



## Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai

### 7.

#### Mechanikai tulajdonságok 1.

Kiemelt témák:

- ❖ Rugalmas alakváltozás
- ❖ Merevség és összefüggése a kötési energiával
- ❖ A geometriai tényezők szerepe egy test merevségében
- ❖ rugalmasság

**Tankönyv fejezetei:**  
14-15.

**HF:**

**4. fejt:**  
1, 2, 4-6, 9, 11,  
14, 16, 17, 24

1

**rugalmas** B mn 1. A rá ható erő következtében megváltozott alakját a hatás megszűntével visszanyerő. | Vmhez hozzáűtődve róla visszapattanó.

**merev** B mn 1. Nem rugalmas, nem hajlékony <anyag, test>. | Rugalmasságát, hajlékonyságát veszített <test(rész)>.

**képlékeny** C mn 1. Műsz Könnyen gyúrható, alakítható.

**erős** A I. mn 3. Károsító hatásoknak ellenálló, szilárd, tartós. Erős szövet, vár. Szh: erős, mint a bőr: nagyon tartós <szövet>.

**gyenge** A győnge I. mn 2. Nagyobb megterhelést el nem viselő. Gyenge kötél. | nép

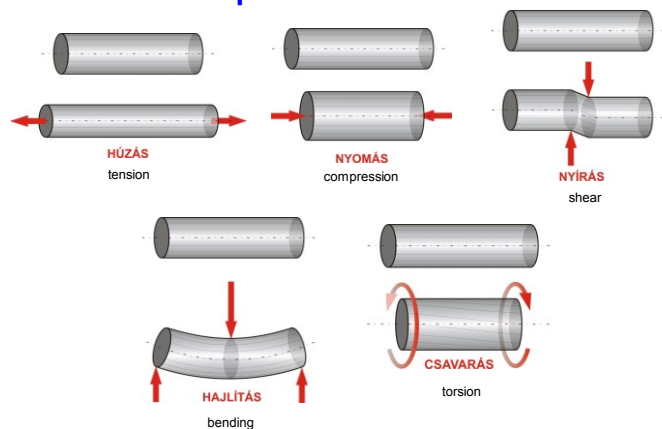
**szilárd** B mn 1. Helyéből ki nem mozdítható, biztos, erős, tartós. Szilárd építmény; szilárdan összeilleszt vmit. 2. Fiz Határozott térfogatú és alakú <anyag, test, ill. ennek halmazállapota

**szívós** B mn 1. Nehezen törhető, szakítható, téphető v. rágható.

2

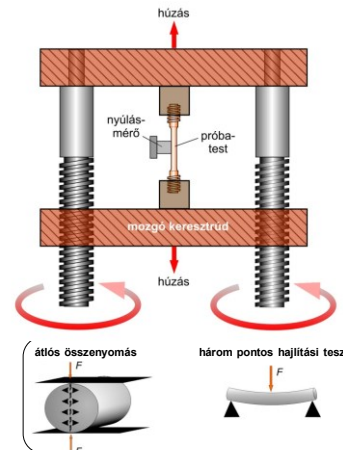
## Deformációtípusok

erőhatás → alakváltozás (deformáció)



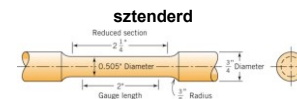
3

## Tesztelés



A mérésből nyert mechanikai tulajdonságok értékét befolyásolja:

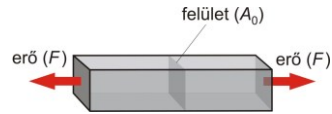
- Az igénybevétel típusa (nyújtás, ...)
- A minta geometriája
- A terhelés időbeli lefutása
  - statikus
  - dinamikus
  - tartós (egyenletes, változó)
- hőmérséklet



4

## Húzás

Terhelés jellemzése:



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

mérnöki rendszer!

Alakváltozás jellemzése:

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

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

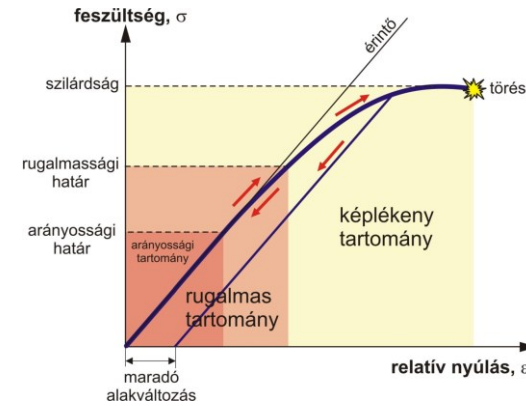
mérnöki rendszer!

