

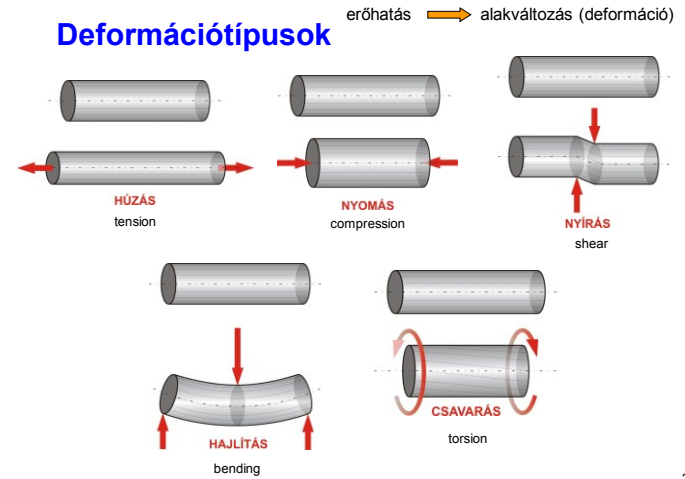


## Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai 6.

Mechanikai tulajdonságok 1.

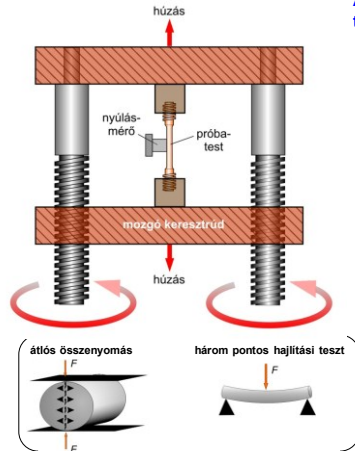
1

## Deformációtípusok



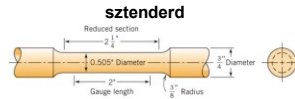
2

## Tesztelés



A mérésből nyert mechanikai tulajdonságok értékét befolyásolja:

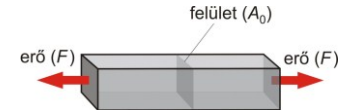
- Az igénybevétel típusa (nyújtás, ...)
- A minta geometriája
  - sztenderd
- A terhelés időbeli lefutása
  - statikus
  - dinamikus
  - tartós (egyenletes, változó)
- hőmérséklet



3

## Húzás

Terhelés jellemzése:



(húzó-)feszültség ( $\sigma$ ):  $\sigma = \frac{F}{A_0}$   $[\sigma] = \frac{N}{m^2} = Pa$

mérnöki rendszer!

Alakváltozás jellemzése:

relatív hosszváltozás (nyúlás) ( $\epsilon$ ):

$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$   $[\epsilon] = 1$

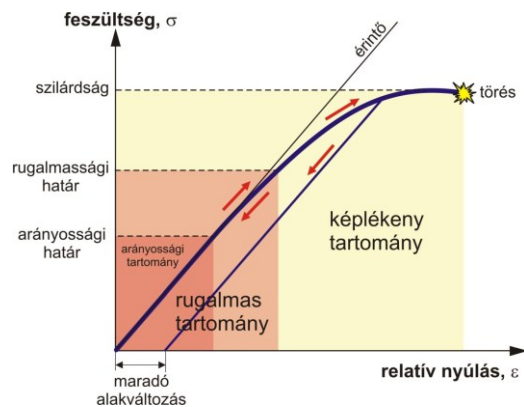
mérnöki rendszer!

→ belső feszültségek

Összenyomásnál: irányok fordítottak, nyomófeszültség negatív, relatív hosszváltozás (rövidülés) negatív.

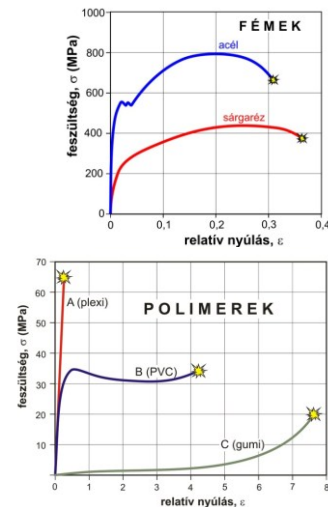
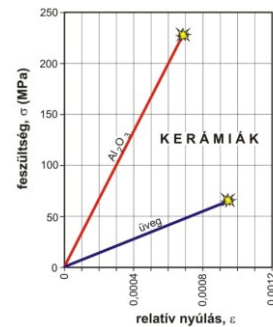
4

