



Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai

7.

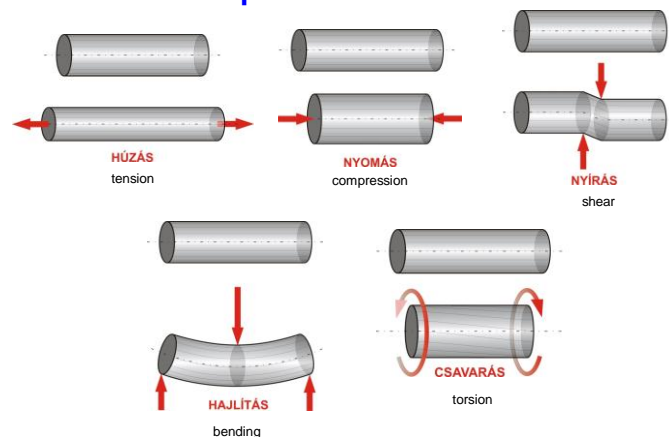
Mechanikai tulajdonságok 1.



1

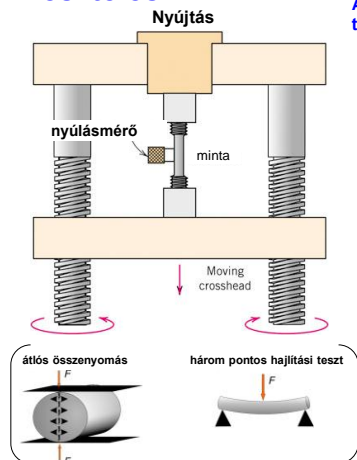
Deformációtípusok

erőhatás → alakváltozás (deformáció)



2

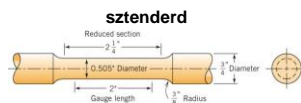
Tesztelés



A mérésből nyert mechanikai tulajdonságok értékét befolyásolja:

- Az igénybevétel típusa (nyújtás, ...)

- A minta geometriája



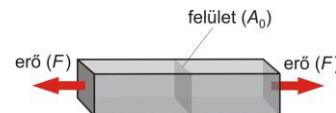
- A terhelés időbeli lefutása

- statikus
- dinamikus
- tartós (egyenletes, változó)

3

Húzás

Terhelés jellemzése:



(húzó-)feszültség (σ):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad [\sigma] = \frac{N}{m^2} = Pa$$

mérnöki rendszer!

Alakváltozás jellemzése:

relatív hosszváltozás (nyúlás) (ε):

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

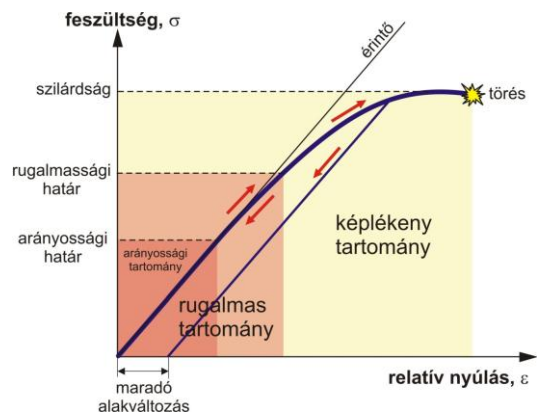
mérnöki rendszer!

→ belső feszültségek

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

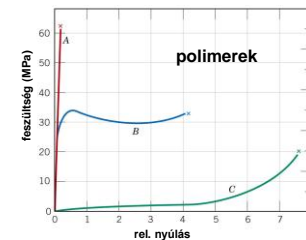
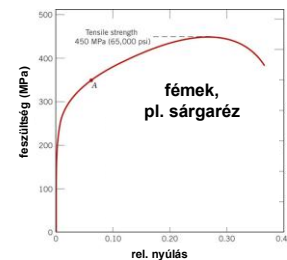
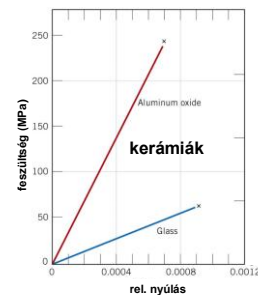
4