→ belső feszültségek

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

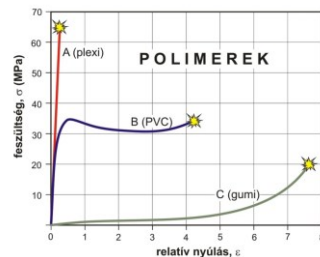
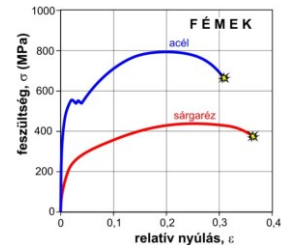
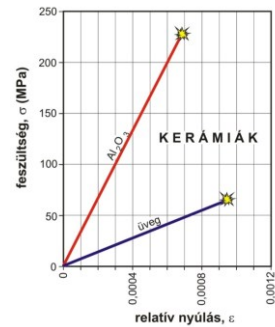
5

## Terhelési diagram



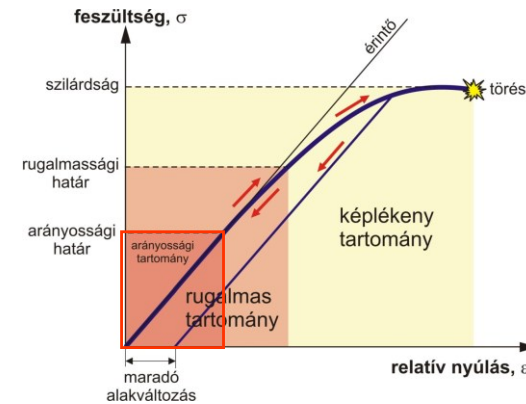
6

Példák:



7

## Terhelési diagram

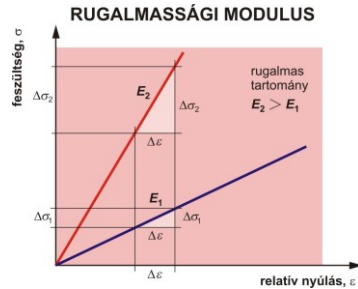


8

## Rugalmas viselkedés (arányossági határig)

### Húzás/összenyomás

Hooke-törvény:  $\sigma = E \cdot \varepsilon$   $E$  — rugalmassági (Young-) modulus  $[E] = \text{Pa}$

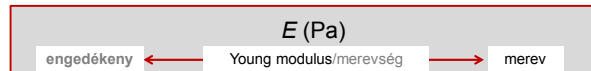


$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}$$

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

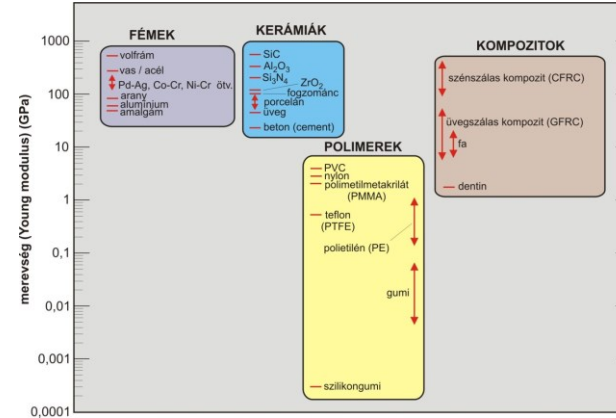
$1/E$  — megnyúlásra vagy rövidülésre való „készség”, **engedékenység**