## Terhelési diagram



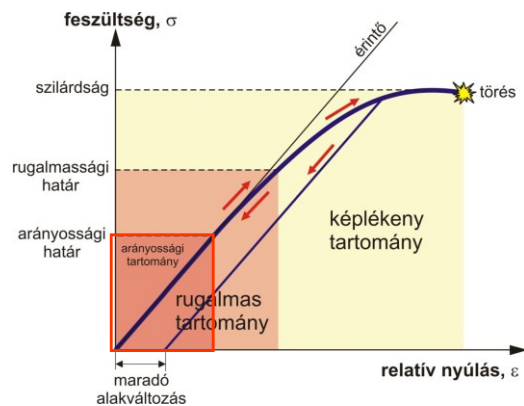
5

Példák:



6

## Terhelési diagram

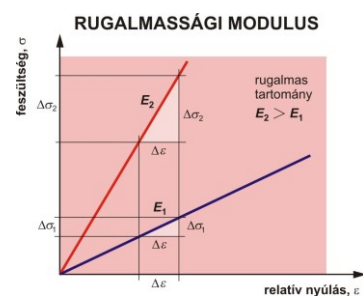


7

## Rugalmas viselkedés (arányossági határig)

### 1. húzás/összenyomás

Hooke-törvény:  $\sigma = E \cdot \epsilon$   $E$  — rugalmassági (Young-) modulus [ $E$ ] = Pa

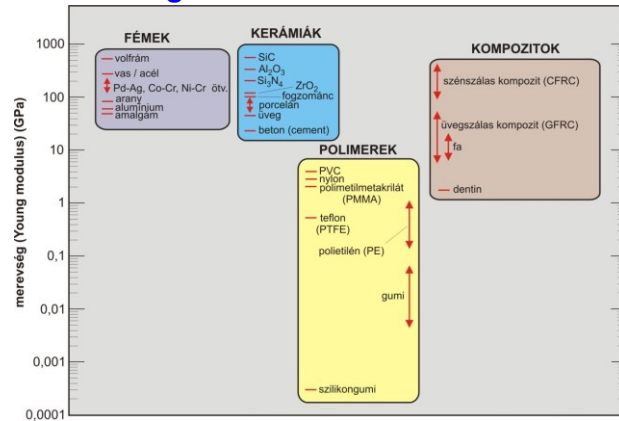


$E$  — nyújtással, vagy összenyomással szemben mutatott „ellenállás”, **merevség**

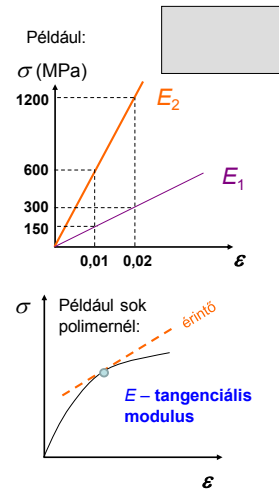
$1/E$  — nyújtásra vagy összenyomásra való „készség”, **rugalmasság**

8

## Merevség



9

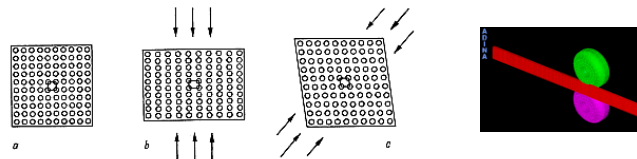


## Néhány fogászati anyag merevsége:

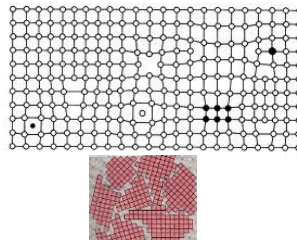
anyag	E (GPa)
fogzománc	≈ 100
dentin	≈ 15
acél	200-230
amalgám	50-60
arany	79
arany ötvözetek	75-110
Pd-Ag ötvözetek	100-120
Co-Cr ötvözetek	120-220
Ni-Cr ötvözetek	140-190
üveg	60-90
kerámiák	60-130
porcelán	60-110
PMMA (polimetilmetakrilát)	2,4-3,8
szilikon	≈ 0,0003

