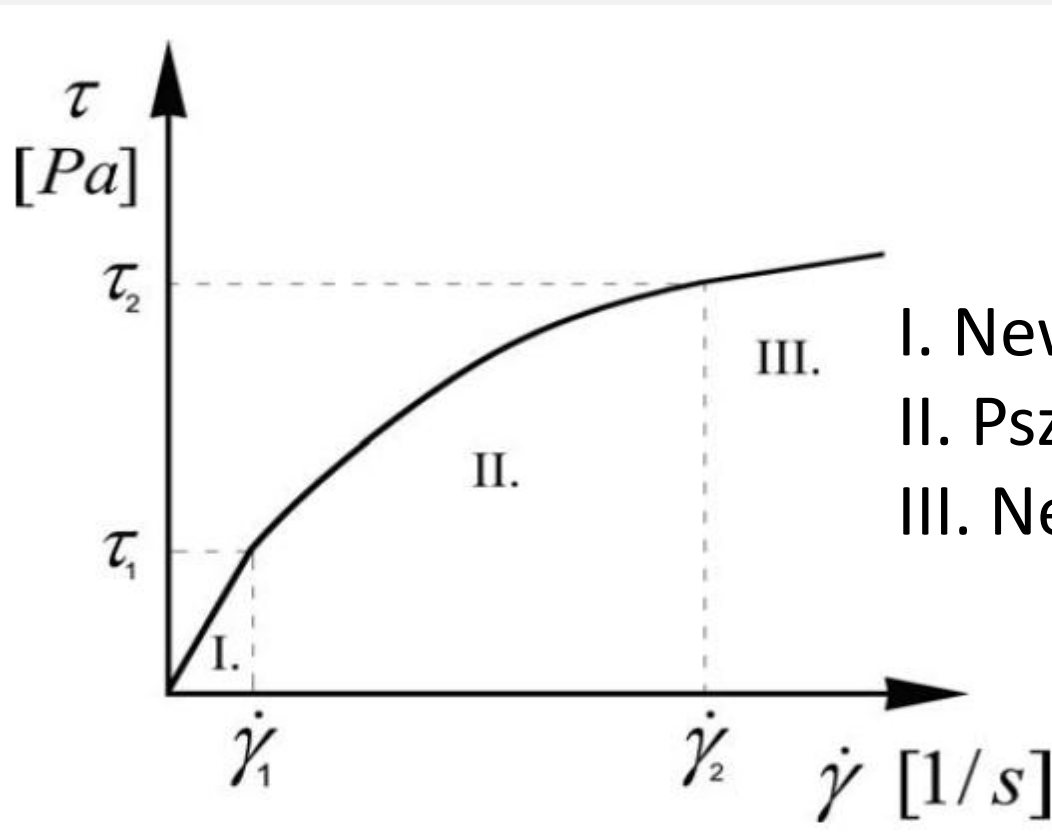
# Pszeudoplasztikus viselkedés (Nyírásra vastagodás)

Newtoni:  $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$

Nem-Newtoni:  $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$

Folyásgörbe





- I. Newtoni viselkedés
- II. Pszeudoplasztikus viselkedés
- III. Newtoni viselkedés

# Feszültség-deformáció kapcsolat polimer rendszereknél

**Reológia:** Testek deformációs mechanizmusával foglalkozó tudomány

A terhelés hatására az anyagokon létrejövő teljes alakváltozást komponensekre bontjuk

$$\varepsilon_{\ddot{o}} = \varepsilon_{pr} + \varepsilon_{kr} + \varepsilon_m$$

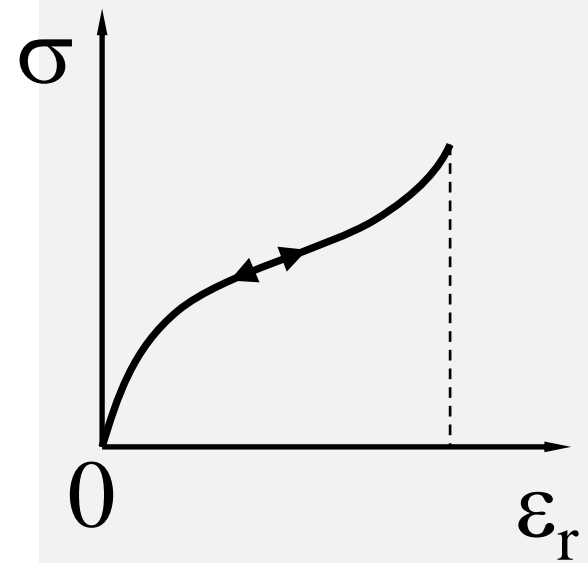
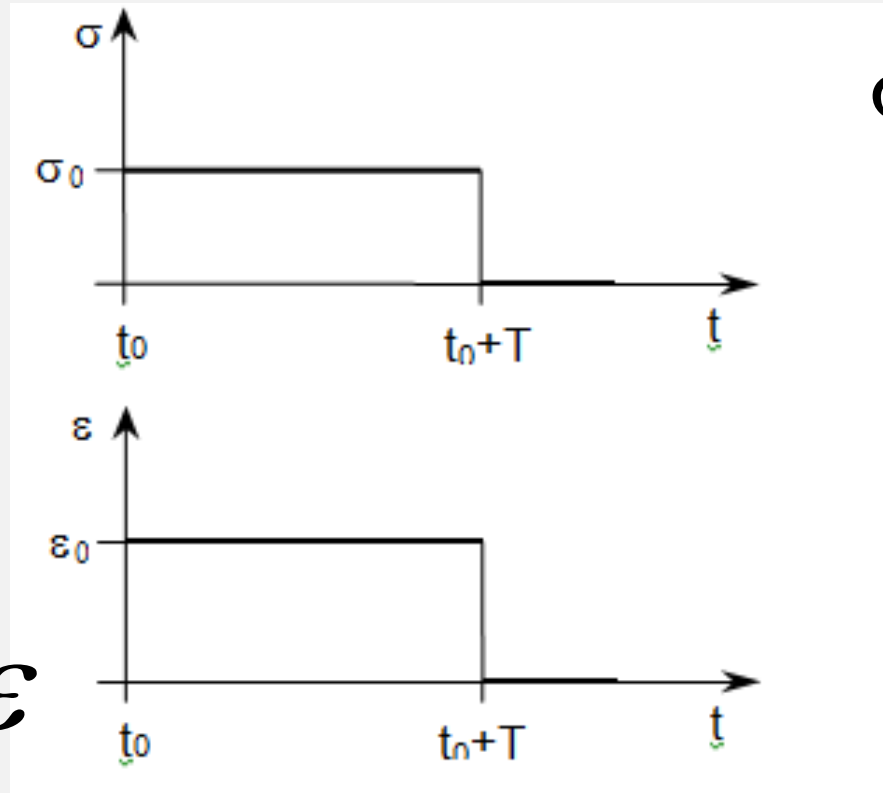
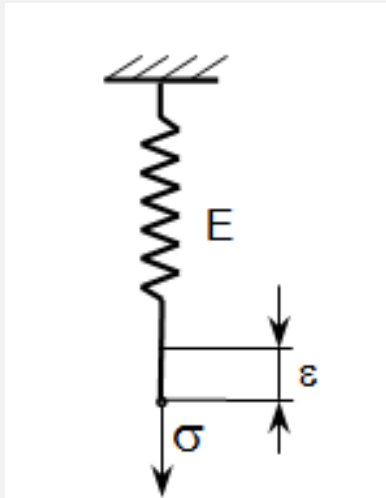
Az alakváltozások időbeli lefutását leíró függvények a számítások elvégezhetősége érdekében egyszerűsített törvényeket használunk.