**merev** B mn 1. Nem rugalmas, nem hajlékony <anyag, test>. | Rugalmasságát, hajlékonyságát veszített <test(rész)>.

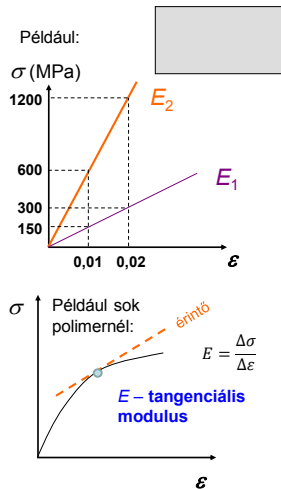


9

## Merevség



10

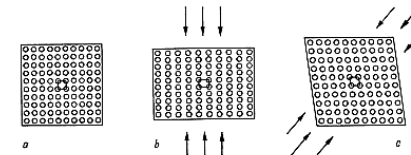


### Néhány fogászati anyag merevsége:

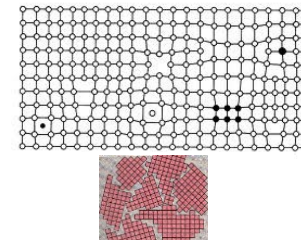
anyag	$E$ (GPa)
fogzománc	$\approx 100$
dentin	$\approx 15$
acél	200-230
amalgám	50-60
arany	79
arany ötvözetek	75-110
Pd-Ag ötvözetek	100-120
Co-Cr ötvözetek	120-220
Ni-Cr ötvözetek	140-190
üveg	60-90
kerámiák	60-400
porcelán	60-110
PMMA (polimetilmetakrilát)	2,4-3,8
szilikon	$\approx 0,0003$

11

## Rugalmas alakváltozás atomi szinten



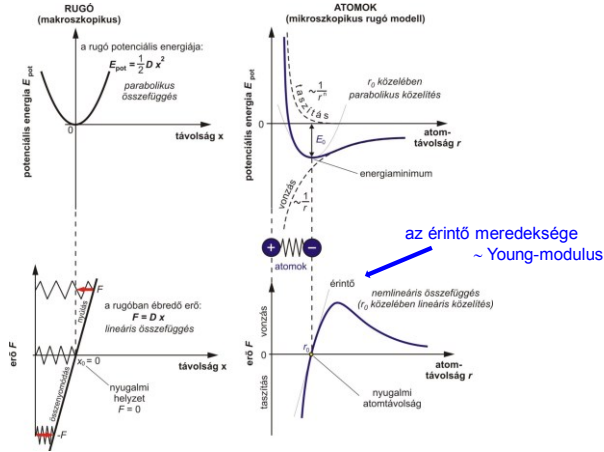
Kristályhibák, szemcseméret szerepe?



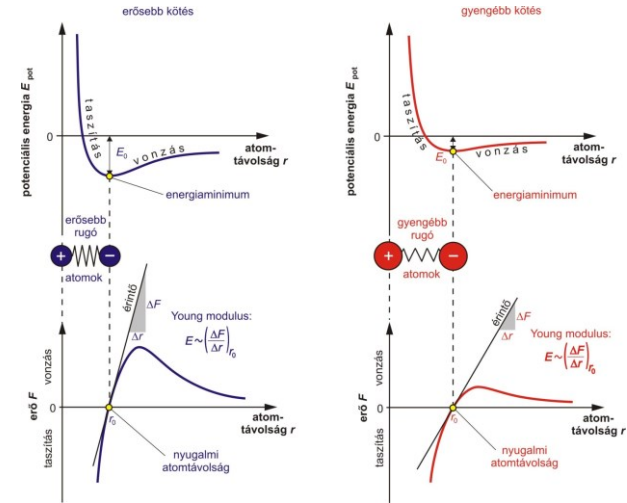
A Young-modulus ( $E$ ) és a Poisson szám ( $\mu$ ) (l. később) kevésbé érzékenyek a hibákra.