10

## Rugalmas alakváltozás atomi szinten



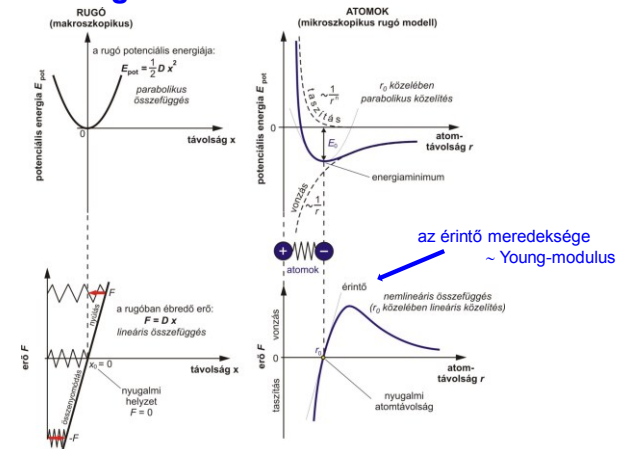
Kristályhibák, szemcseméret szerepe?



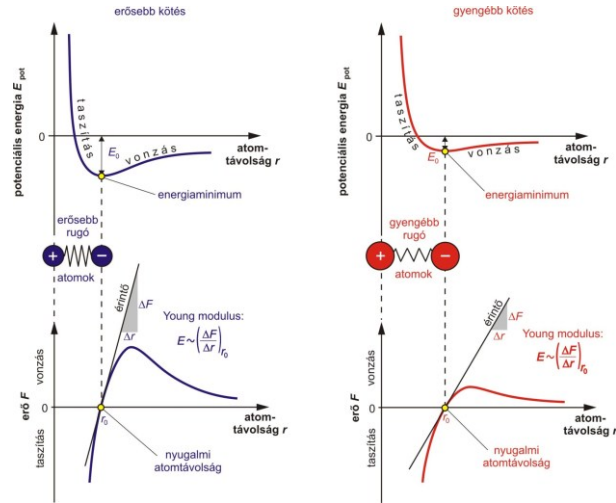
A Young-modulus ( $E$ ) és a Poisson szám ( $\mu$ ) (l. később) kevésbé érzékenyek a hibákra.

11

## A Young-modulus atomi értelmezése

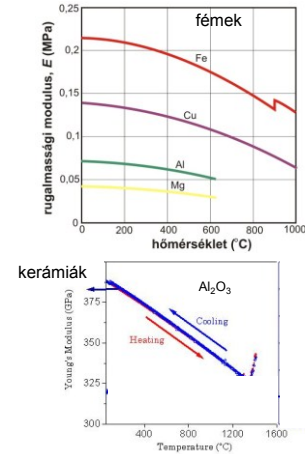


12

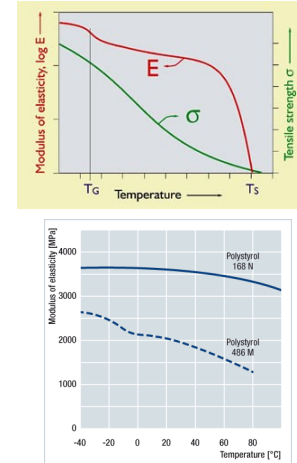


13

## Hőmérséklet hatása:

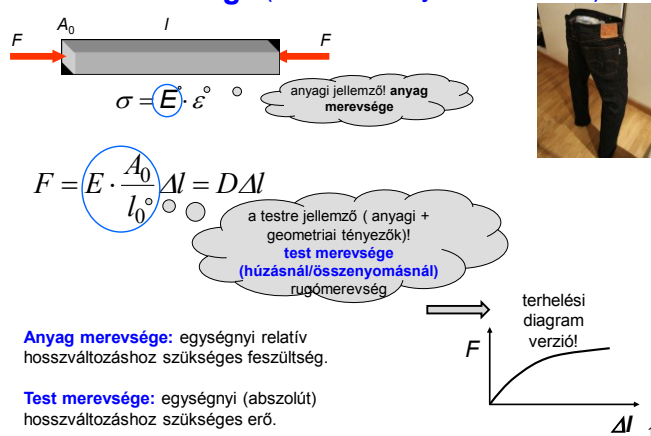


## szemikristályos polimerek



14

## Test merevsége (húzással/összenyomással szemben)

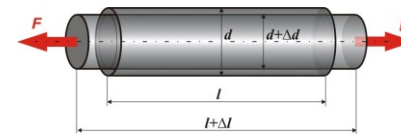


**Anyag merevsége:** egységnyi relatív hosszváltozáshoz szükséges feszültség.

**Test merevsége:** egységnyi (abszolút) hosszváltozáshoz szükséges erő.

15

## Harántirányú méretváltozás:

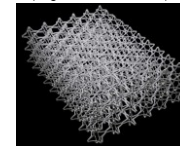


$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu - \text{Poisson-szám} \quad [\mu] = 1$$