pillanatnyi rugalmas alakváltozás: **Hooke törvény**

késleltetett rugalmas alakváltozás: **Kelvin-Voigt mozgástörvény**

maradó alakváltozás: **Newton-törvény**

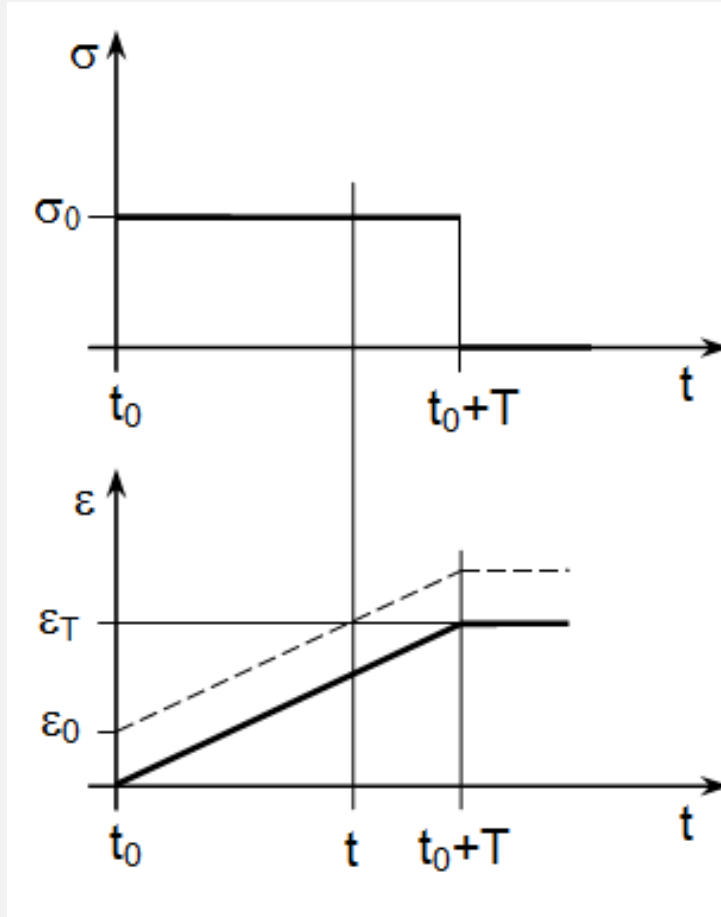
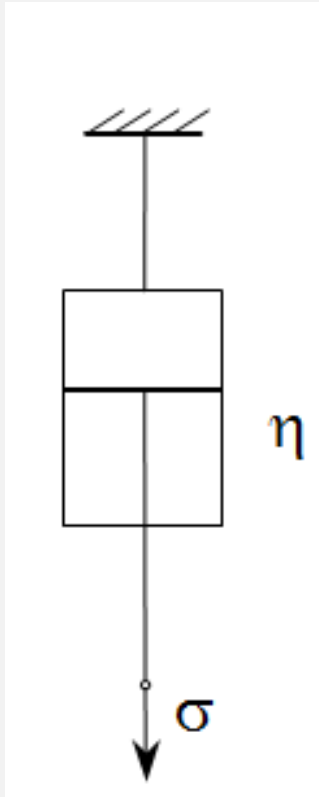
- Ideálisan rugalmas viselkedés



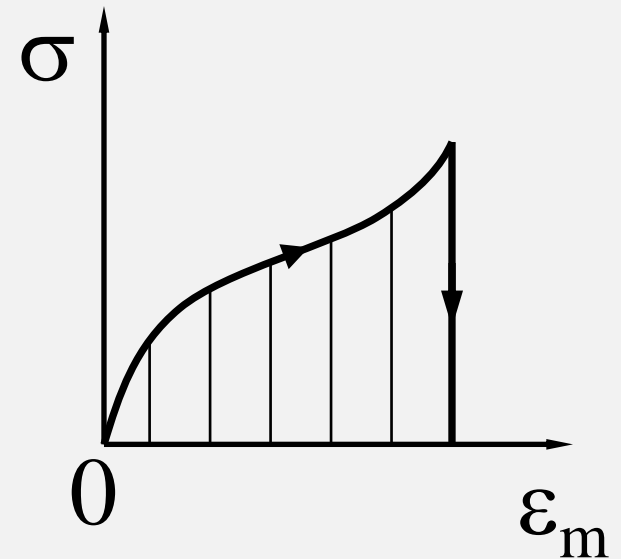
$$\sigma = E\epsilon$$

# Newtoni test

Egyszerű folyadék (viszkózus) modell



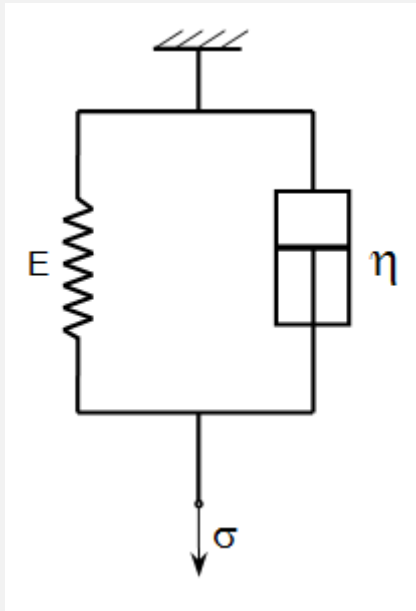
$$\sigma = \eta_0 \dot{\epsilon}$$



$$\epsilon(t) = \frac{1}{\eta} \sigma_0 \cdot t + \epsilon_0$$

# Kelvin-Voight modell

A LEGEGYSZERŰBB KÉSLELTETETT RUGALMAS MODELL

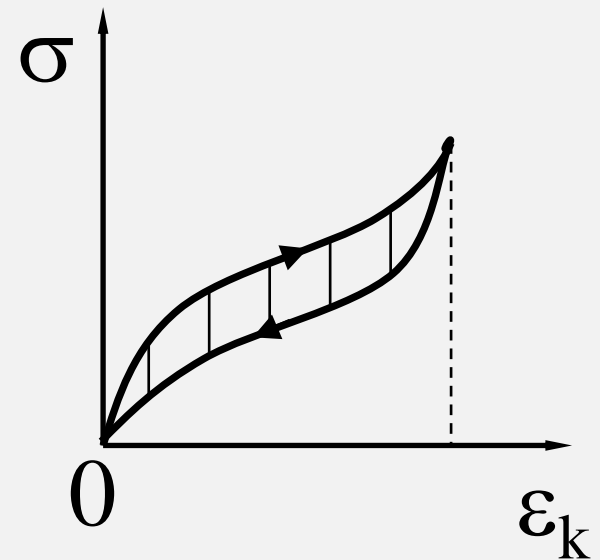


$$\varepsilon_{\ddot{o}} = \varepsilon_E = \varepsilon_{\eta}$$

$$\sigma_{\ddot{o}} = \sigma_E + \sigma_{\eta}$$

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t) + \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\sigma = E\varepsilon + \eta_0 \dot{\varepsilon}$$