12

## A Young-modulus atomi értelmezése

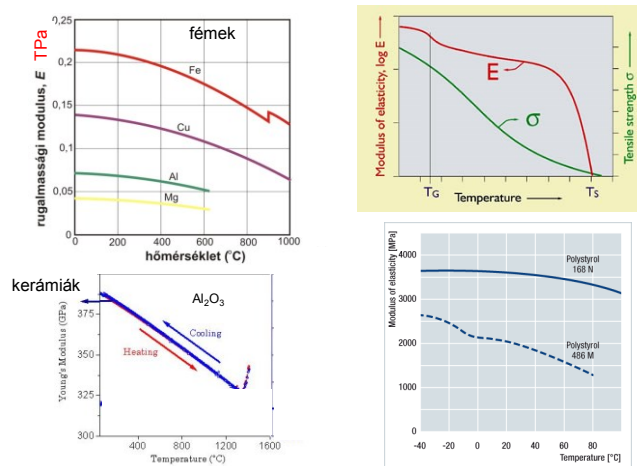


13



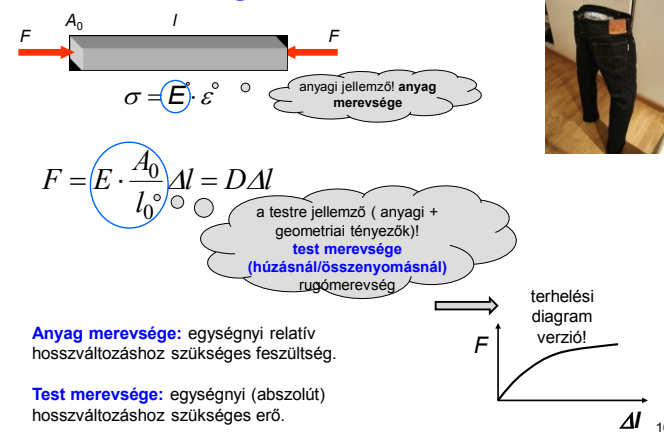
14

## Hőmérséklet hatása:



15

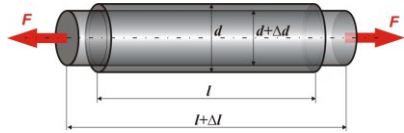
## Test merevsége (húzással/összenyomással szemben)



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

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

### Harántirányú méretváltozás:

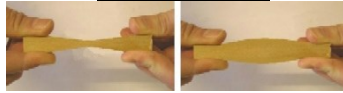
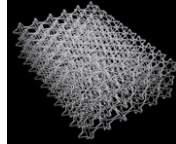


$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu = \text{Poisson-szám} \quad [\mu] = 1$$

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):

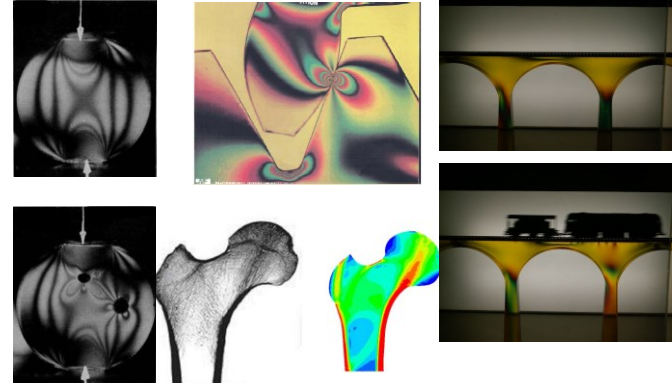


Homogén, izotróp anyag rugalmas viselkedését egyértelműen meghatározza  $E$  és  $\mu$ .

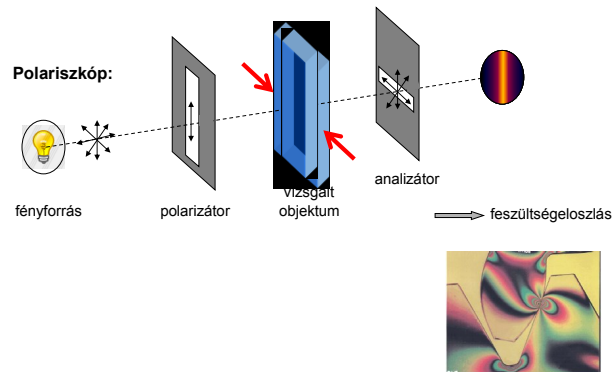
17

### Feszültség eloszlás vizsgálata

- kísérleti: feszültségoptikai mérések

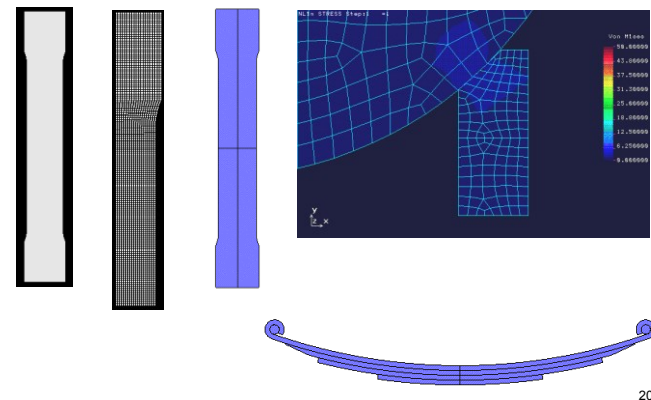


18



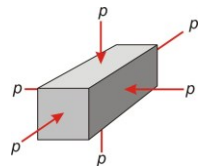
19

- elméleti: véges elem analízis



20

## Izotróp összenyomás



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

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

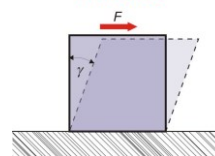
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{E} p$$

$\kappa$ : kompresszibilitás (1/Pa)

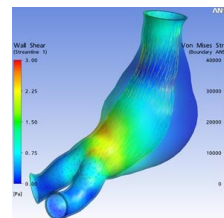
anyag	$\kappa$ (1/GPa)
levegő	7650
víz	0,45
aluminium	0,009