Pl.

anyag	$\mu$
fogzománc	0,33
dentin	0,31
amalgám	0,31
PDL	0,45
polimerek	0,40–0,50

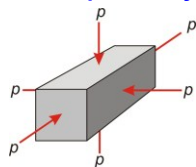
Auxetikus anyagok (negatív Poisson-szám):



Homogén, izotróp anyag rugalmas viselkedését egyértelműen meghatározza E és  $\mu$ .

16

## 2. Izotróp összenyomás



$$p = \frac{E}{3(1-2\mu)} \frac{\Delta V}{V_0}$$

$K$ : térfogati rugalmassági (kompressziós) modulus (Pa)

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

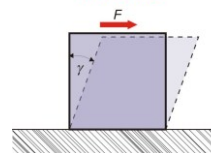
$\kappa$ : kompresszibilitás (1/Pa)

anyag	$\kappa$ (1/GPa)
levegő	7650
víz	0,45
aluminium	0,009

17

## 3. nyírás

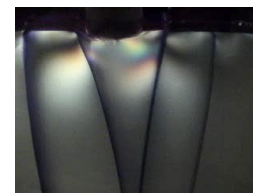
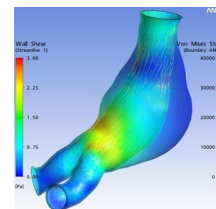
NYÍRÁS



$$\sigma = G\gamma$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

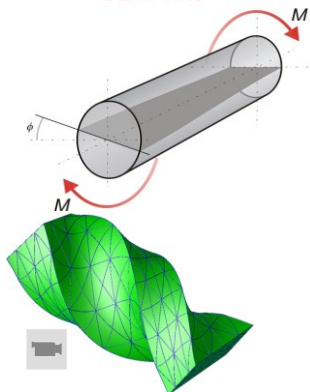
nyírási modulus



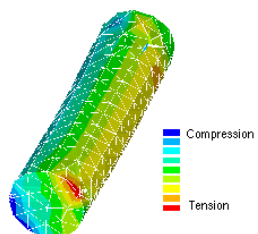
18

## 4. csavarás (torzió)

CSAVARÁS



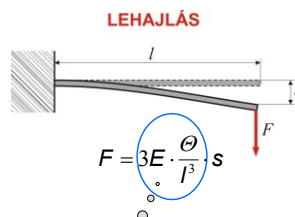
$$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$$



19

## 5. hajlítás

„hajlítás =  
nyújtás + összenyomás”

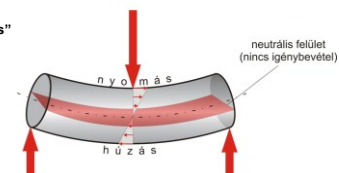


$$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$$

test merevsége (hajlításnál)

$\Theta$  = másodrendű nyomaték (felületi tehetetlenségi nyomaték)

HAJLÍTÁS



KERESZT.  
METSZETEK

MÁSODRENDŰ  
NYOMATÉKOK

kör

körgyűrű

téglatest

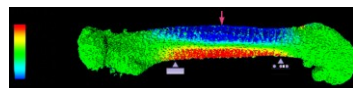
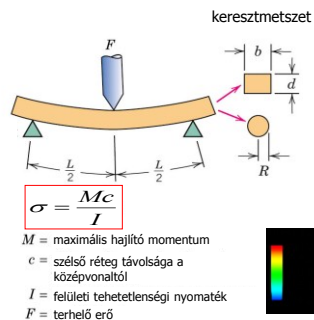
$\Theta = \frac{\pi}{4} \cdot r^4$

$\Theta = \frac{\pi}{4} \cdot (r_2^4 - r_1^4)$

$\Theta = \frac{1}{12} \cdot a b^3$

20

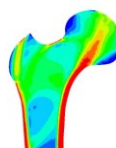
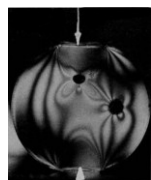
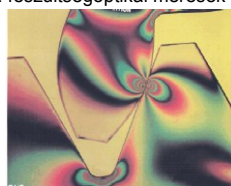
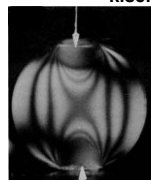
## Hárompontos hajlítási teszt