## **Kúszás:**

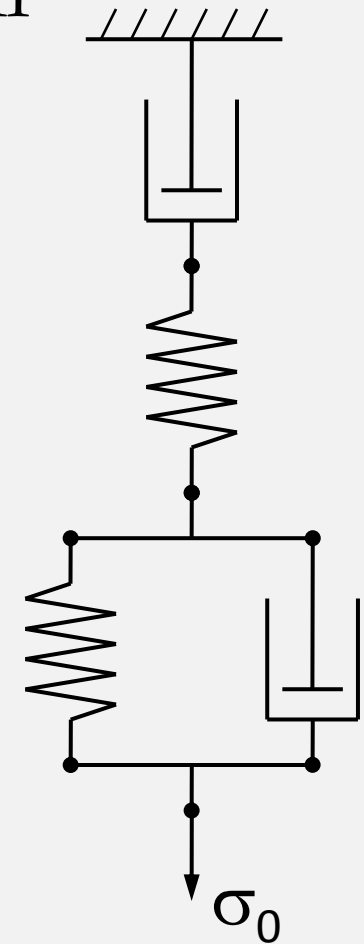
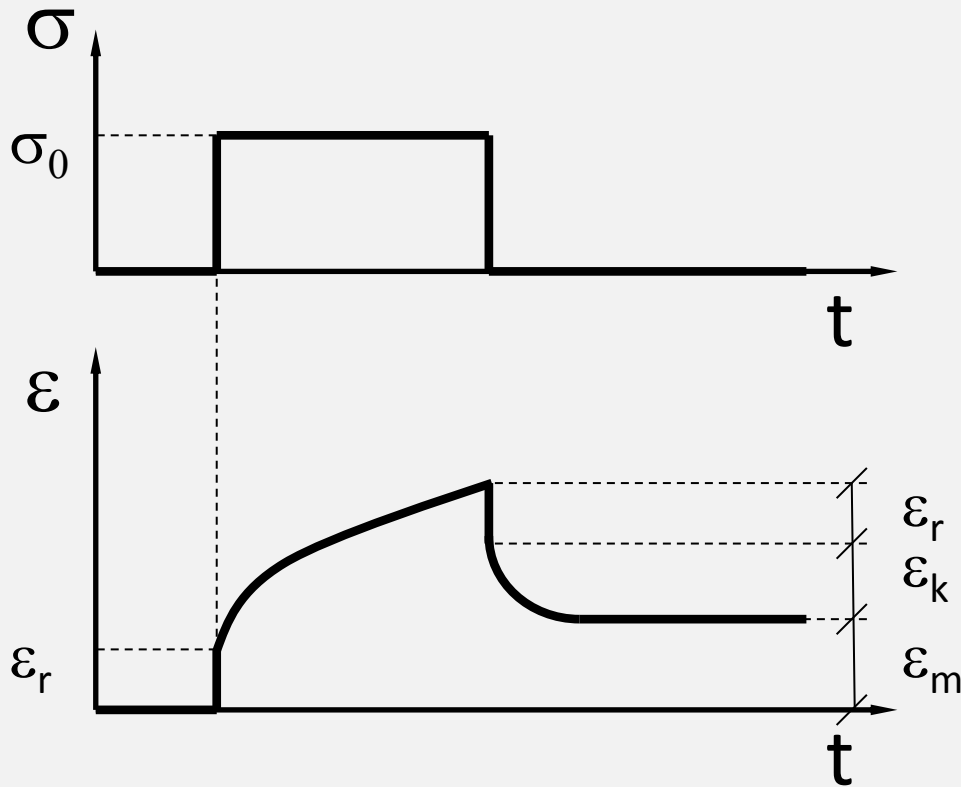
állandó (konstans) feszültség mellett a deformáció idővel növekszik. Ez a molekulaláncok átrendeződésével magyarázható, azaz a szilárd műanyagok „erő hatásra folynak”.

## **Feszültség relaxáció:**

állandó értéken tartott deformáció mellett idővel az anyagban csökken, feloldódik az anyagban ébredő feszültség.

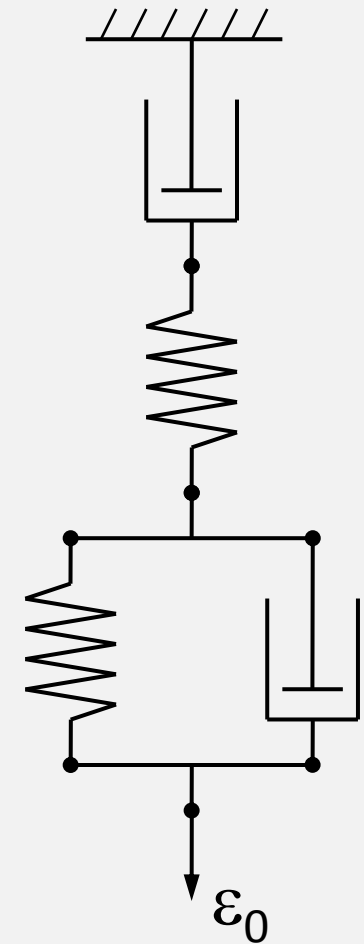
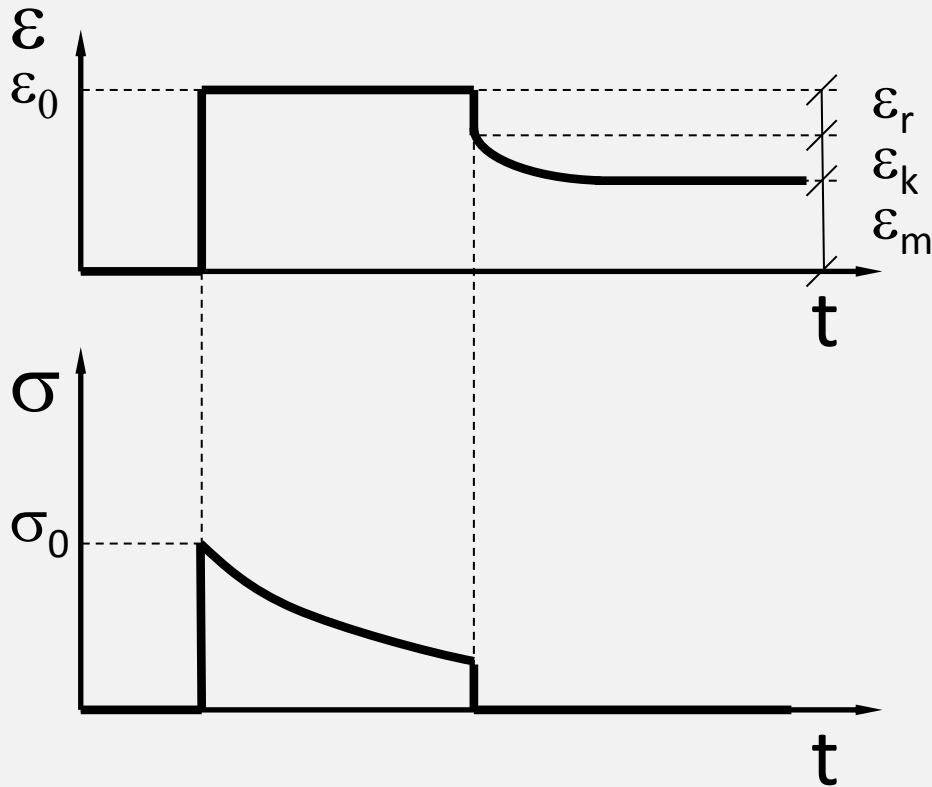
# A kúszás modellezése

