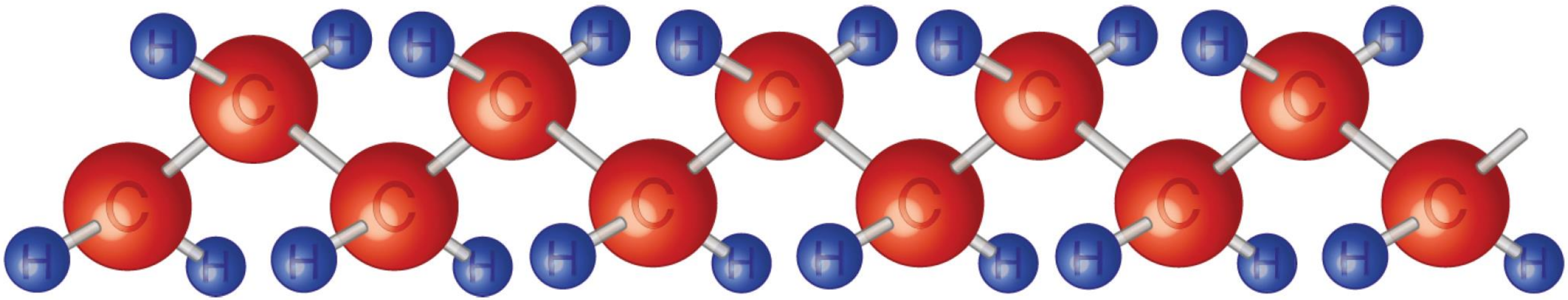
Polimerek reológiája és szimulációs technikái (BMEGEPTNG02)

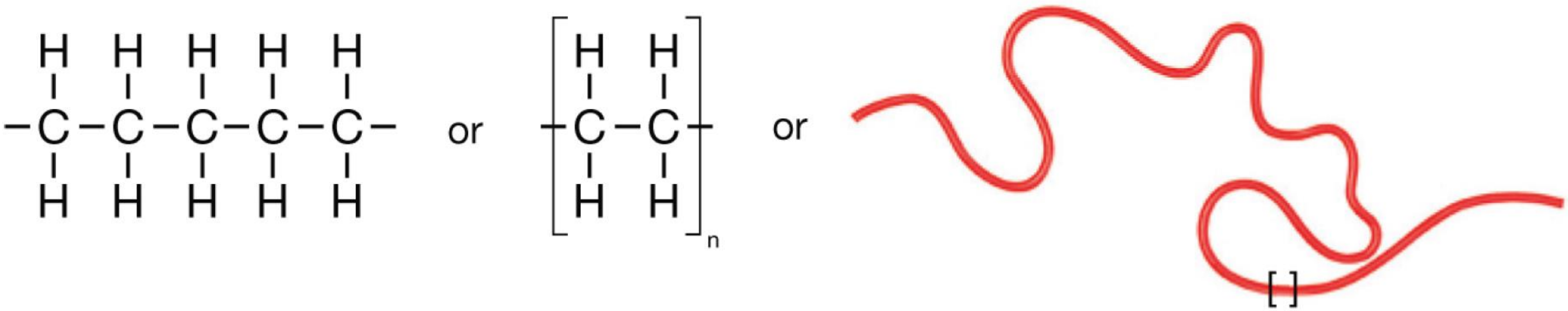
MŰEGYETEM 1782
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Polimertechnika Tanszék

Szabó Ferenc

2023

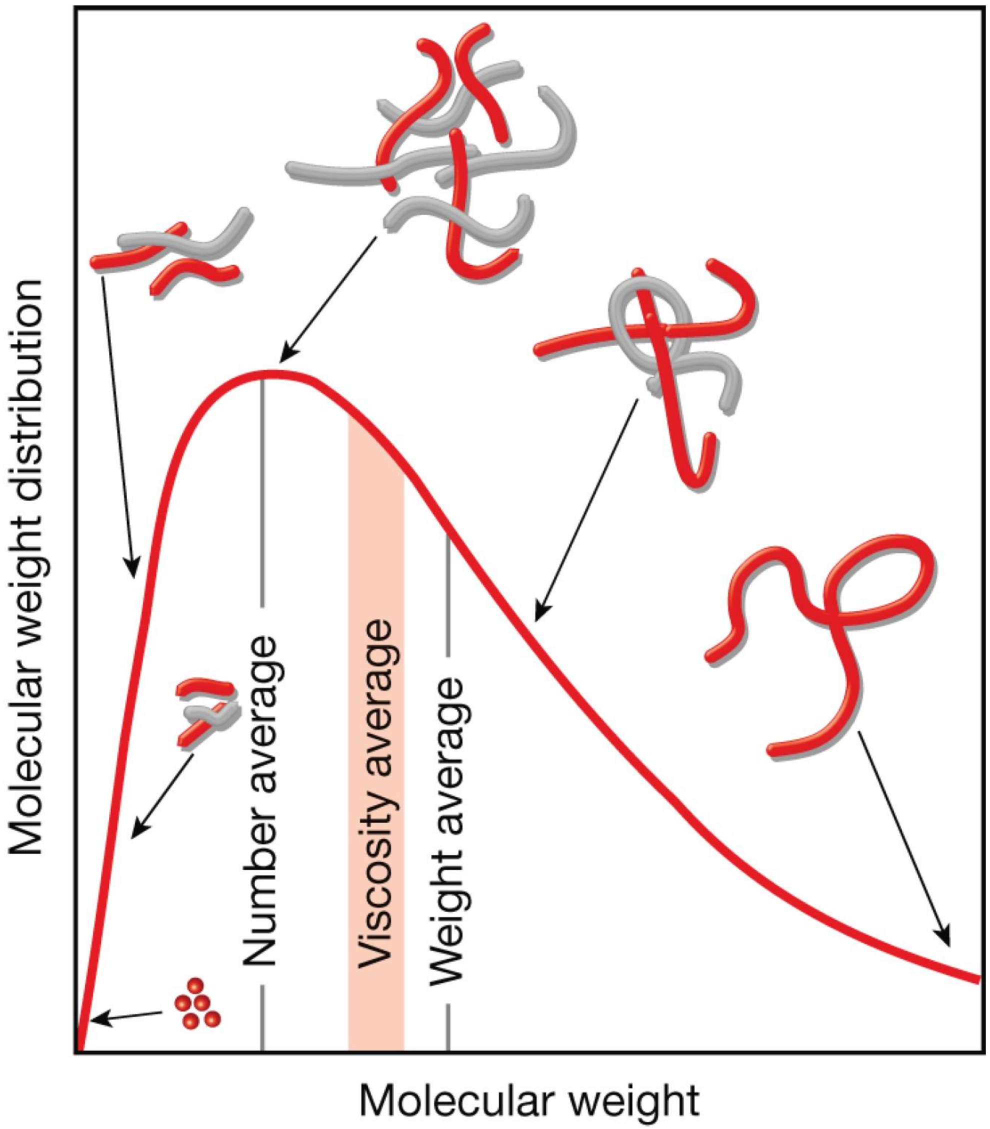
A polimerek felépítése





- L\d (PE) : 2000, d= 0,5 nm
- L\d (UHMWPE): 50000-100000 (50-100 m-es spagetti)

Molekulatömeg eloszlás



Átlagos molekulatömeg

- **Szám szerinti átlag**

$$\bar{M}_n = \frac{\sum m_i}{\sum n_i} = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i}$$

- **Tömeg szerinti átlag**

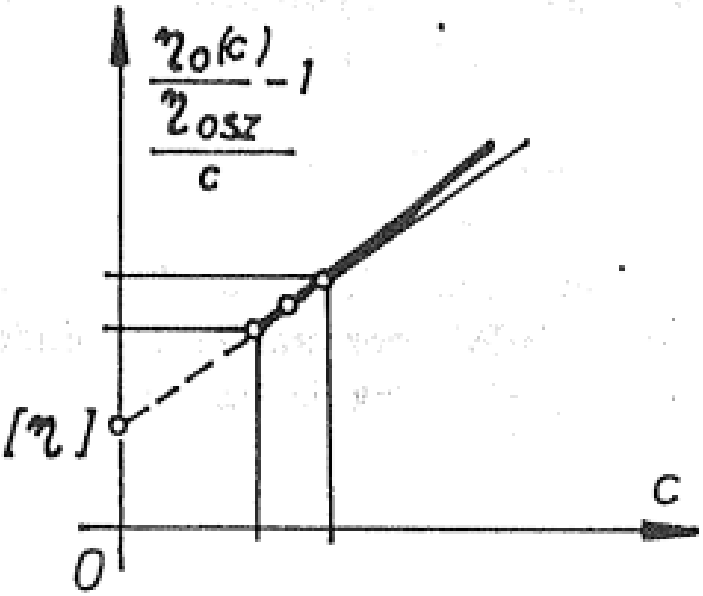
$$\bar{M}_W = \frac{\sum m_i M_i}{\sum m_i} = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i}$$