21

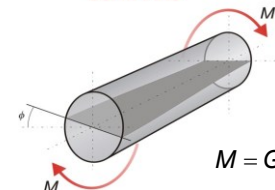
## NYÍRÁS



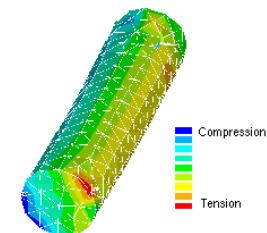
$$\sigma = G\gamma$$



## CSAVARÁS



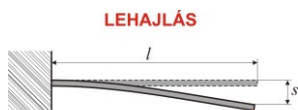
$$M = G \frac{r^4 \pi}{2I} \phi$$



22

## Hajlítás

„hajlítás = nyújtás + összenyomás”

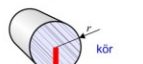
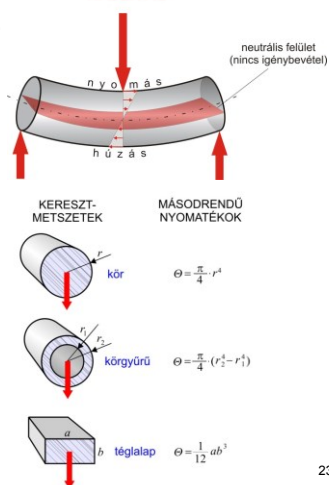


$$F = 3E \cdot \frac{\theta}{l^3} s$$

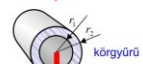
test merevsége (hajlításnál)

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

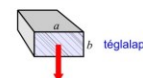
## HAJLÍTÁS



$$\theta = \frac{\pi}{4} r^4$$



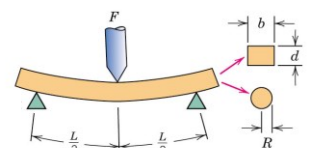
$$\theta = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$



$$\theta = \frac{1}{12} ab^3$$

23

## Hárompontos hajlítási teszt



$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

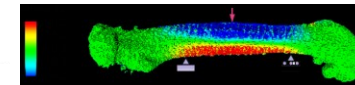
$M$  = maximális hajlító momentum

$c$  = szélső réteg távolsága a középvonaltól

$I$  = felületi tehetetlenségi nyomaték

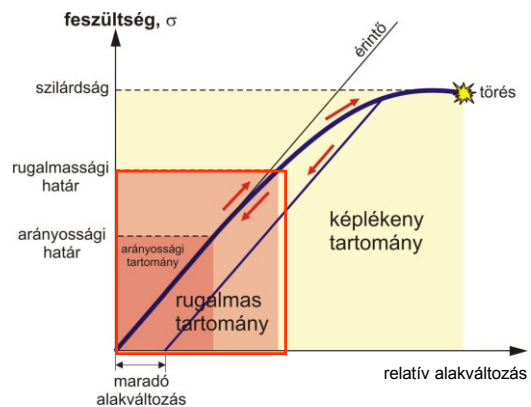
$F$  = terhelő erő

	$\frac{M}{I}$	$\frac{c}{I}$	$\frac{F}{I}$	$\frac{\sigma}{I}$
	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
	$\frac{FL}{4}$	$R$	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$



24

## Terhelési diagram

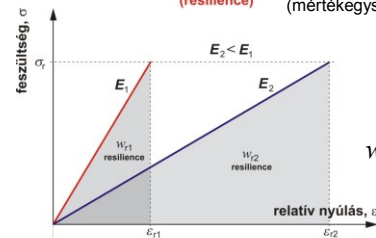


25

## Egyéb rugalmassági jellemzők

### FAJLAGOS ELASZTIKUS DEFORMÁCIÓS MUNKA ( $w_r$ )

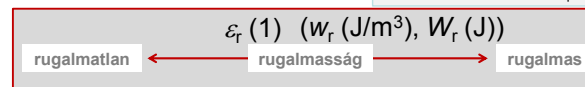
(resilience) (mértékegysége J/m<sup>3</sup>)



$$w_r \approx \frac{1}{2} \sigma_r \epsilon_r = \frac{1}{2} E \epsilon_r^2 = \frac{1}{2E} \sigma_r^2$$

visszarugózó képesség

rugalmas B mn 1. A rá ható erő következtében megváltozott alakját a hatás megszűntével visszanyerő. Vmhez hozzáütődve róla visszapatlanó.



26

Következő előadáshoz: 16-17. tankönyvi fejezetek