- Burgers-féle négyparaméteres modell



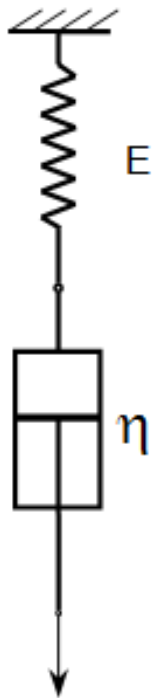


- Burgers modell



# A feszültség relaxáció modellezése

## MAXWELL MODELL

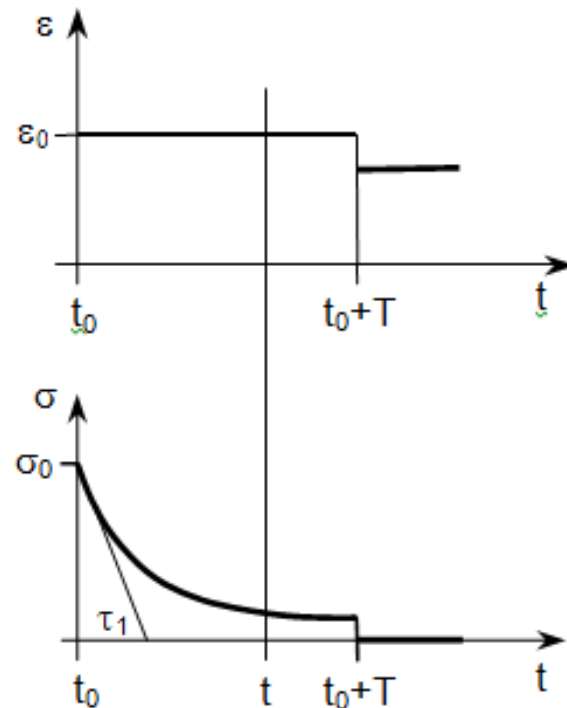


$$\sigma_{\ddot{o}} = \sigma_E = \sigma_{\eta}$$

$$\varepsilon_{\ddot{o}} = \varepsilon_E + \varepsilon_{\eta}$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{\eta} \int \sigma(t) dt$$

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon_0 \cdot e^{-\frac{E}{\eta} t}$$



- A műanyagok viszkozitása nemcsak a hőmérséklettől, de az igénybevételtől (nyírási sebesség) is függ.
- A polimerek viszkoelasztikus anyagok (nyírási vastagodás, rúdramászás, kifolyási duzzadás, ömledéktörés, cápabőr).
- Tulajdonságai időfüggőek (kúszás, feszültségrelaxáció).

## **2. Polimerek fizikai, mechanikai, termikus tulajdonságai**

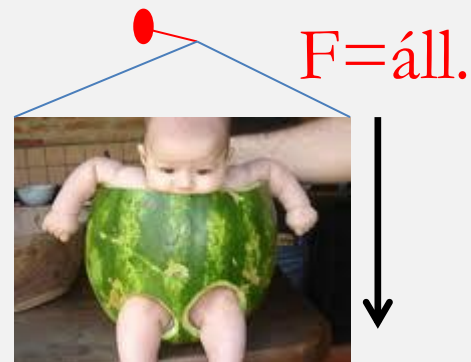
DR Hargitai Hajnalka

- monomer egységekből, makromolekulákból épül fel,
- nagy molekulatömeg,
- Polidiszperz rendszerek, molekulatömeg eloszlás,  
( $PDI = M_w / M_n$ )
- viszkoelasztikus viselkedés (egyidejűleg többfajta deformáció),
- kis rendezettség, kristályosság
- nagy viszkozitás (struktúrviszkózus anyag) ( $f(\tau, T)$ )
- orientáció

# Tulajdonságok időfüggése

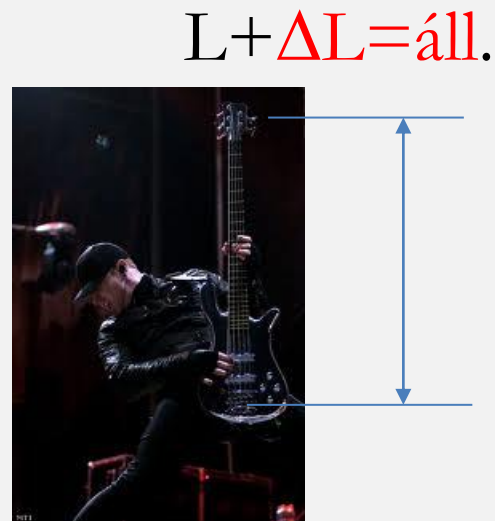
## Kúszás:

**állandó (konstans) feszültség** mellett a deformáció idővel növekszik. Ez a molekulaláncok átrendeződésével magyarázható, azaz a szilárd műanyagok „erő hatásra folynak”.



## Feszültség relaxáció:

**állandó értéken tartott deformáció** mellett idővel az anyagban csökken, feloldódik az anyagban ébredő feszültség.



1. Halmazállapot: gáz, folyadék, szilárd
2. Fázisállapot (rendezettség): kristályos, amorf
3. **Fizikai állapot**

# Fázisállapot: **Amorf állapotok**

- **Ömledék:** szabad rotáció, a makromolekulák folytonos mozgása lehetséges
- **Üveg:** nincs rotáció, a kötések körüli rotációhoz szükséges energia (alacsony hőmérsékleten) nem áll rendelkezésre.



# Polimerek fizikai állapotai

A **fizikai állapotok** kis molekulatömegű anyagok esetében nem léteznek,

ezek a **polimerekre jellemzőek:**

**Azonos fázisállapotú,  
de fizikai szerkezetében és a molekulaláncok  
hőmozgásának típusában eltérő polimer állapotok.**

Egy részecske hőmozgása:

**Mikro-Brown** típusú, ha az a részecske **rögzített tömegközéppontja** körül történik.

**Makro-Brown** típusú, ha a **részecske haladó mozgást** is végez, vagyis elmozdul a tömegközéppontja.

Tehát az egyes fizikai állapotokat a belső energia nagysága, a hőmozgás mértéke határozza meg.

**Üveges állapot:** A makromolekula és egyes részei csak rezgő mozgásra képesek. Nagy merevség, szilárdság, külső erő hatására energiarugalmas def.