- **Viszkozitás szerinti átlag**

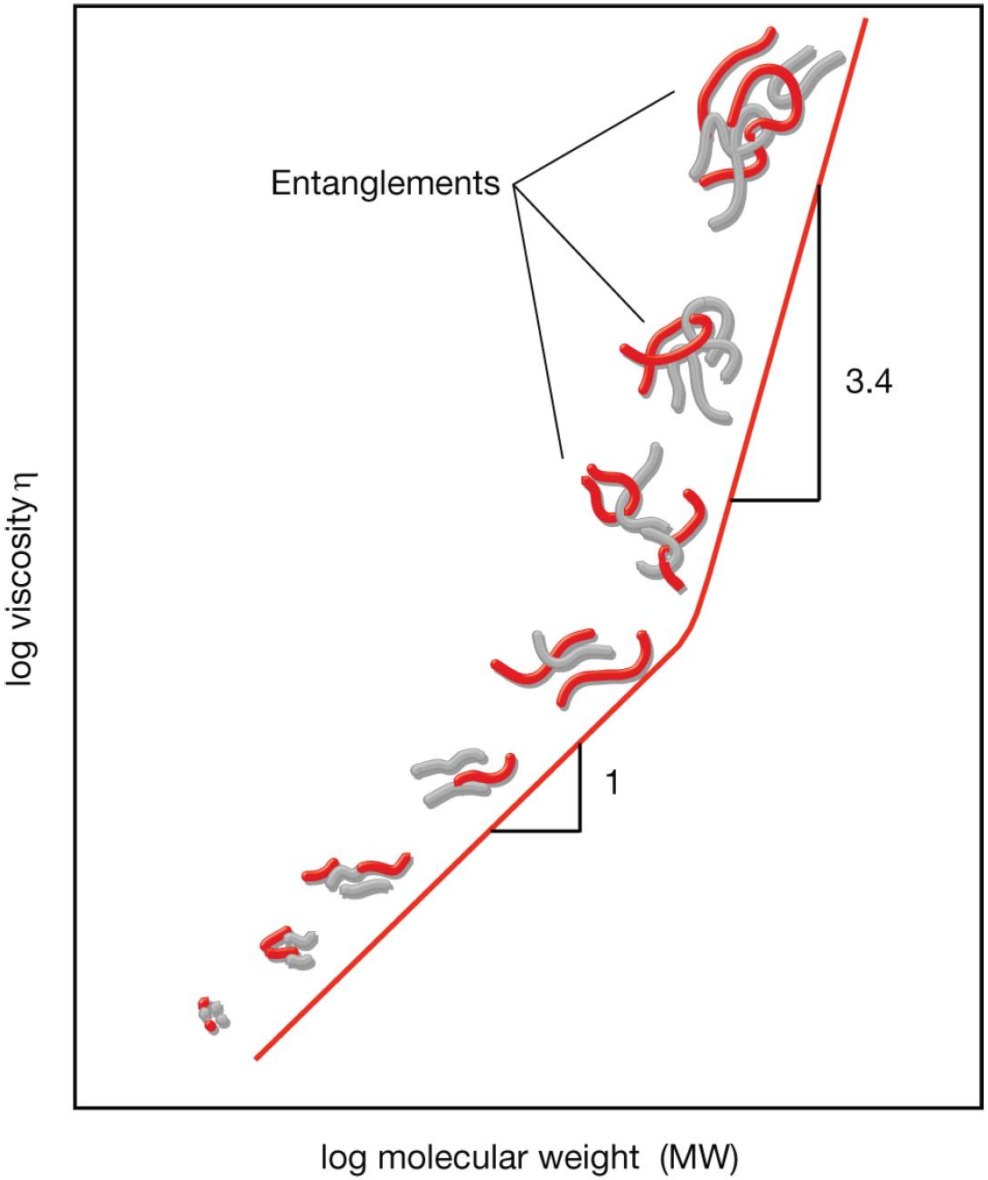
$$[\eta] = k\,\bar{M}_v^{\alpha}$$

  - **Oldatos viszkozitásméréssel**
  - **Határviszkozitás**

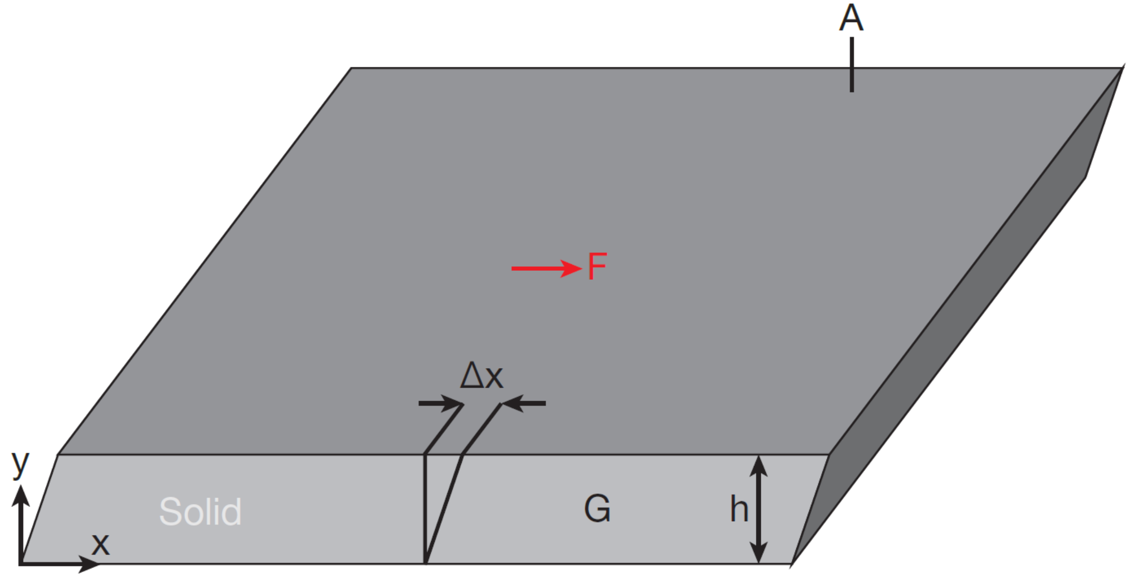
Határviszkozitás mérése

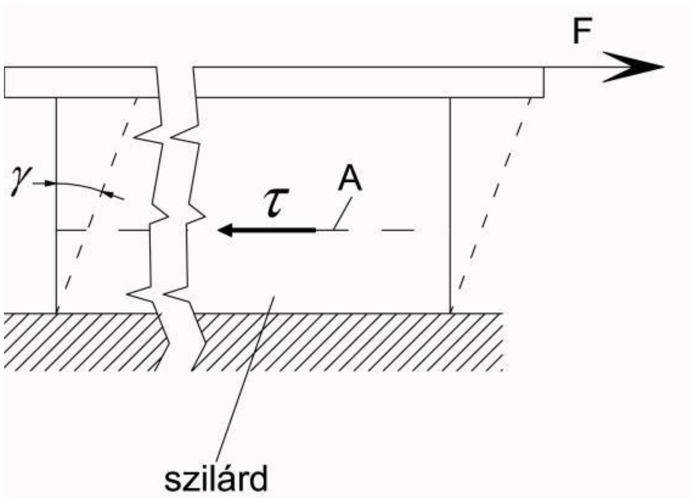


Molekulatömeg eloszlás - határviszkozitás



Deformáció \ Feszültség – Szilárd test





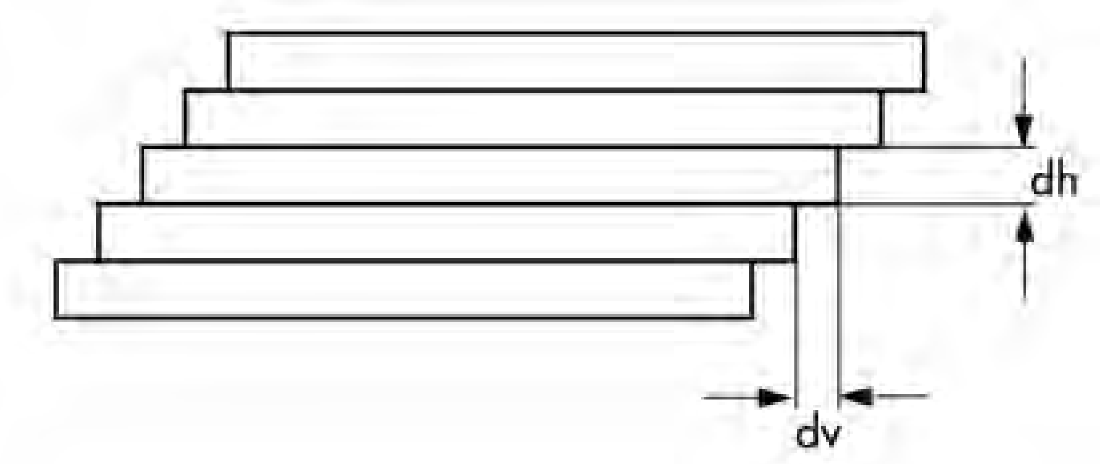
$$F/A = G(\Delta x/h)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

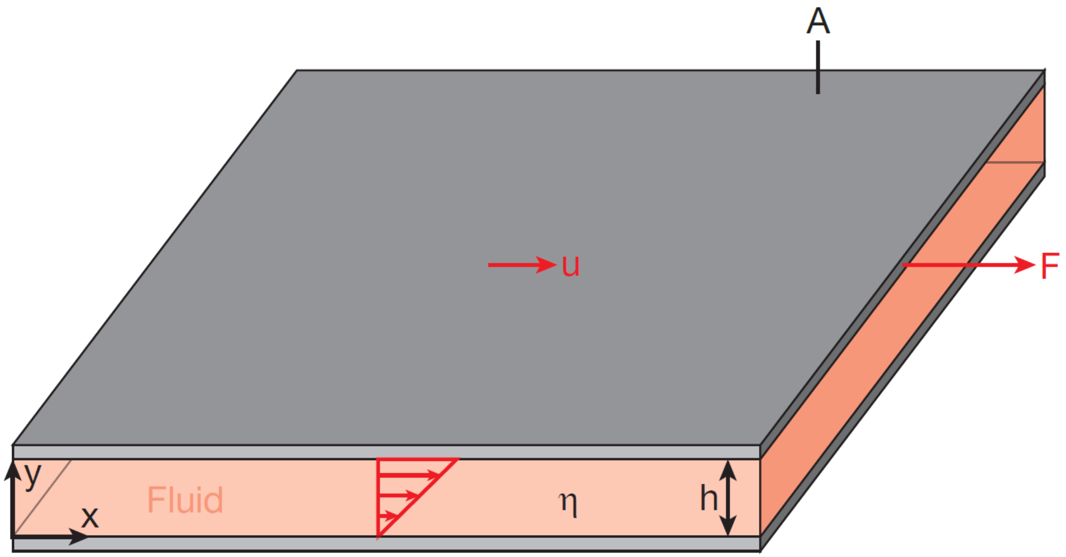
Deformáció

- Merevtestszerű elmozdulás
- Nincs fal menti megcsúszás (tapadás törvénye)
- Nincs turbulencia

- A befektetett energia teljes egészben hővé alakul



Deformáció \ Feszültség - Folyadék



$$F/A = \eta \frac{u}{h}$$

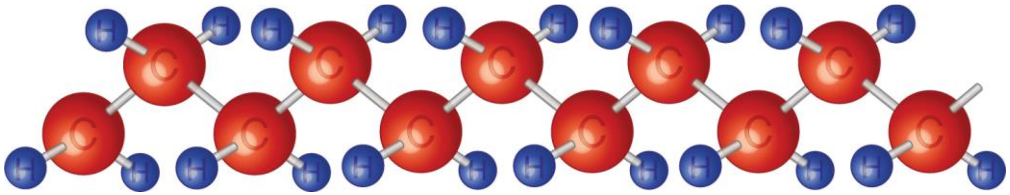
$$\tau_{xy} = \eta \dot{\gamma}_{xy}$$

Viszkozitás

- **Viszkozitás: Belső súrlódás**

$$\eta = \tau/\dot{\gamma}$$

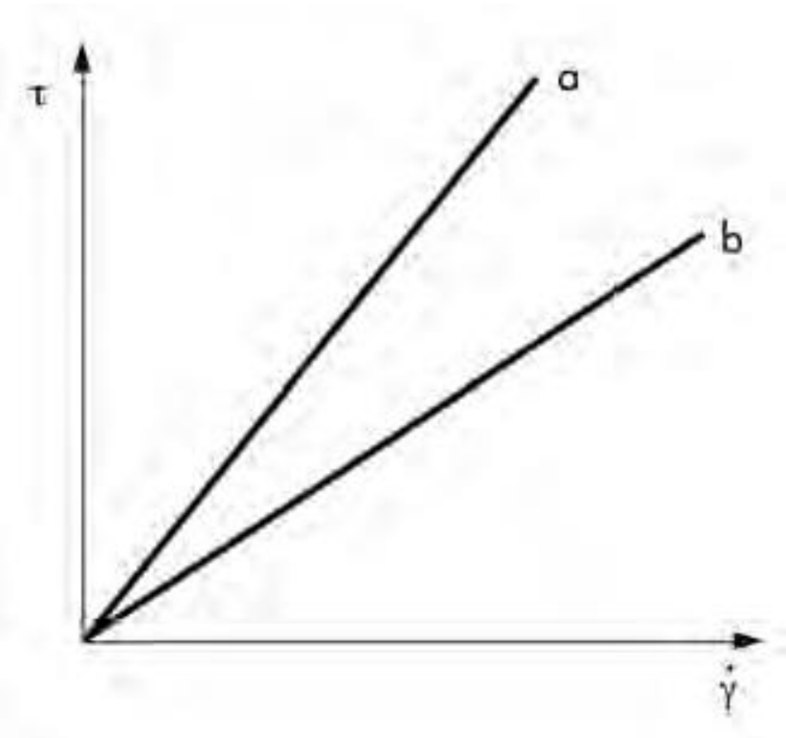
- **Gáz: 0.01 … 0.02 mPas**
- **Folyadékok:**
  - **Aceton: 0,316 mPas**
  - **Vérplazma: 1,5 mPas**
  - **Glikol: 20 mPas**
  - **Motorolaj: 50 … 1000 mPas**
  - **Méz: 10 Pas**

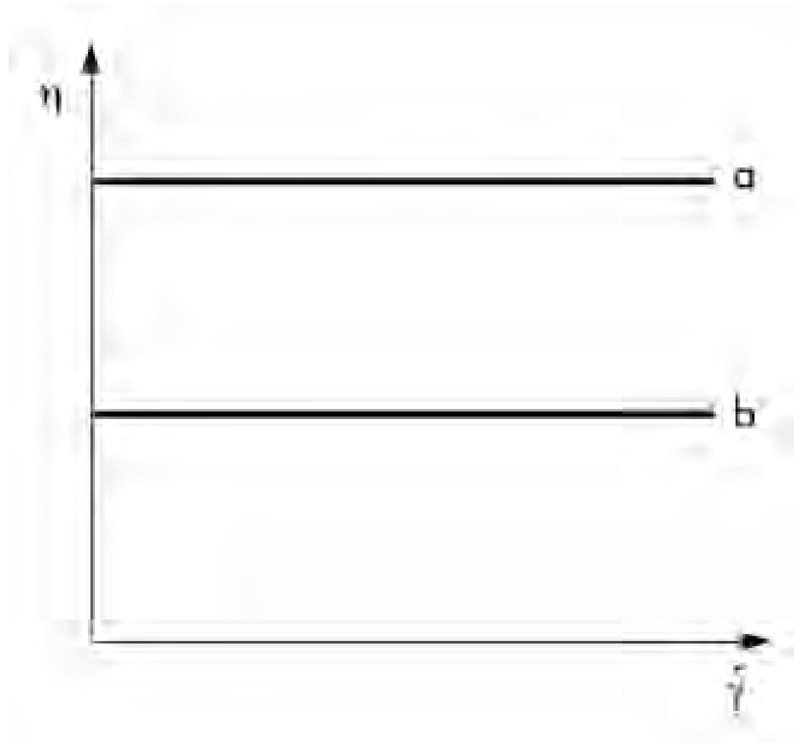


- **Polimerek: 10 Pas … 1 MPas**

- **A molekulatömeg hatása – PEG MW – 1.000.000**
  - https://www.youtube.com/watch?v=t3neqUhoDRA