21

## Feszültség eloszlás vizsgálata

- kísérleti: feszültségoptikai mérések



3

## Összefoglalás:

### Hooke-törvény:

- nyújtás/összenyomás

anyagra  $\sigma = E \cdot \varepsilon$

testre  $F = E \cdot \frac{A}{l} \Delta l$

- nyírás

$\sigma = G \gamma$

$F = 2G \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta L$

- hajlítás

$F = 3E \cdot \frac{\theta}{l^3} \cdot s$

- csavarás (torzió)

$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$

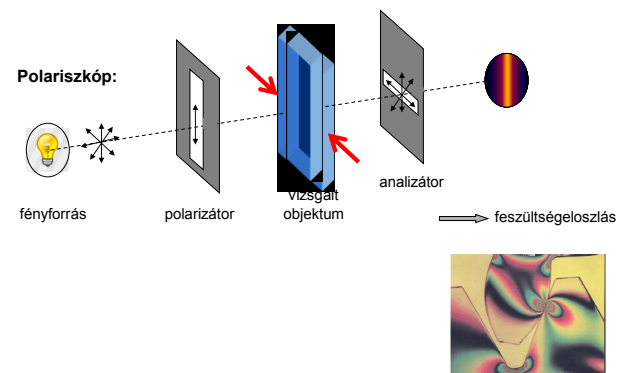
$E$  — rugalmassági (Young-) modulus  $[E] = \text{Pa}$

$\mu$  — Poisson-szám  $[\mu] = 1$

$G$  — nyírási modulus  $[G] = \text{Pa}$   $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$

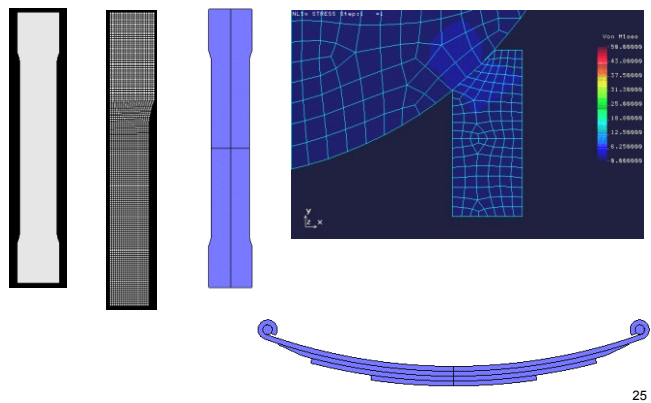
$\phi$  — felületi tehetetlenségi nyomaték

22



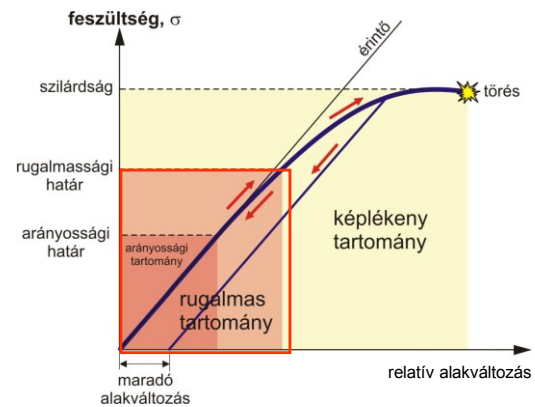
24

- elméleti: véges elem analízis



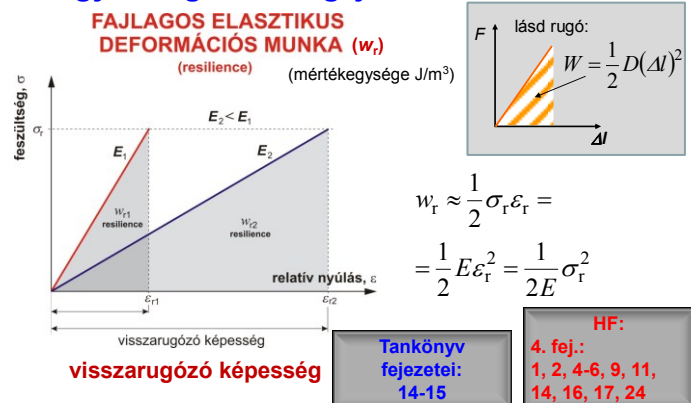
25

## Terhelési diagram



26

## Egyéb rugalmassági jellemzők



27