**Nagy rugalmas állapot:** Mikro-Brown mozgás, molekulák tömegközéppontja rögzített, nagymértékű reverzibilis deformáció

**Ömledékállapot:** A molekulák egymáshoz képest elmozdulnak, Mikro-Brown mozgás, rugalmas deformáció.

[http://www.youtube.com/watch?v=UDj7BXA1CHU&feature=grec\\_index](http://www.youtube.com/watch?v=UDj7BXA1CHU&feature=grec_index)

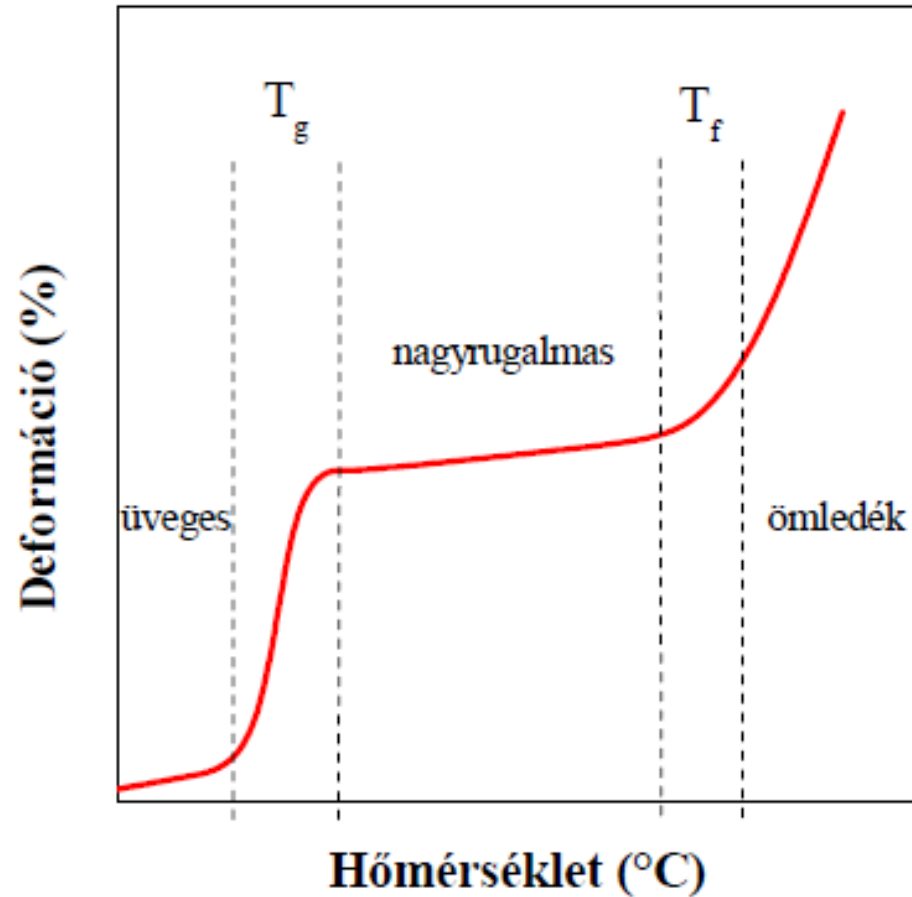
**Az egyes állapotok közötti átmeneti hőmérsékletek jelentősége:**

Meghatározzák a polimerek feldolgozhatóságát és alkalmazástechnikai jellemzőit.

Az egyes állapotokban mutatott viselkedést, az átmeneteket a **termomechanikai görbék** írják le.

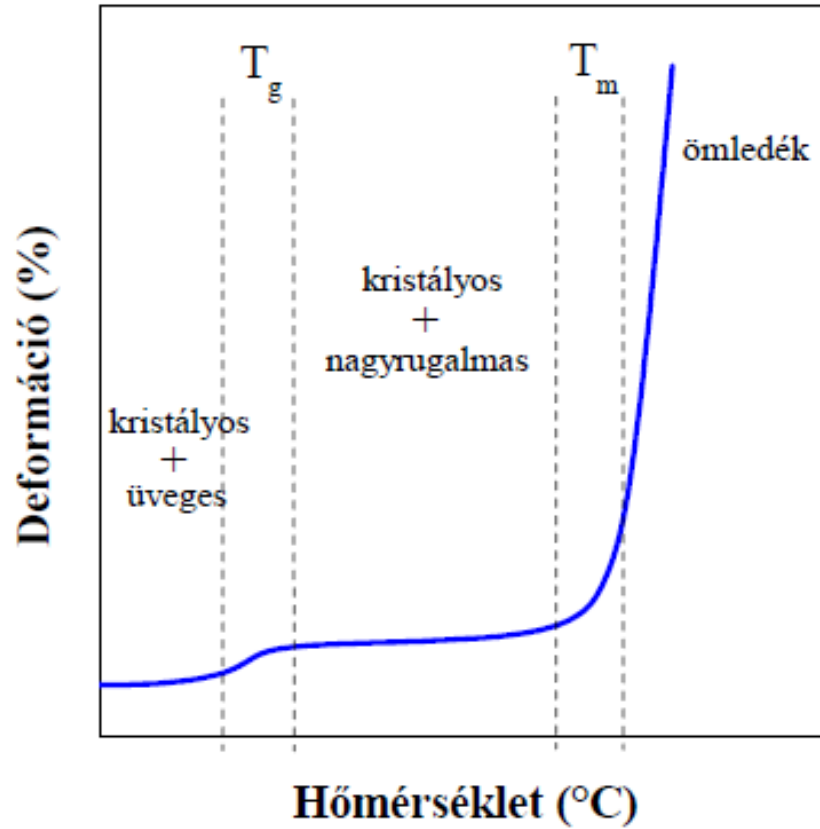
## Fizikai állapotok:

- üveges
- nagyrugalmas
- ömledék



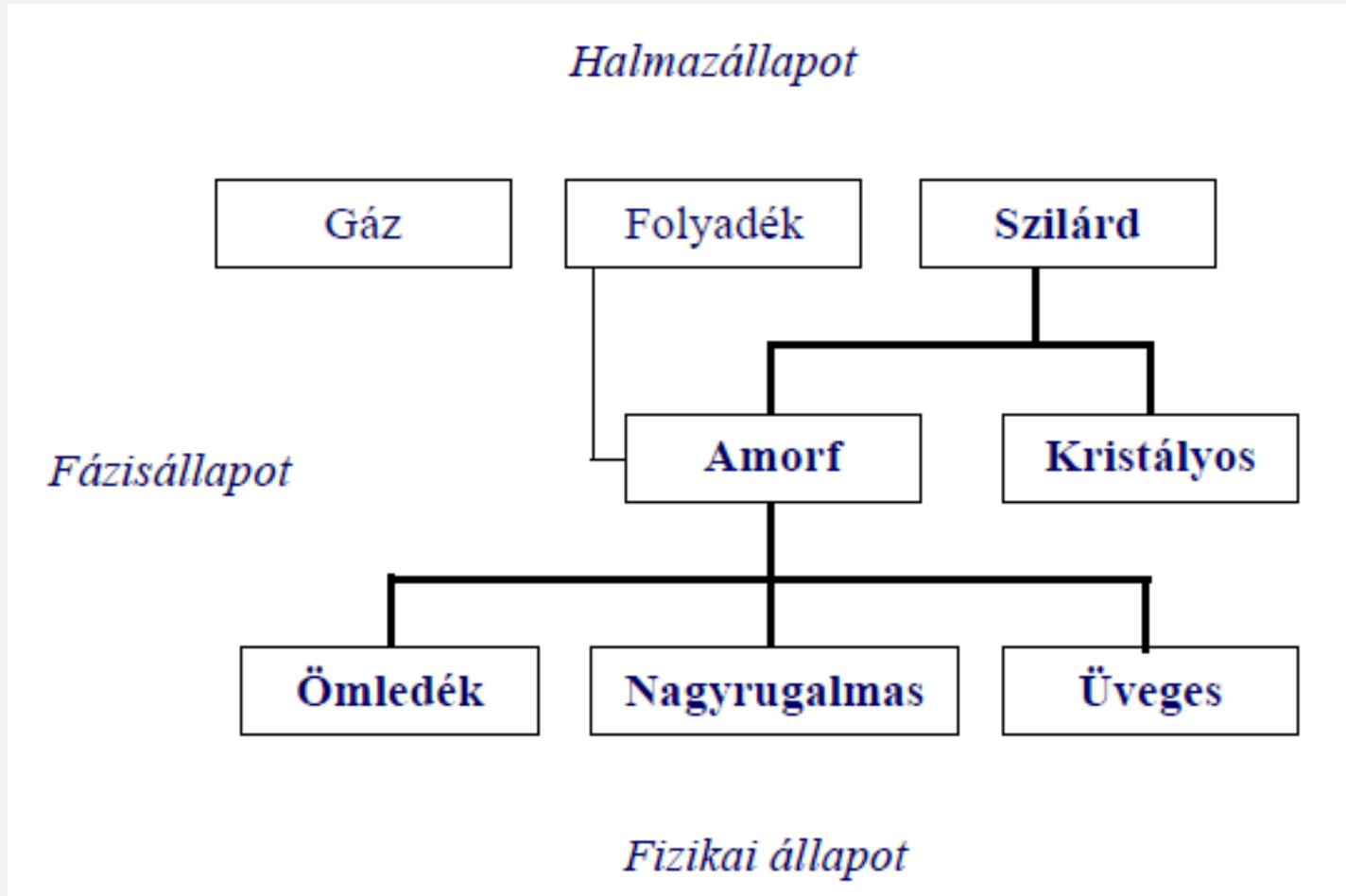
**Amorf polimer – jellemző hőmérséklet:  $T_g$**

# Hőmérséklet hatása

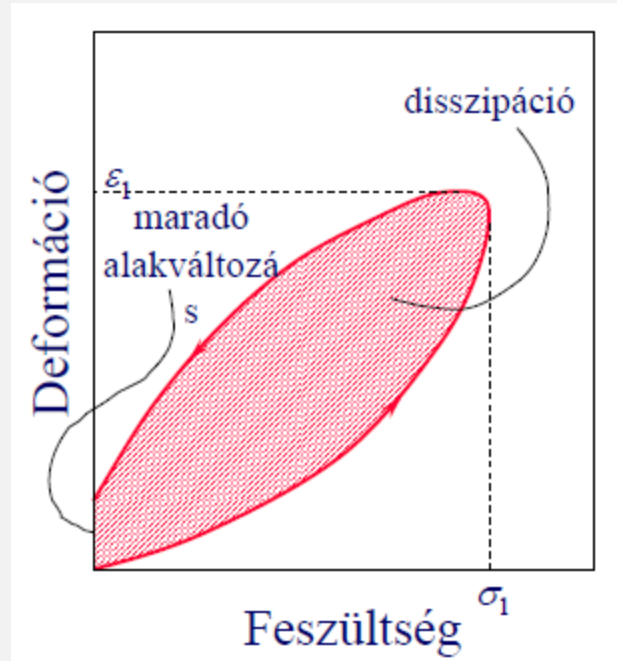


**Kristályos polimer – jellemző hőmérséklet:  $T_m$**

# Összefoglaló ábra



# Elasztikus deformáció



Abroncok melegedése, élettartamot meghatározza és a polimerek ütésállóságát

...olyan technikák csoportja, melyekkel a minta valamely fizikai-kémiai sajátosságának változását mérjük a hőmérséklet függvényében...

...miközben a minta hőmérsékletét szabályozott hőmérséklet program szerint változtatjuk



- Polimerek olvadási hőmérsékletének (hőmérséklet tartományának) meghatározása;
- fázisátalakulásainak tanulmányozása;
- fajhő ( $c_p$ ) meghatározása;
- kristályossági fok meghatározása ( $x_c$ );
- kristályosodási és térhálósodási kinetikai vizsgálatok; stb.

# Mit mérünk???

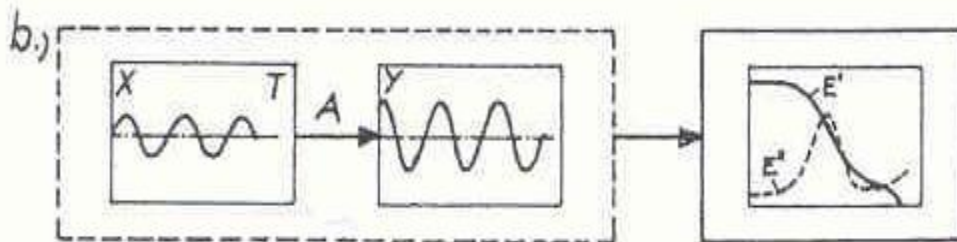
...tömegváltozás	TG
...hőmérséklet különbség, átalakuláshő, reakcióhő	DTA, DSC
...dimenzióváltozások, viszkozitás változás	TMA
...rugalmassági modulusz, viszkoelasztikus viselkedés	DMA
...fejlődött gáz komponensek mennyisége, összetétele	EGA

# Termomechanikai görbék

Egy, vagy több mechanikai anyagjellemző a hőmérséklet fgv-ben.



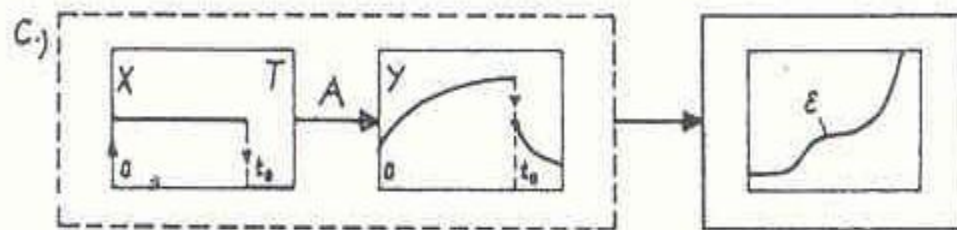
Adott terhelés, ill. terhelési sebesség által meghatározott gerjesztés mellett, különböző hőmérsékleten méri a polimer választ



Meghatározási módok

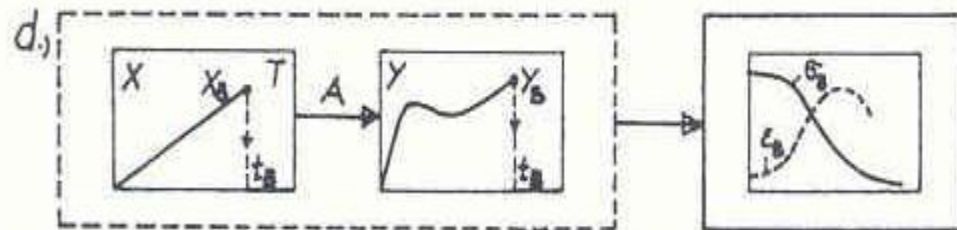
• **Dinamikus mechanikai analízátor (DMA)**

meghatározzák a dinamikus és a veszteségi modulust és a veszteségi tényezőt



• **Termomechanikai analízátor (TMA)**

Húzó, v. hajlító igénybev, a fizikai állapotok átmeneteit jól megjeleníti.