Folyásgörbe, viszkozitásgörbe

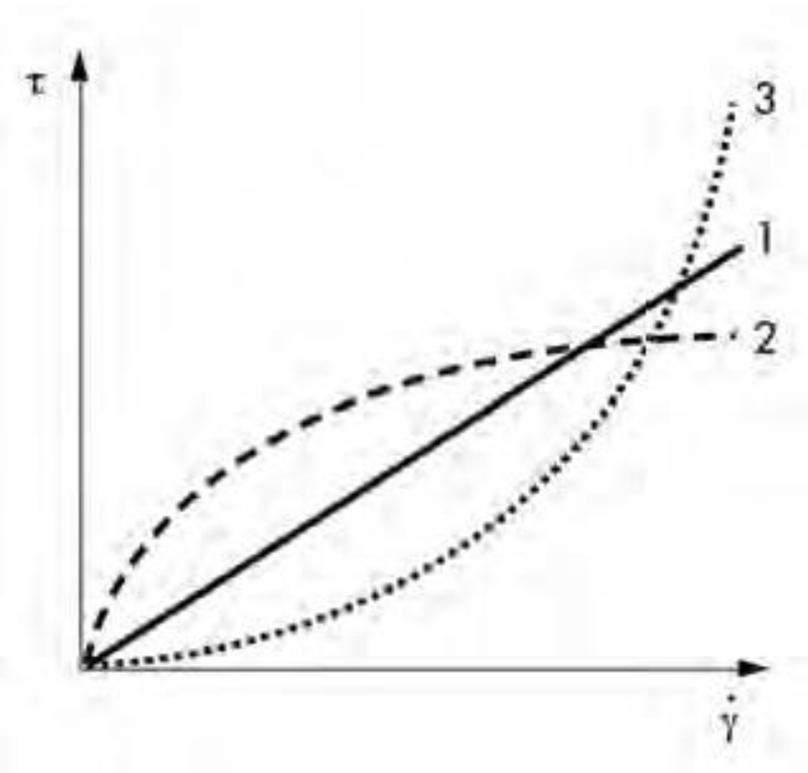


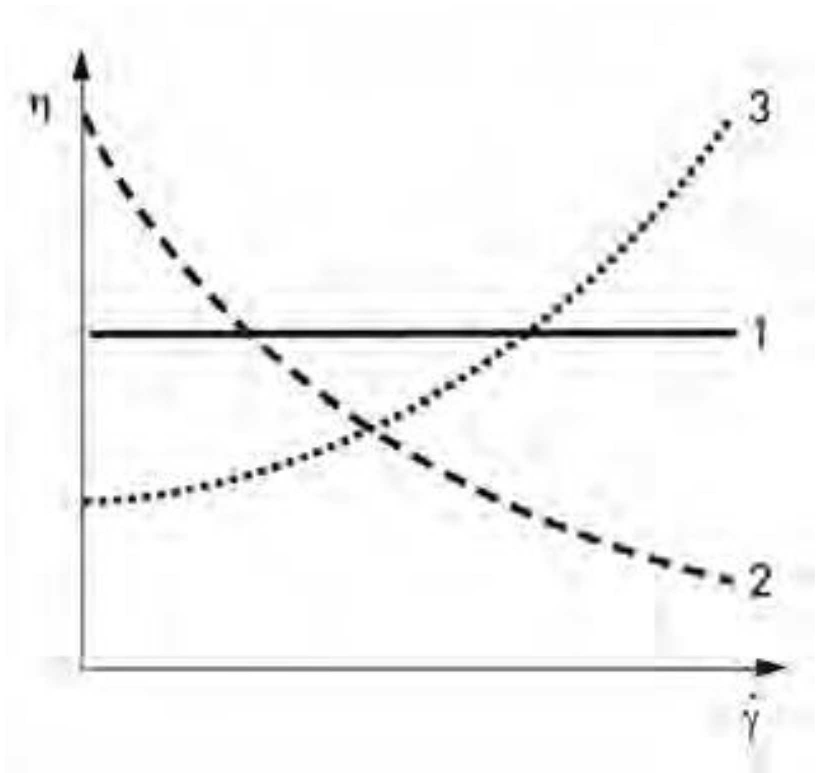


- Newtoni folyadék
- Nyugalmi állapotban nem lehet nyírófeszültséget fenntartani

Folyásgörbe, viszkozitásgörbe

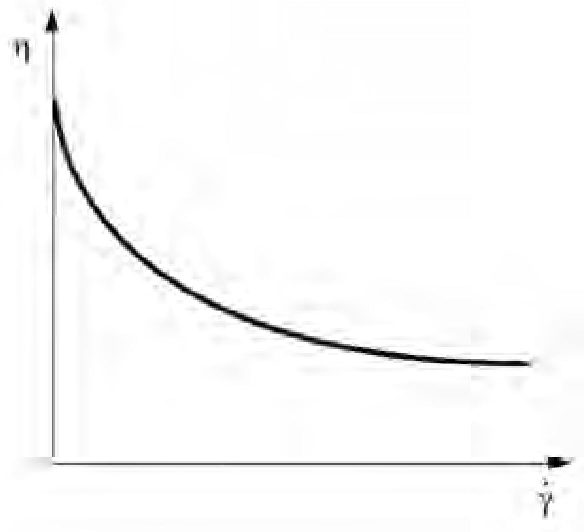
Nyírásra vékonyodó és vastagodó anyagok



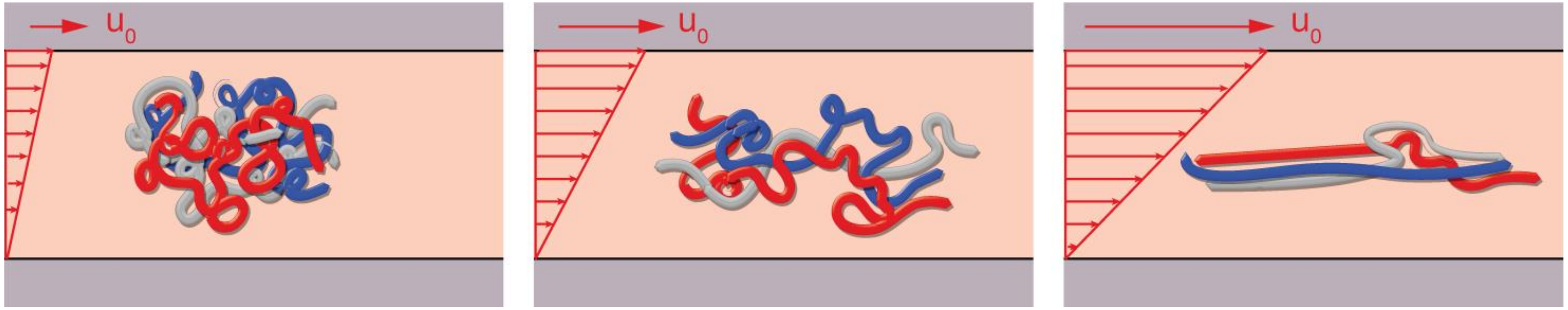


- 1: Newtoni folyadék
- 2: Nyírásra vékonyodó folyadék
- 3: Nyírásra vastagodó folyadék

Nyírásra vékonyodó (pszeudoplasztikus) viselkedés

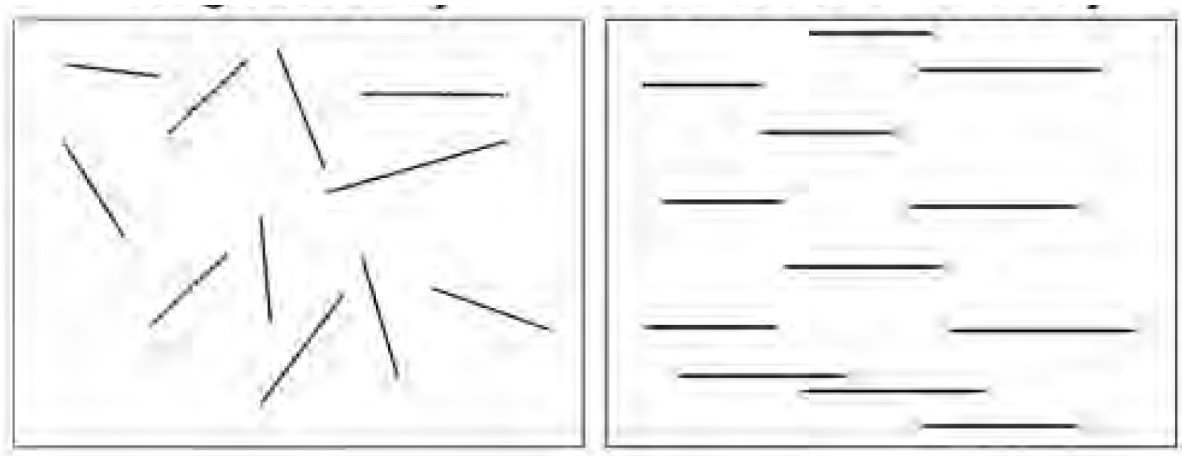


- Időfüggetlen viselkedés, csak az igénybevételi sebesség és a hőmérséklet van hatással
- Polimerek:

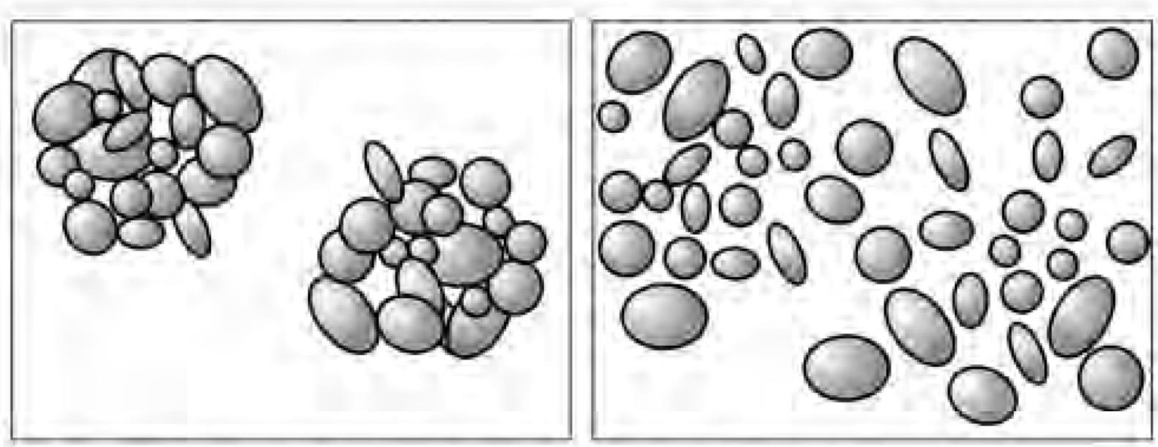


Nyírásra vékonyodó (pszeudoplasztikus) viselkedés

- Erősítőanyagok rendeződése

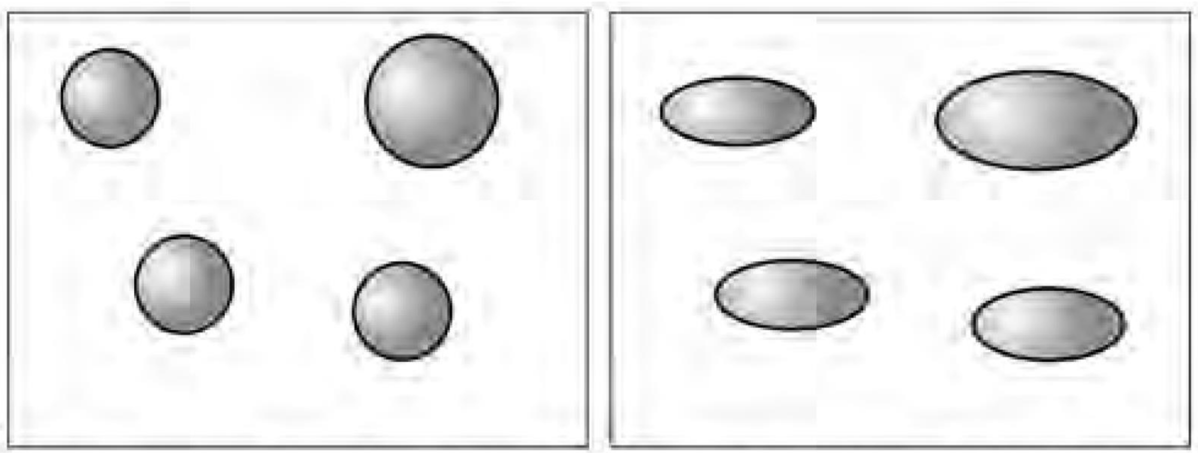


- Töltőanyag agglomerációk



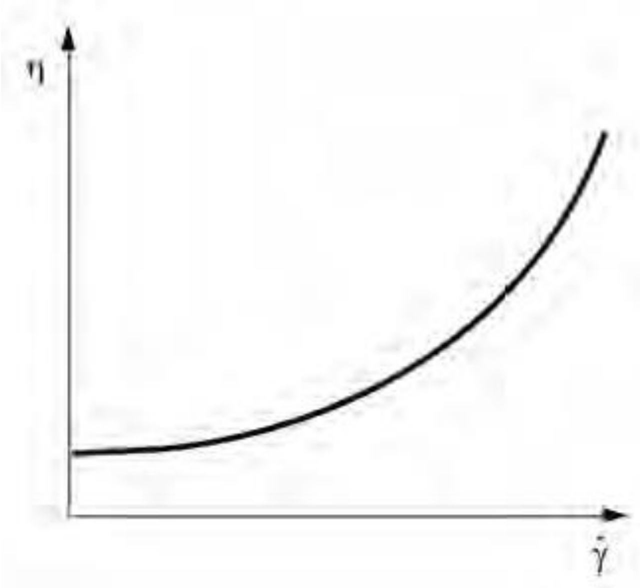
Nyírásra vékonyodó (pszeudoplasztikus) viselkedés