• **Szilárdsági vizsgálat különböző hőmérsékleten**

Szakítóvizsgálatot hőkamrával ellátott szakítógépen

# Amorf termoplasztikus polimerek DMA görbéje

Pl.: sztírol származékok (PS, BS, ABS), PVC, plexiüveg (PMMA)

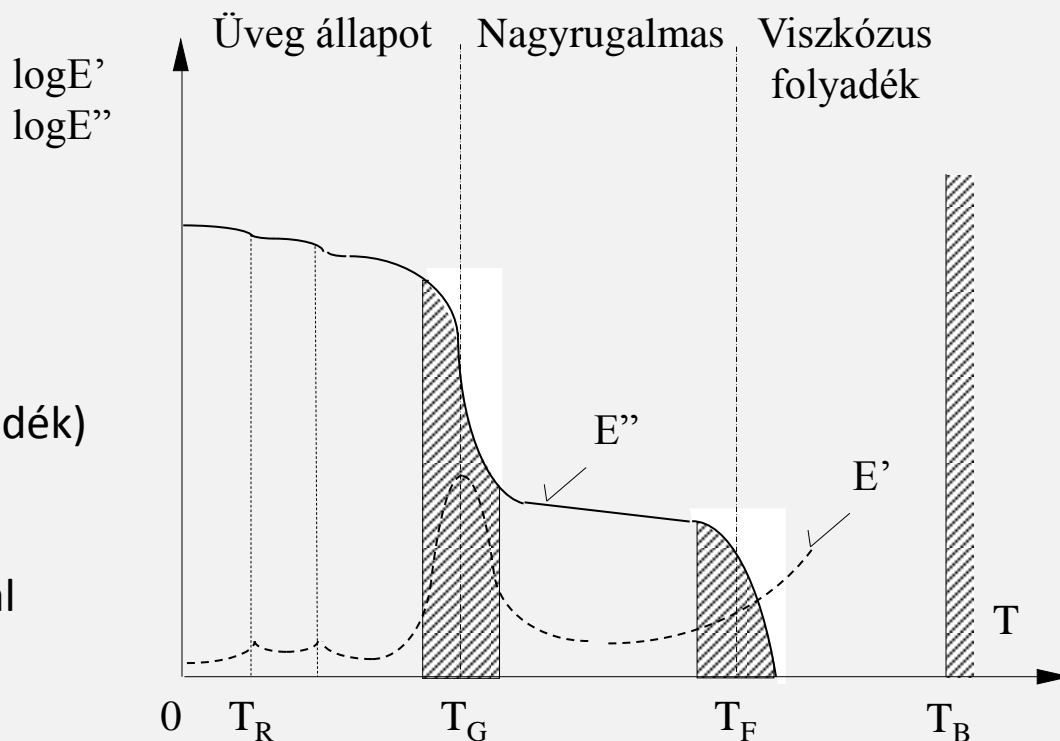
az  $E^*$  komplex rugalmassági modulus vetületmodulusai.

$T_f$ : folyási hőmérséklet (üvegből ömledék)

-  $T < T_g$  : csak „rezgés”

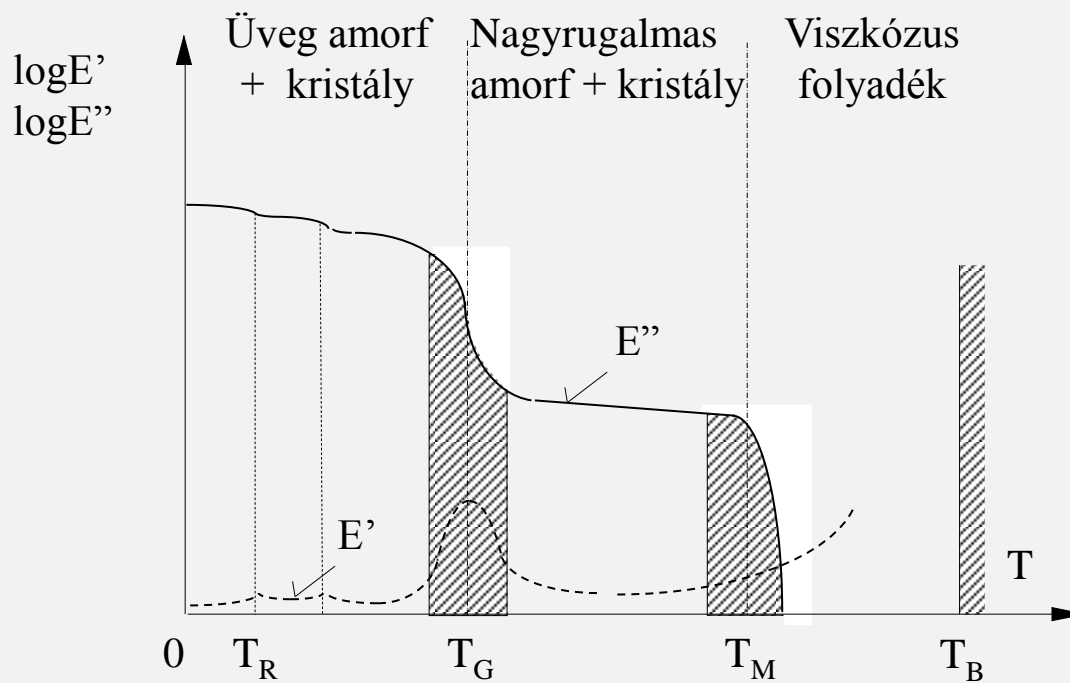
-  $T_g < T < T_f$ : mikro Brown mozgás

-  $T > T_f$ : makro Brown mozgás dominál



**$T_g$  definíciója:** az a molekulaszervezettől függő  $T$ , amely felett szegmensmozgás lehetséges.

# Kristályos anyag DMA görbéje



**$T_m$  olvadáspont:** (általában széles)  $T$  tartomány, amelyben a kristályosság megszűnik.

# Polimerek jellemző hőmérsékletei

		T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)
Poli(dimetil-sziloxán)	PDMSI	- 122	- 98	- 40
Polietilén (kis sűrűségű)	PE-LD	- 125		118
Polietilén (nagy sűrűségű)	PE-HD			134
Polipropilén	PP	- 10		170
Poli(vinil-acetát)	PVAc	28		
Nylon 66	PA66	45		264
Nylon 6	PA 6	54		225
Poli(etilén-tereftalát)	PET	79	158	260
Poli(vinil-klorid)	PVC	81		
Poli(vinil-alkohol)	PVA	85		
Poli(fenilén-szulfid)	PPS	85	122	278
Polisztirol	PS	95		
Poli(metil-metakrilát)	PMMA	105		