- **Emulziók**



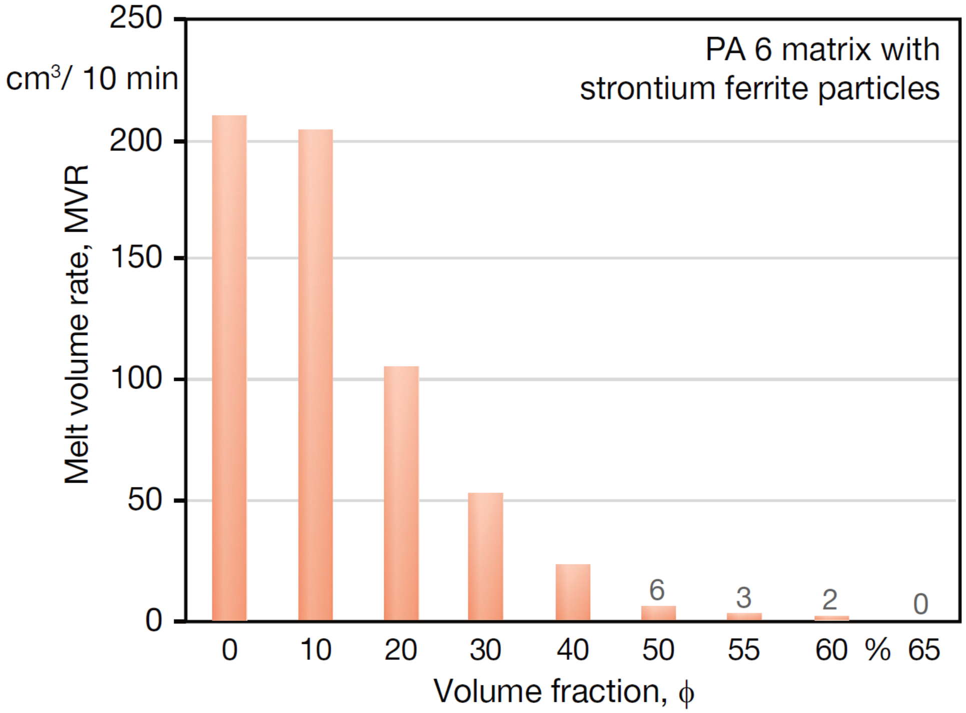
- **Degradáció ???**

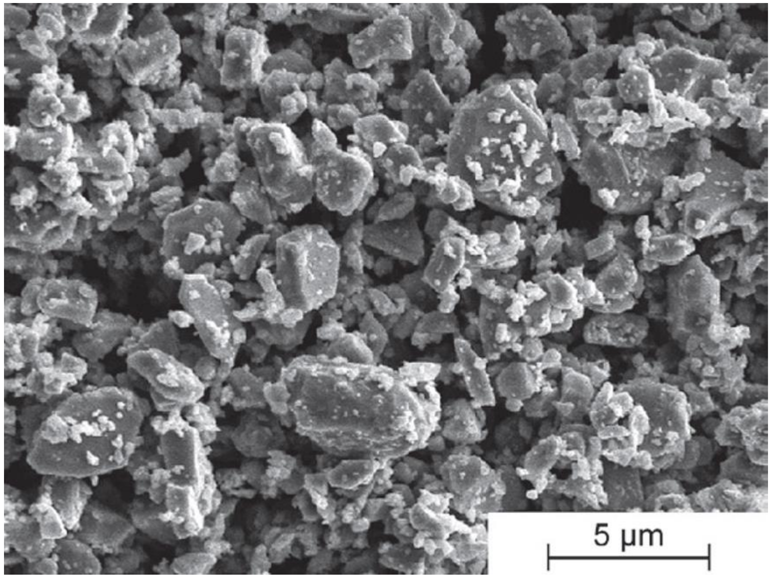
Nyírásra vastagodó (dilatáns) viselkedés



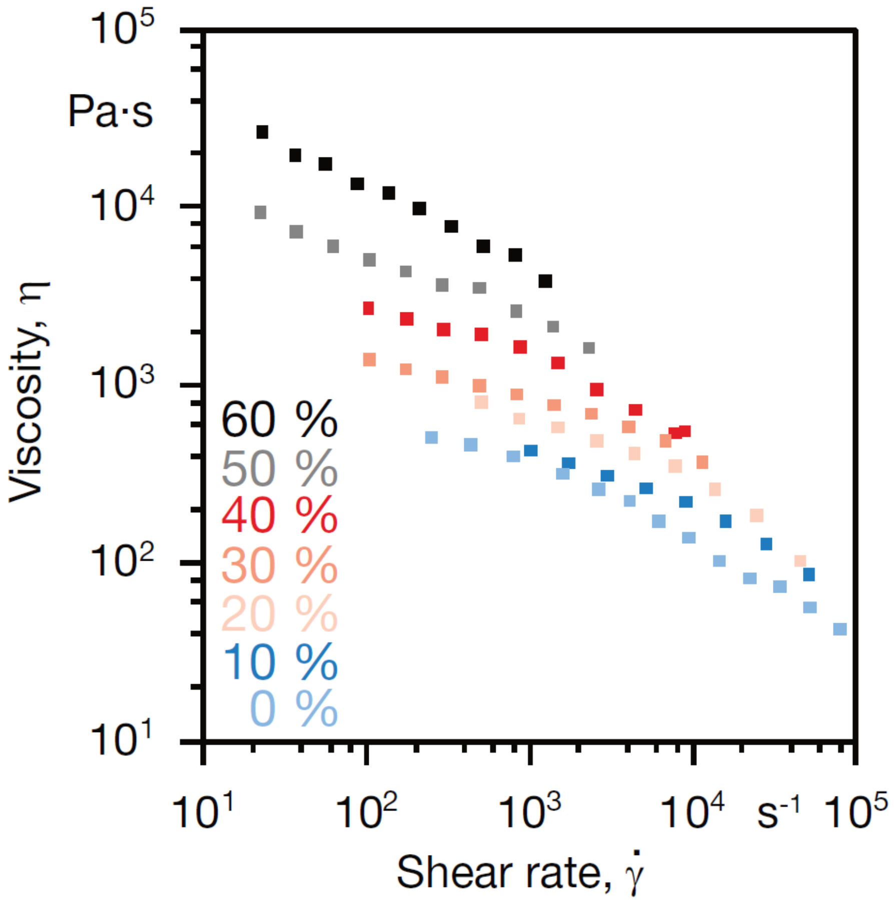
- Időfüggetlen viselkedés, csak az igénybevételi sebesség és a hőmérséklet van hatással
- Jellemzően töltött rendszerek esetében
- Töltőanyag koncentráció
- Részecske alak

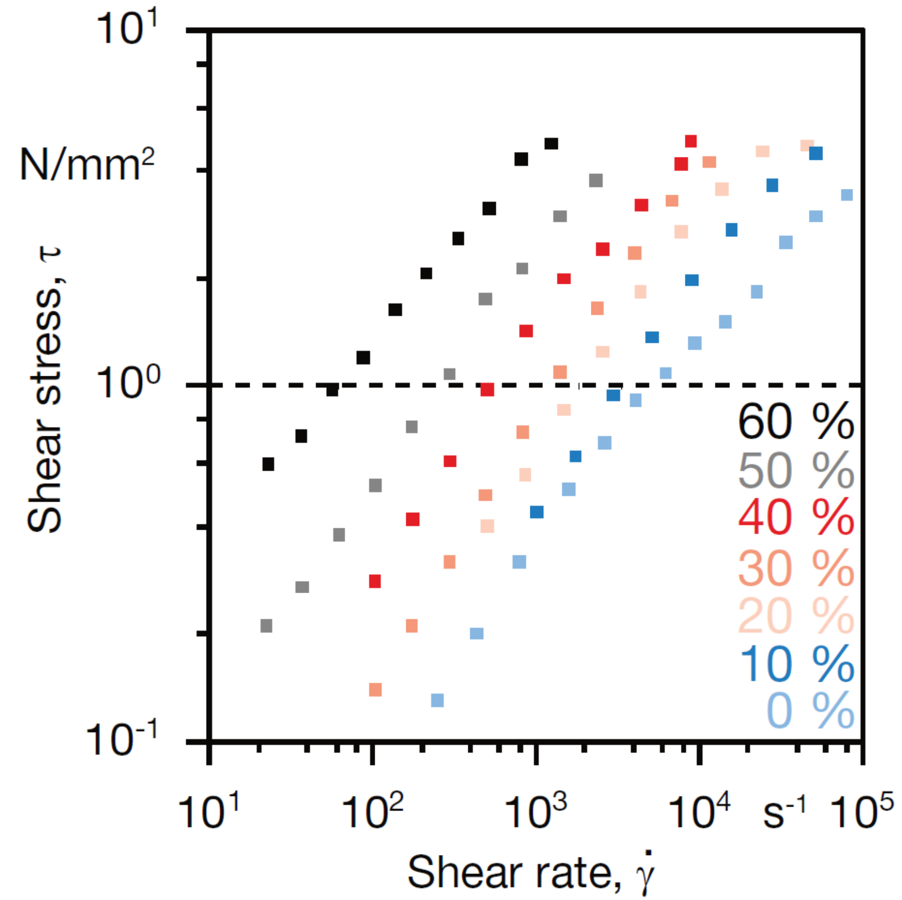
Nyírásra vastagodó (dilatáns) viselkedés





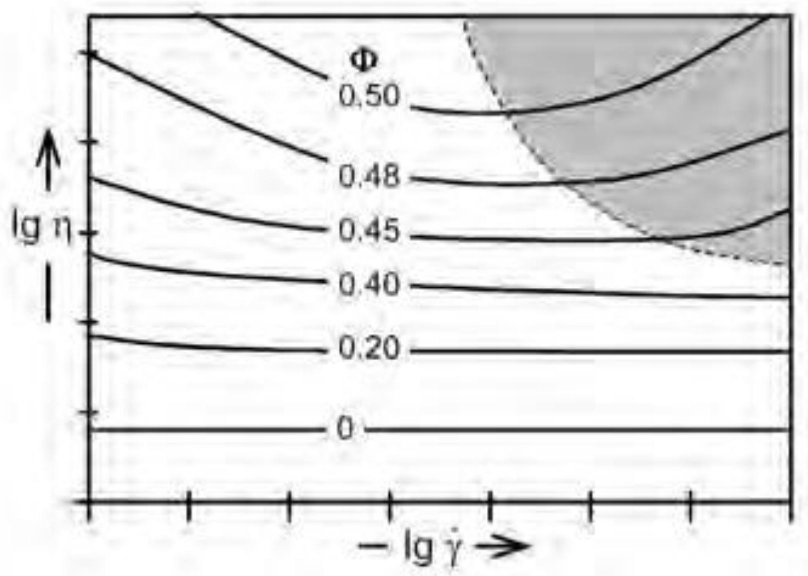
Nyírásra vastagodó (dilatáns) viselkedés





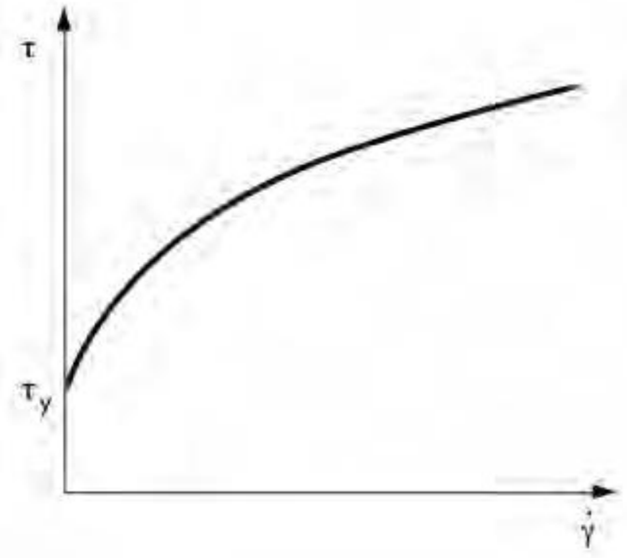
- **Folyáshatár megjelenése ???**

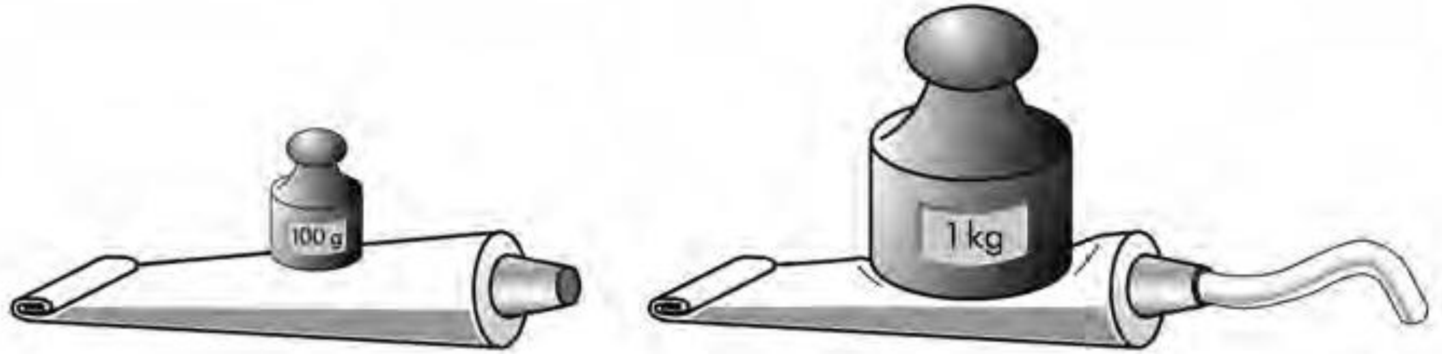
Nyírásra vastagodó (dilatáns) viselkedés



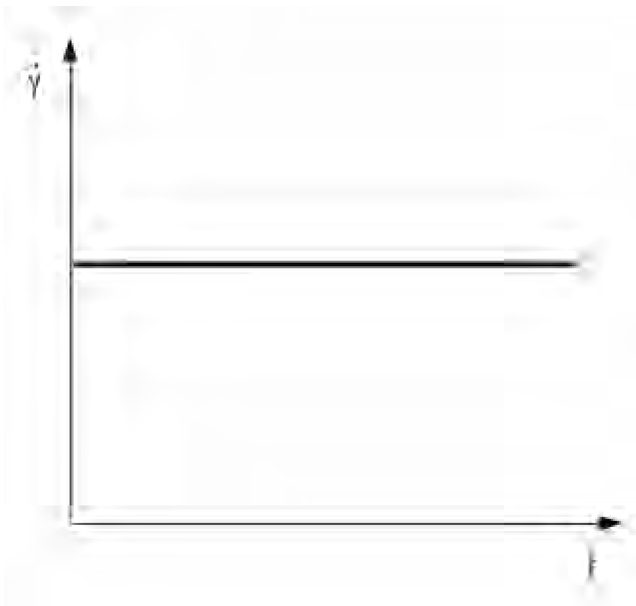
- Mikroszuszpenziók
- Pigment szuszpenziók
- Sampon
- Elasztomerek
- Kompozitok
- Nanokompozitok

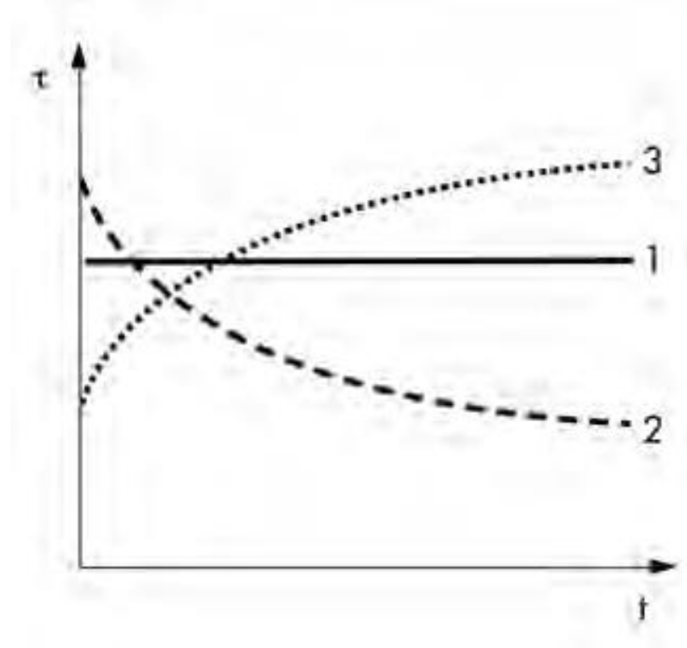
Folyáshatárral rendelkező folyadékok





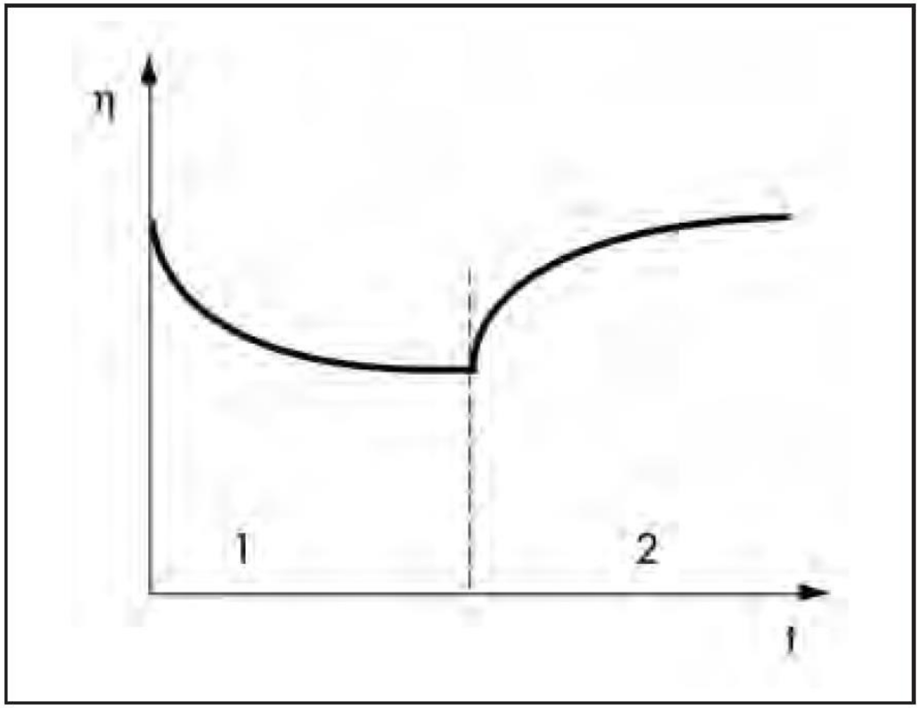
Időfüggő viszkozitás

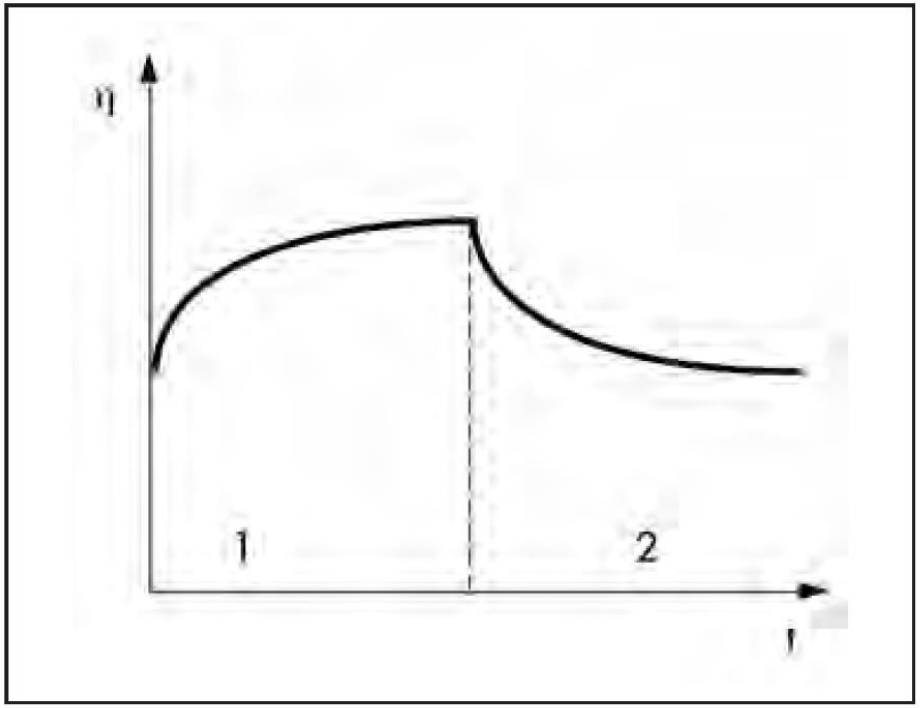




- 1: időfüggetlen
- 2: időben csökkenő viszkozitás (festék, ketchup, joghurt)
- 3: időben növekvő viszkozitás (gyanta)

Tixotrópia és reopexia

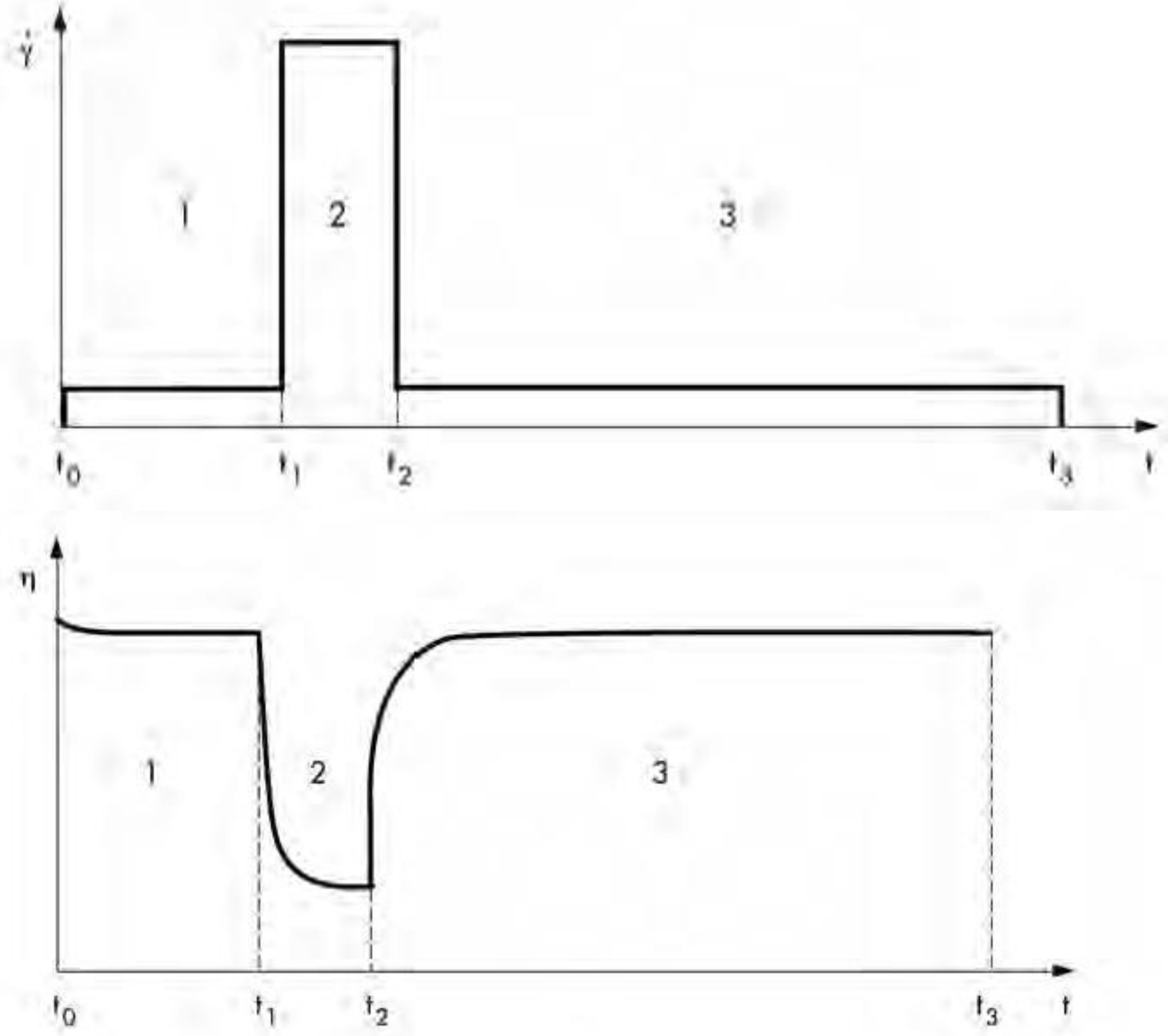




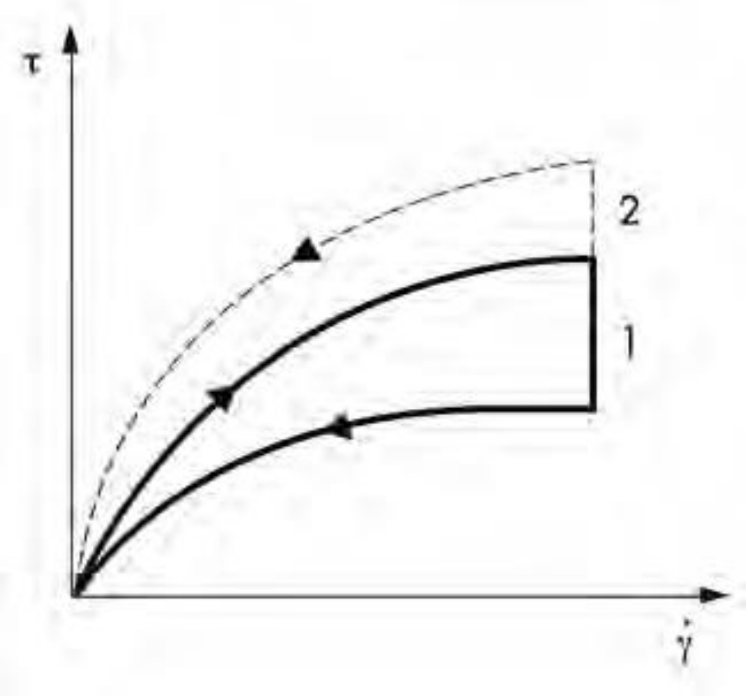
- Reverzibilis folyamatok !!!
- A belső szerkezet megváltozása, majd regenerációja okozza

- Nem tixotróp vislekedési forma: joghurt

Tixotrópia és reopexia, mérés?