Termoanalízis: DTA (adiabatikus), DSC (izoterm)

mérés:



referencia  
cella



minta  
cella

(mindkét esetben)

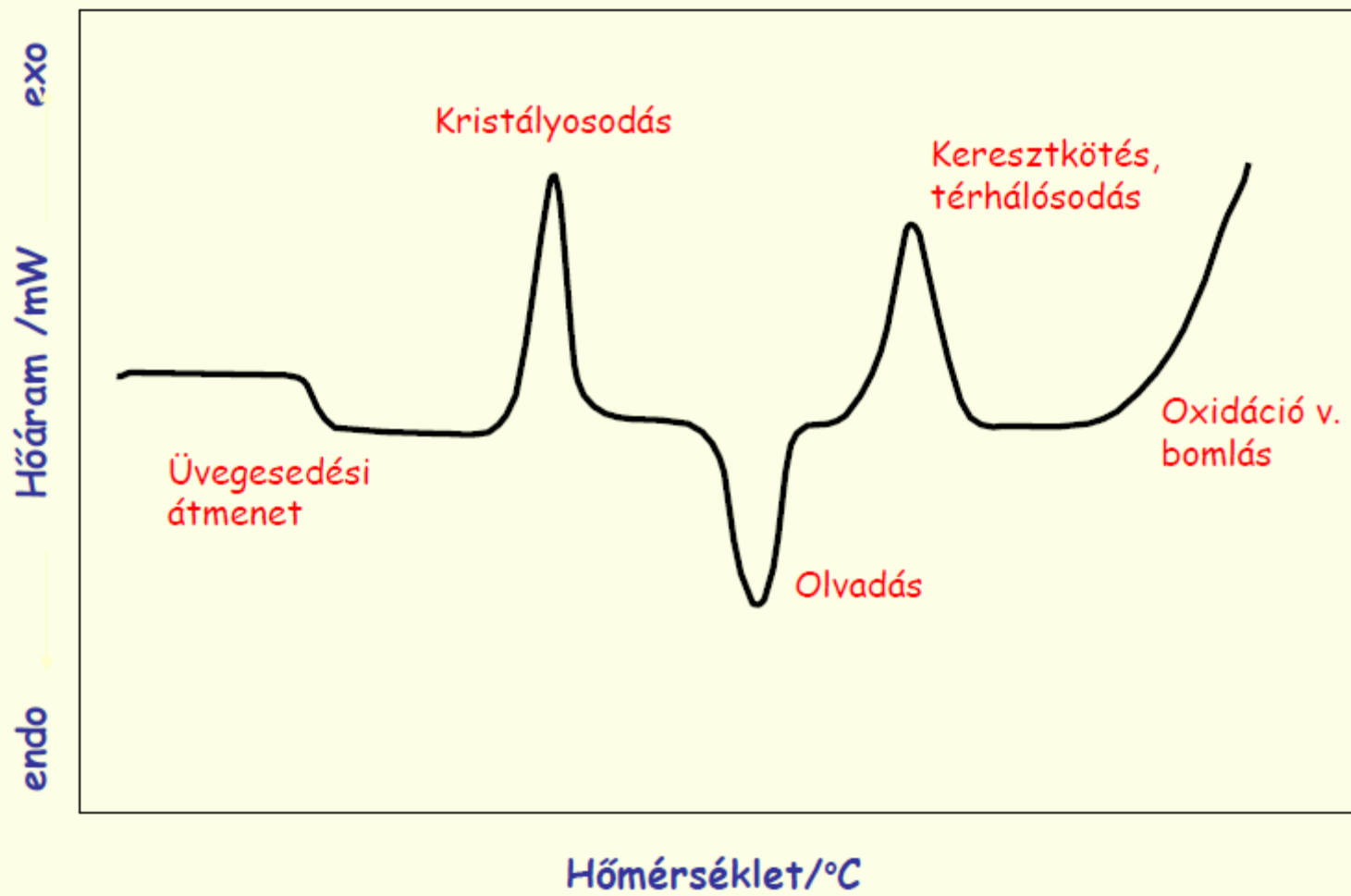
- **Termoanalízis:**

-  $\frac{dT}{dt}$  : 0,1 – 1000 °C/min, tipikusan 1-2 °C/min

- **DTA:** méri a minta és a referenciaanyag közötti  $\Delta T$  hőmérsékletkülönbséget, T (vagy t) függvényében

- **DSC:** méri az időegység alatt bevitt hőt,  $\left(\frac{dQ}{dt}\right)$  amely a minta és a referenciaanyag azonos hőmérsékletének fenntartásához szükséges.

# Átalakulások a DSC görbén...





# Polipropilén meghatározó tulajdonságai

Tulajdonságok	Egység	PP <sub>homo</sub>	E-PP <sub>kopol.</sub>	PP-GF(30%)
<b>Fizikai tulajdonságok</b>				
Sűrűség	g/cm <sup>3</sup>	0,90	0,91	1,15
Kristályosság	%	70	60	-
Tellítettségi vízfelvétel	%	-	-	0,05
<b>Mechanikai tulajdonságok</b>				
Szakító szilárdság	MPa	30	25	90
Szakadási nyúlás	%	150	500	3
Húzó rug. modul	GPa	1,6	0,6	7
Hajlító szilárdság	MPa	37	-	-
Hajlító modulus	GPa	1,4	-	-
Ütőmunka 23°, hornyolatlan	kJ/m <sup>3</sup>	>40	N:T	35
Ütőmunka 23° hornyolt	KJ/m <sup>2</sup>	10	15	12
		N.T= nem	törik	
<b>Termikus tulajdonságok</b>				
Olvadási hőmérséklet	°C	165	162	165
Üvegesedési Hőmérséklet	°C	0	<-10	+10
HDT hőállóság (1.8 MPa)	°C	55	5	148
Tartós hő-terhelhetőség	°C	90	70	105
Lineáris hőtágulás T <sub>g</sub> alatt	10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	1,4	1,6	0,6
T <sub>g</sub> felett	10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	1.8	2,2	0,3

# Polietilén jellemző tulajdonságai

<b>Tulajdonság</b>		<b>LDPE</b>	<b>HDPE</b>	<b>UHMWPE</b>
Sűrűség	(g/cm <sup>3</sup> )	0,91-0,925	0,941-0,965	0,94 – 0,99
Moltömeg	(g/mol)	20000-6000000	<450000	2-10M
Kristályosság	(%)	40-55	60-80	50-90
Húzószilárdság	(MPa)	10	27	41
Nyúlás	(%)	500	>550	≈450
Rug.Modulusz	(GPa)	0.21	1,4	0, 8-2,7
Vízfelvétel *	(%)	<0,1	>0,1	<0,1
Olv. tartomány	(°C)	105-110	130-135	135-155
Felhasználási tartománv.	(°C)	60-75	70-80	100