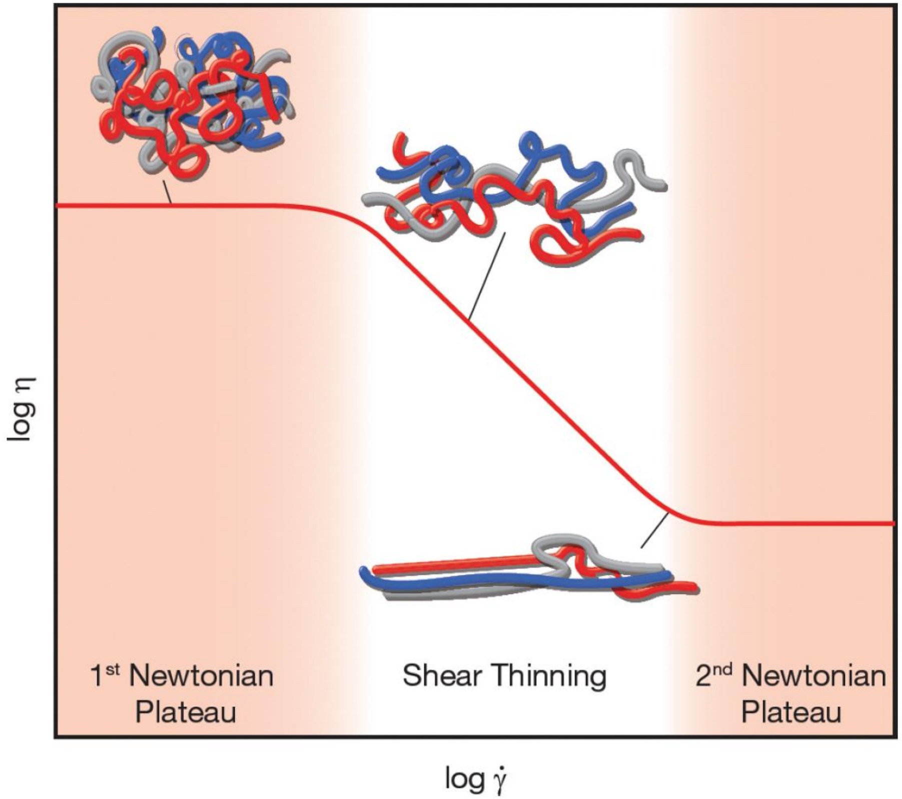


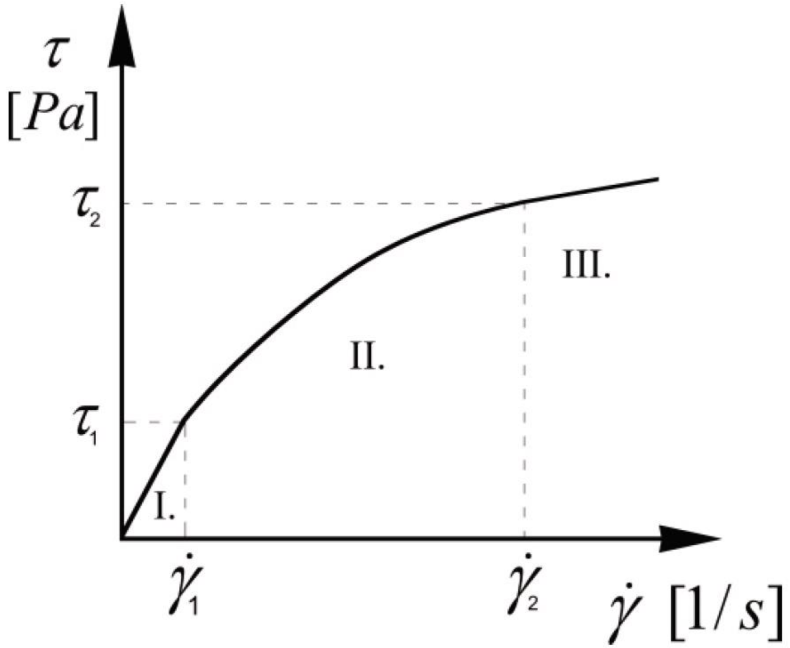
Tixotrópia és reopexia, hiszterézis



- **Festék példája!**

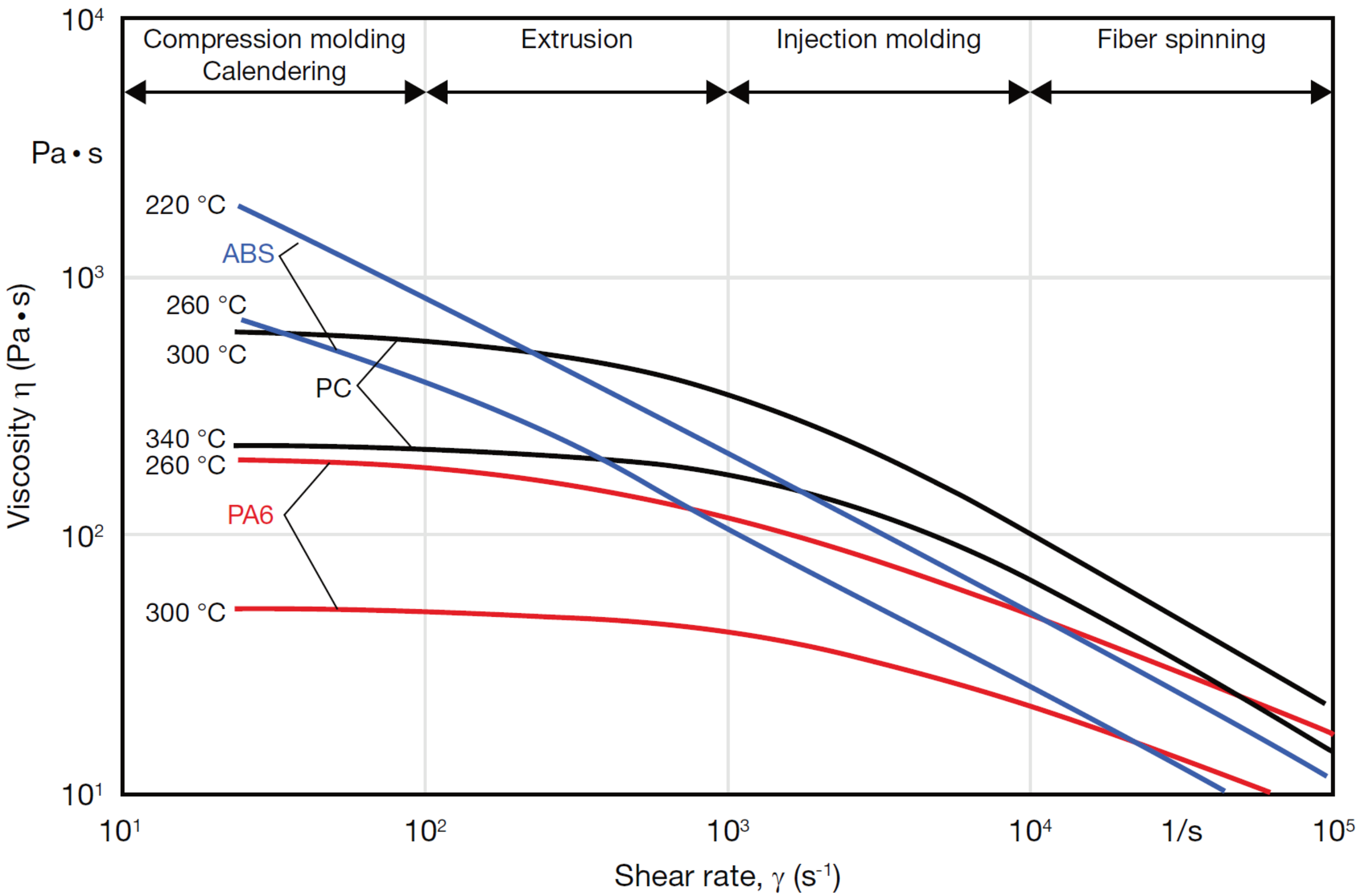
Struktúrviszkozitás





- **1: Newtoni viselkedés**
- **2: Hatványtörvényt követő viselkedés**
- **3: Newtoni jellegű viselkedés**

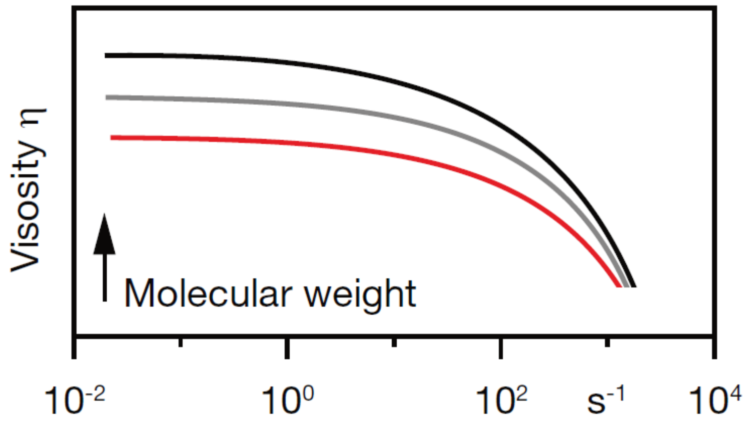
Hőmérséklet függés



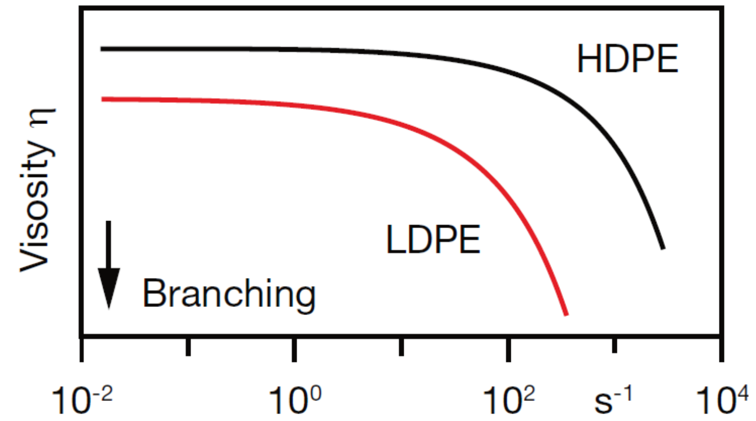
- Arrheniusi viselkedés
- WLF szerinti viselkedés

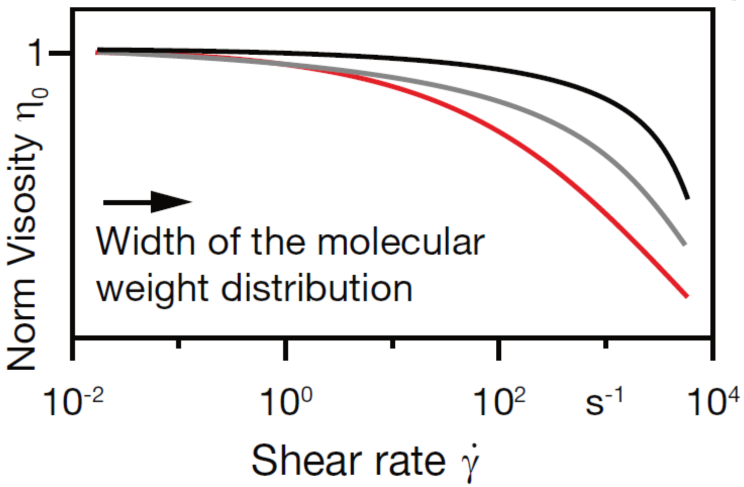
Molekuláris szerkezet hatása

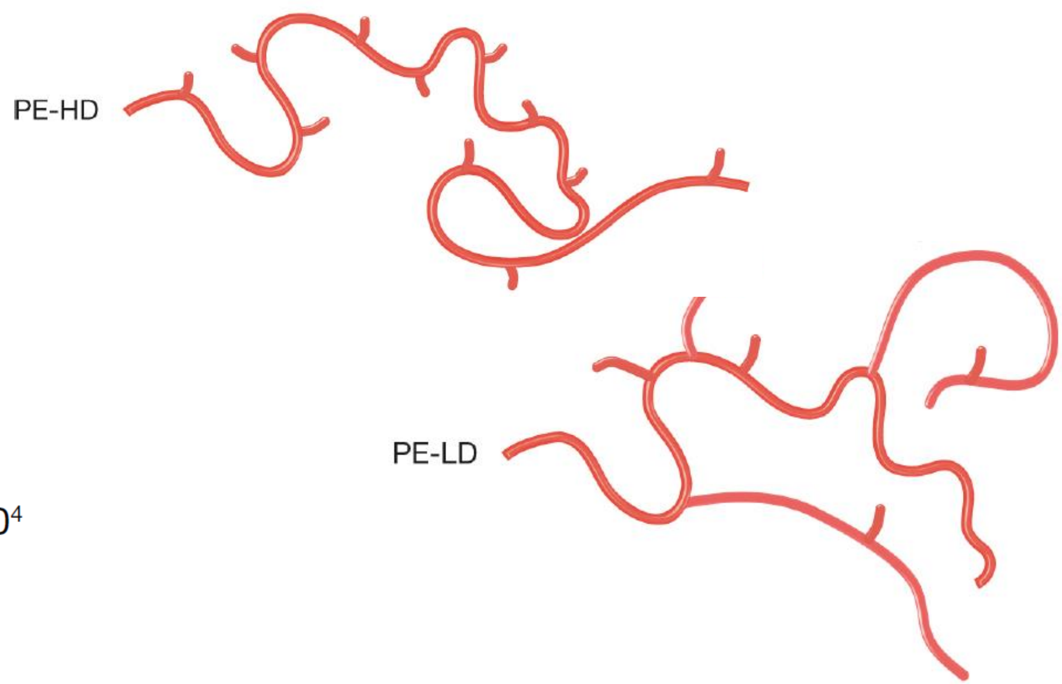
Same molecular weight distribution:



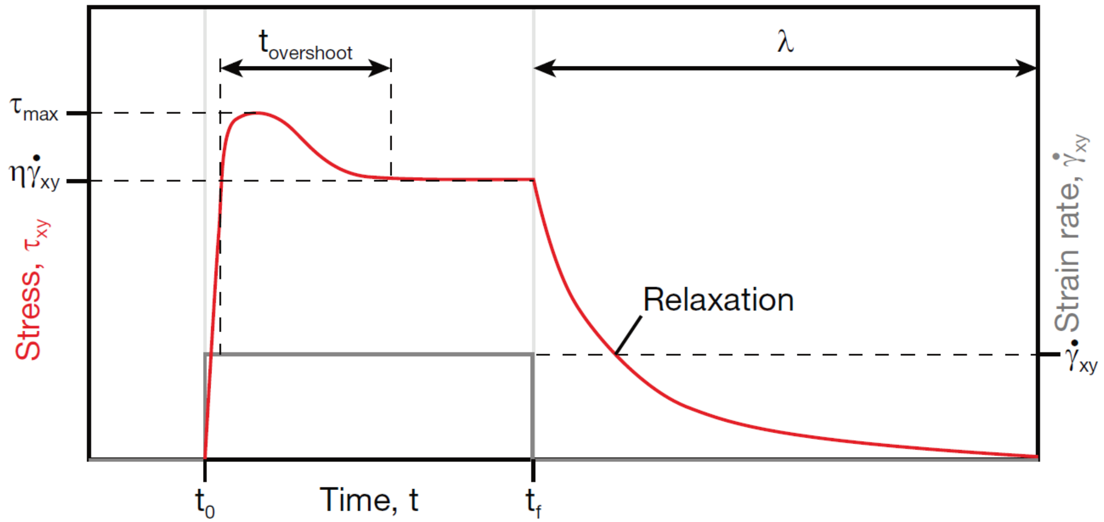
Same molecular weight:

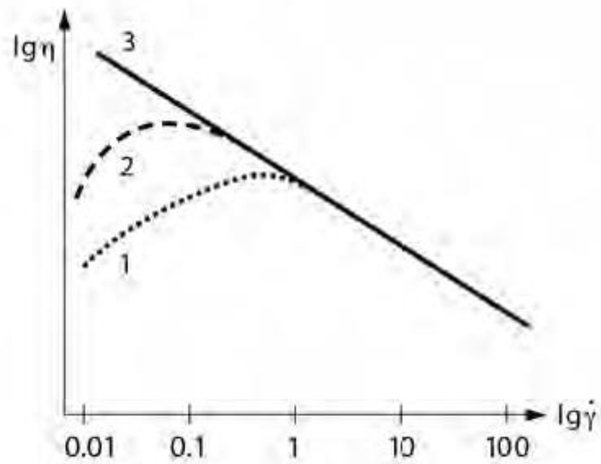


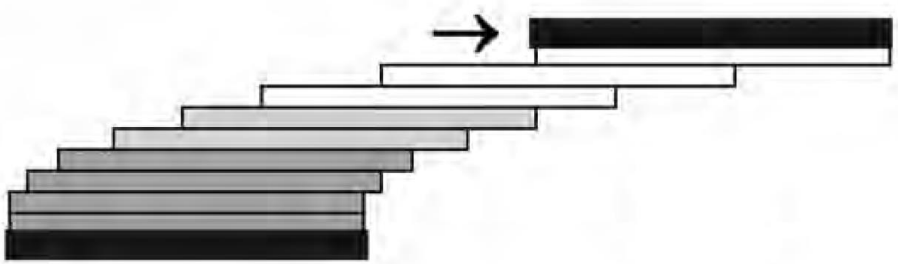




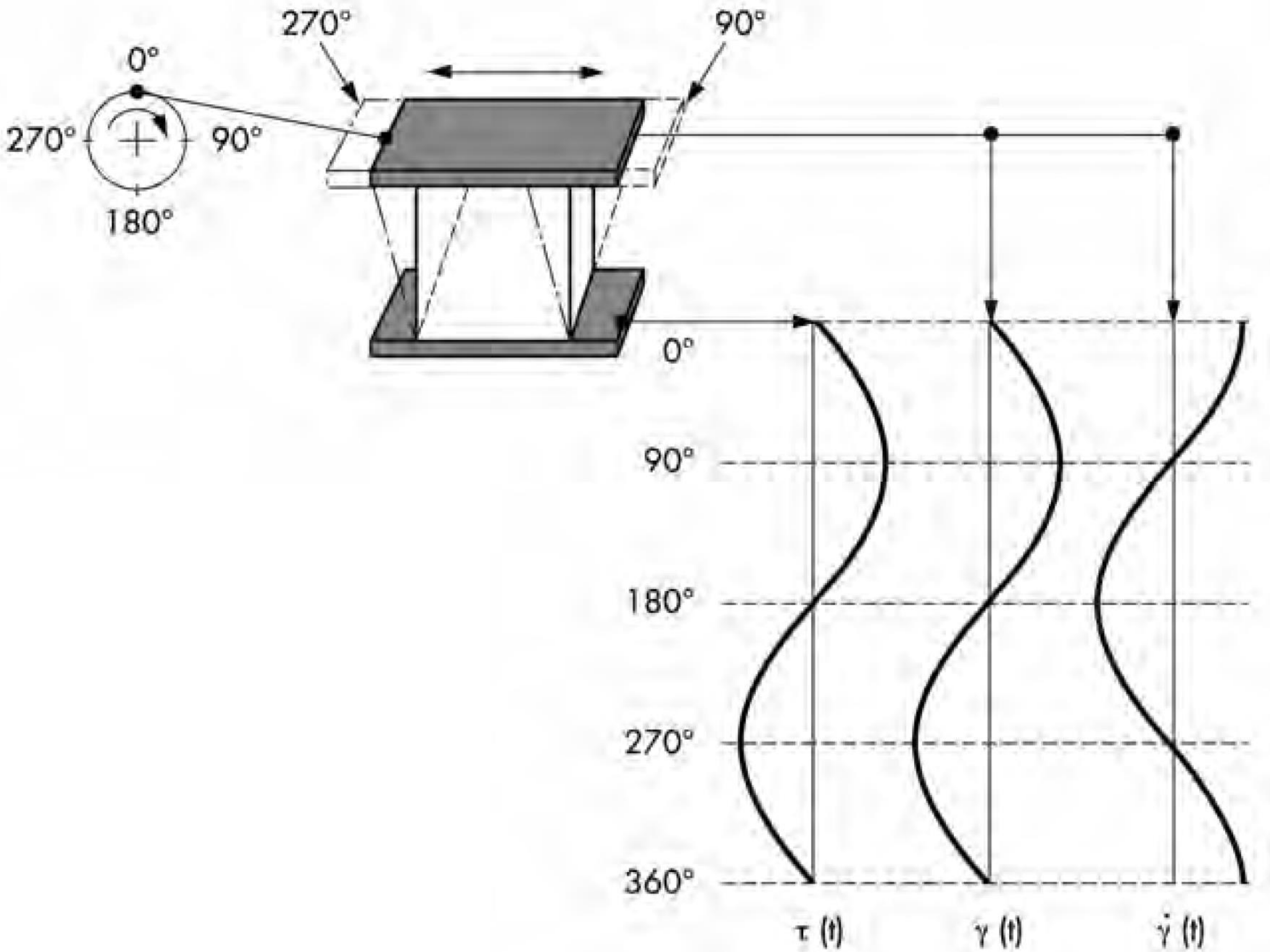
Mérési hibák



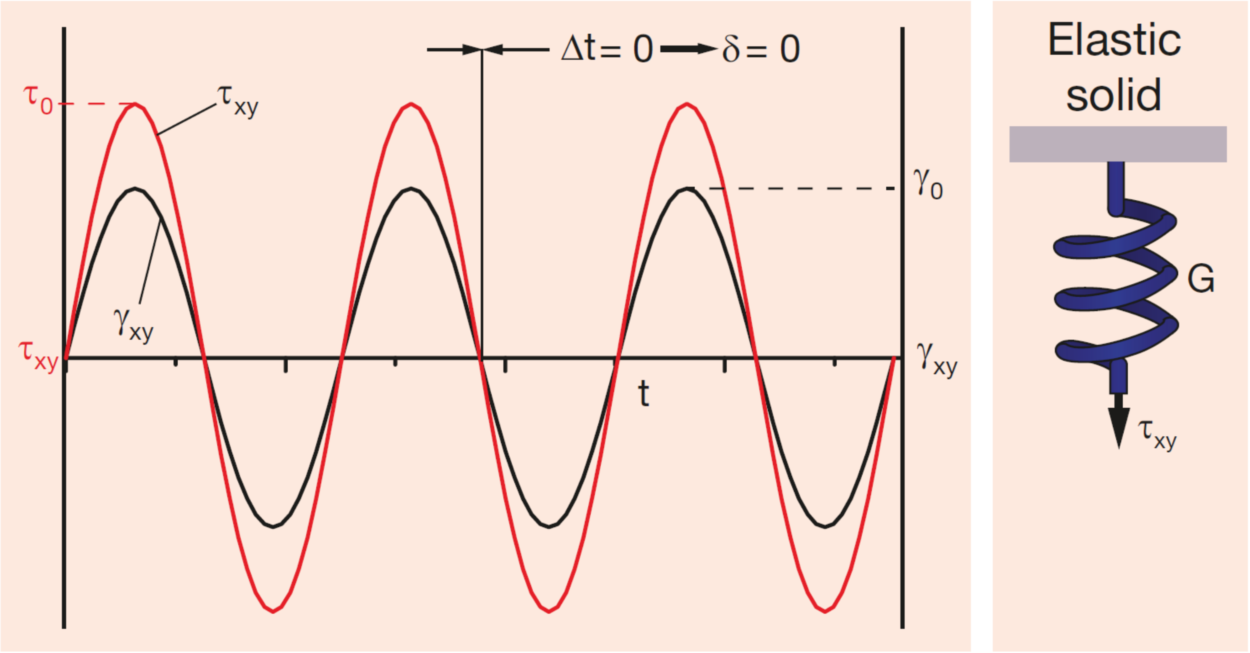




Dinamikus viselkedés



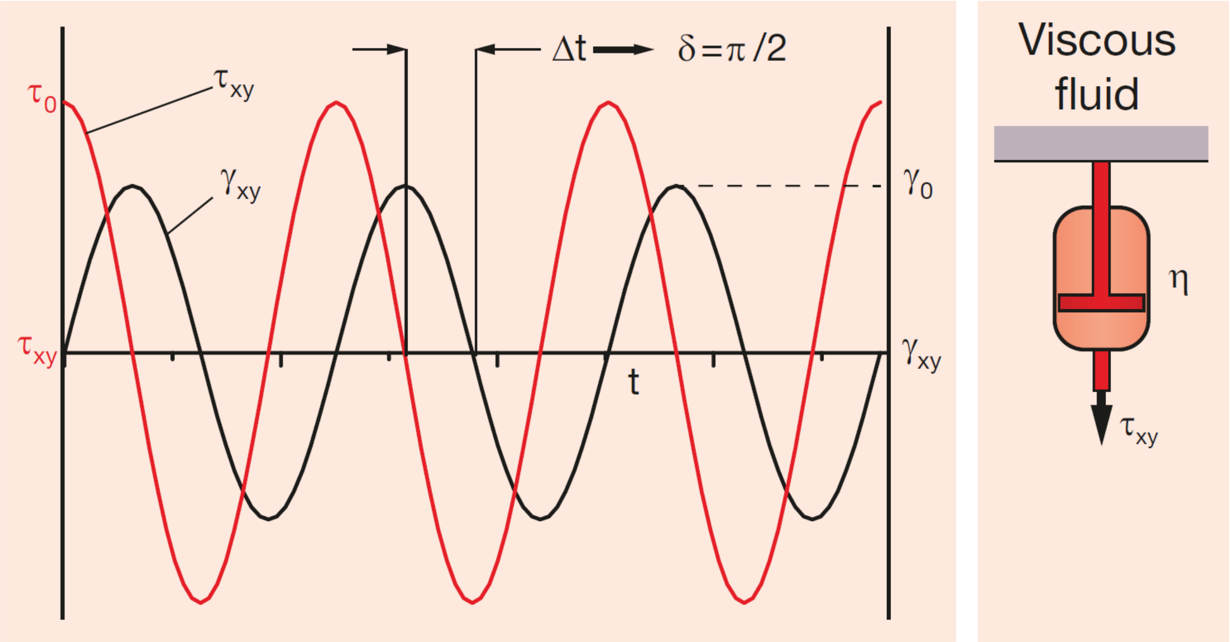
Dinamikus válaszok



$$\gamma_{xy}(t) = \gamma_0 \sin \omega t$$

$$\tau_{xy}(t) = \tau_0 \sin \omega t$$

$$G = \frac{\tau_0 \sin \omega t}{\gamma_0 \sin \omega t} = \frac{\tau_0}{\gamma_0}$$

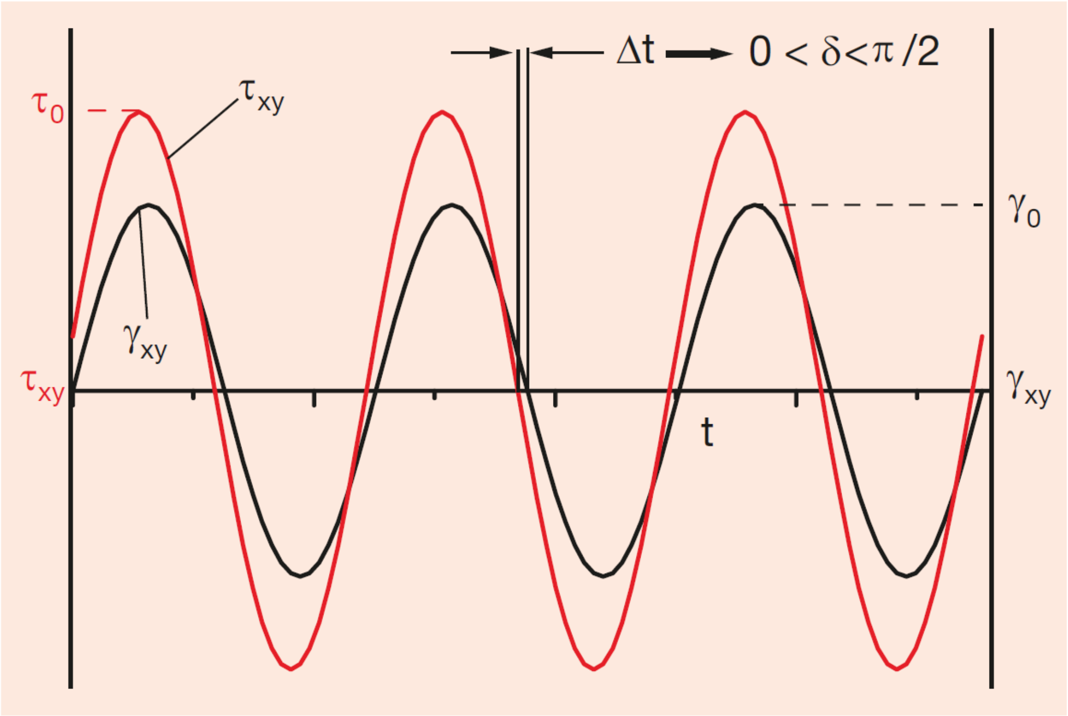


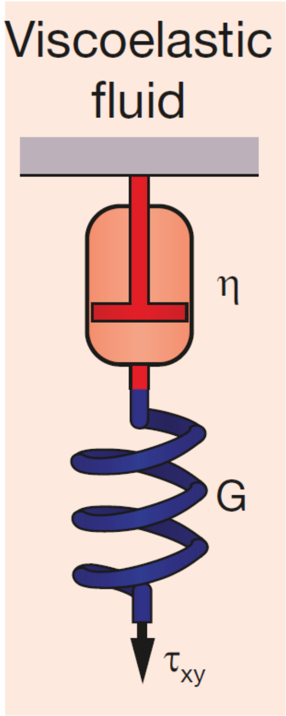
$$\gamma_{xy}(t) = \gamma_0 \sin \omega t$$

$$\tau_{xy}(t) = \tau_0 \cos \omega t = \tau_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\dot{\gamma}_{xy}(t) = \dot{\gamma}_0 \cos \omega t$$

$$\eta = \frac{\tau_0 \cos \omega t}{\dot{\gamma}_0 \cos \omega t} = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}_0}$$



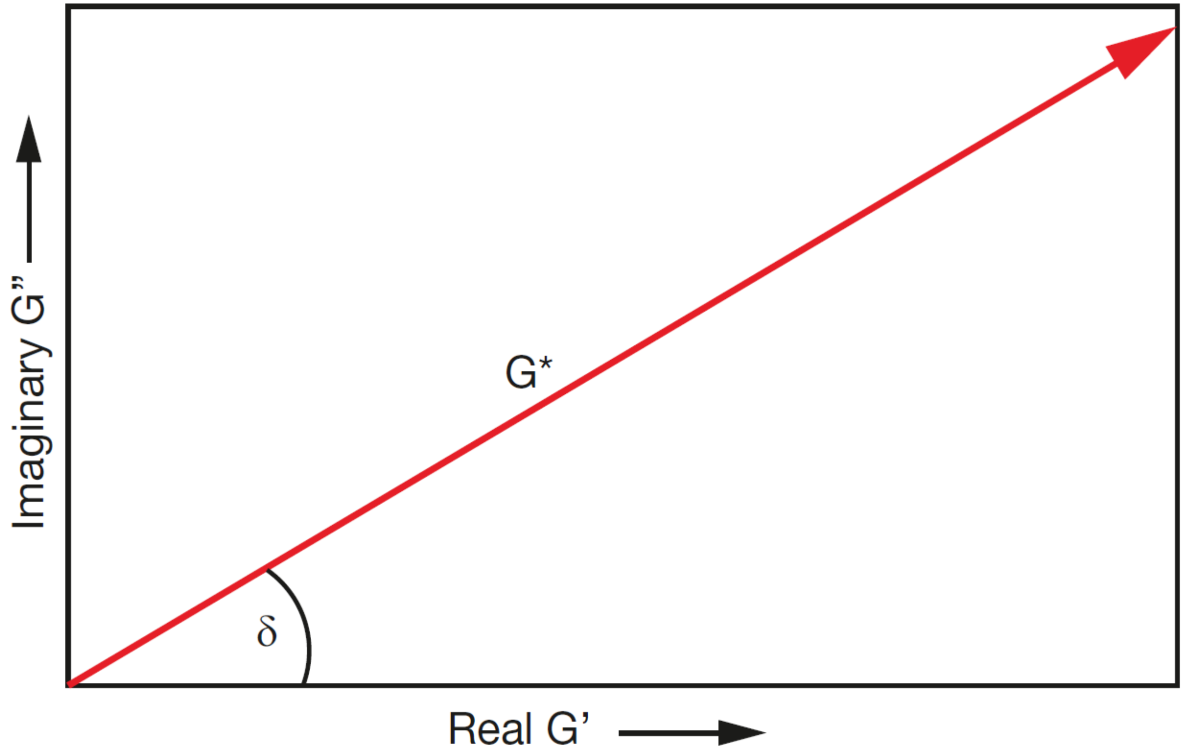


$$\gamma_{xy}(t) = \gamma_0 \sin \omega t$$

$$\tau_{xy}(t) = \tau_0 \sin(\omega t - \delta)$$

$$G^* = \frac{\tau_{xy}(t)}{\gamma_{xy}(t)} = \frac{\tau_0 e^{i\delta}}{\gamma_0} = \frac{\tau_0}{\gamma_0}(\cos\delta + i \sin\delta) = G' + iG''$$

Dinamikus válaszok



$$\eta'' = \frac{G'}{\omega}$$

$$\eta^* = \frac{\tau_{xy}(t)}{\dot{\gamma}_{xy}(t)} = \eta' + \eta''$$

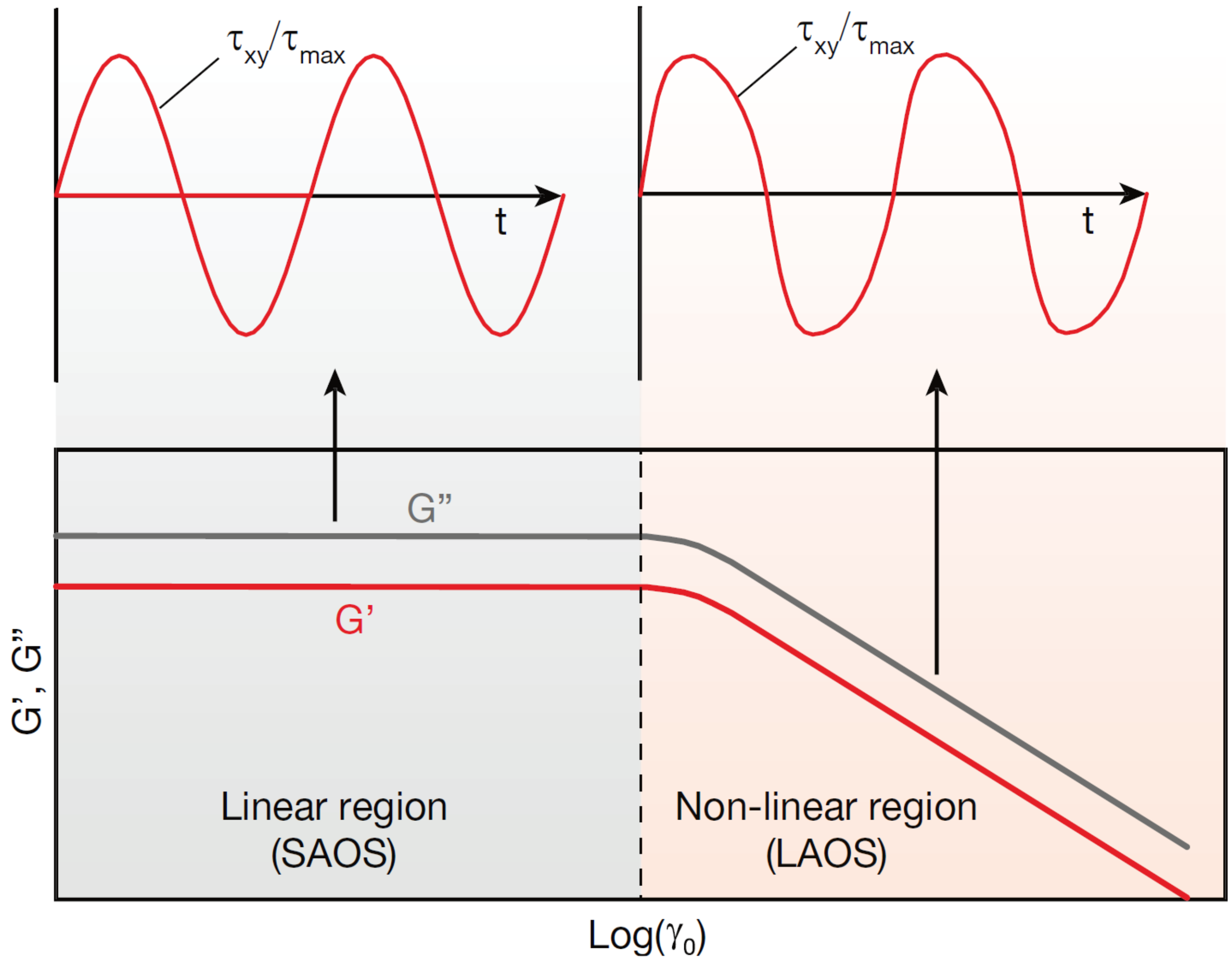
$$\eta' = \frac{G''}{\omega}$$

Cox – Merz szabály

$$\eta'(\omega)\Big|_{\omega\to 0} = \eta(\dot{\gamma})\Big|_{\dot{\gamma}\to 0}$$

- **Csak a lineárisan viszkoelasztikus tartományban érvényes (kis vizsgálati amplitúdó, jellemzően 10% alatti deformáció esetén)**
- **Kompozitok?**
- **Blendek?**

Amplitúdó seprés



Lissajous görbék