Terhelési diagram



5

Példák:

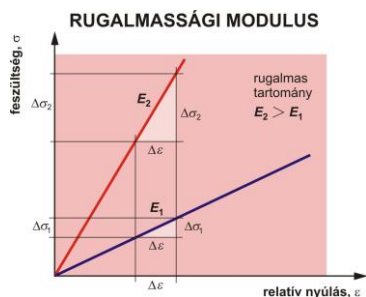


6

Rugalmas viselkedés (arányossági határig)

1. húzás/összenyomás

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



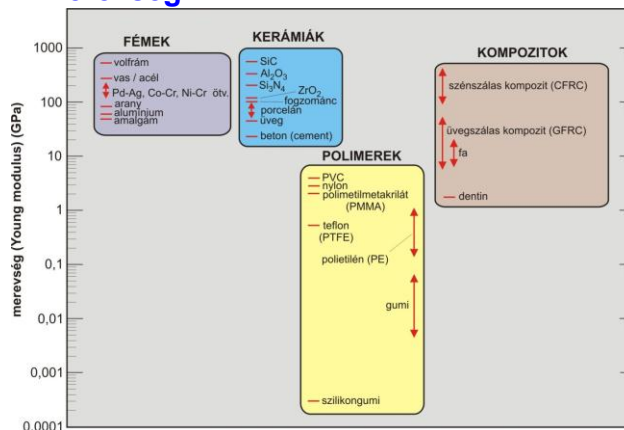
$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}$$

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

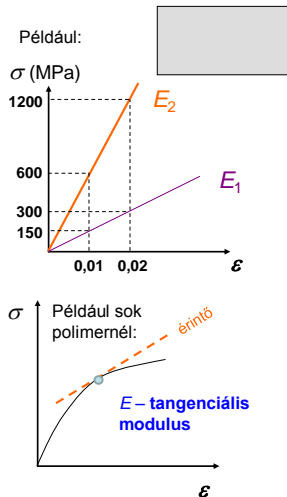
$1/E$ — nyújtásra vagy összenyomásra való „készség”, **rugalmasság**

7

Merevség



8

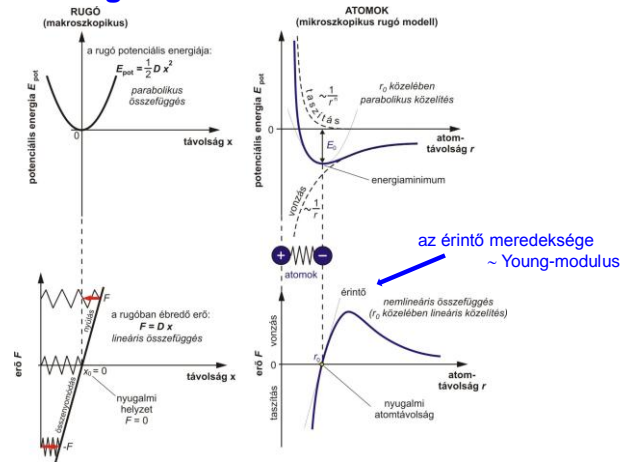


Néhány fogászati anyag merevsége:

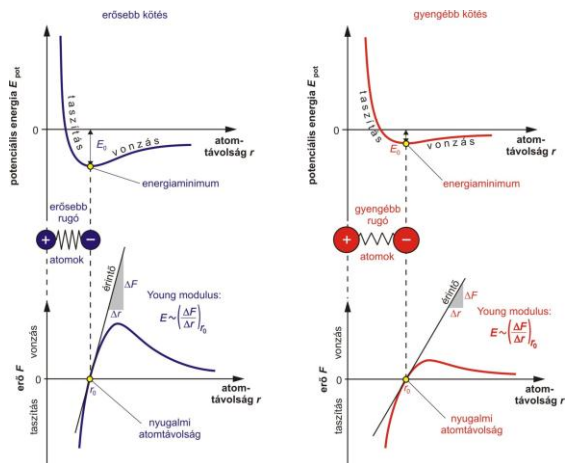
anyag	E (GPa)
fogzománc	≈ 100
dentin	≈ 15
acél	200-230
amalgám	50-60
arany	79
arany ötvözetek	75-110
Pd-Ag ötvözetek	100-120
Co-Cr ötvözetek	120-220
Ni-Cr ötvözetek	140-190
üveg	60-90
kerámiák	60-130
porcelán	60-110
PMMA (polimetilmetakrilát)	2,4-3,8
szilikon	$\approx 0,0003$

9

A Young-modulus atomi értelmezése

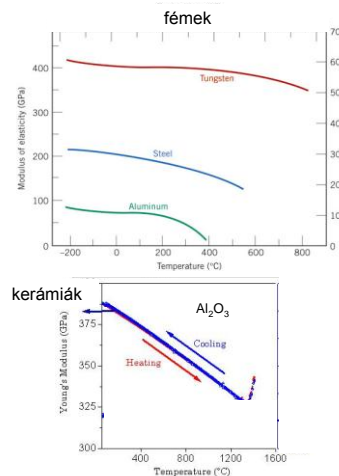


10

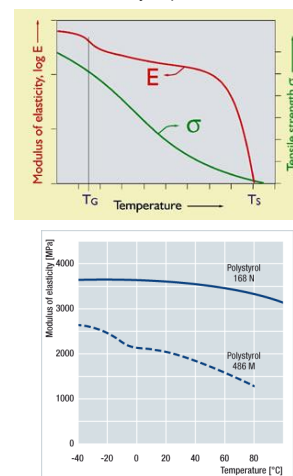


11

Hőmérséklet hatása:

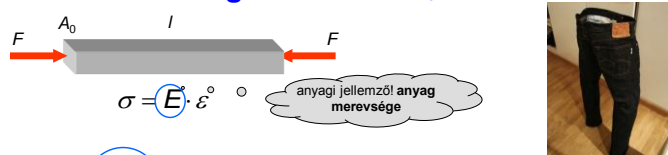


szemikristályos polimerek



12

Test merevsége (húzással/összenyomással szemben)

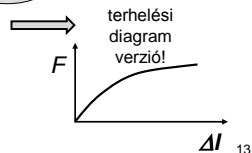


$$F = E \cdot \frac{A_0}{l_0} \Delta l = D \Delta l$$

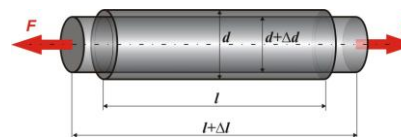
a testre jellemző (anyagi + geometriai tényezők)!
test merevsége
(húzásnál/összenyomásnál)
rugómerevség

Anyag merevsége: egységnyi relatív hosszváltozáshoz szükséges feszültség.

Test merevsége: egységnyi (abszolút) hosszváltozáshoz szükséges erő.



Harántirányú méretváltozás:

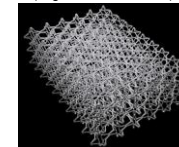


$$\frac{\Delta d}{d} = -\mu \frac{\Delta l}{l} \quad \mu \text{ — Poisson-szám } [\mu] = 1$$

Pl.

anyag	μ
fogzománc	0,33
dentin	0,31
amalgám	0,31
PDL	0,45
polimerek	0,40–0,50

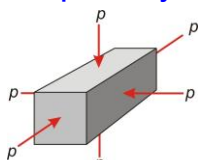
Auxetikus anyagok
(negatív Poisson-szám):



Homogén, izotrop anyag rugalmas viselkedését egyértelműen meghatározza E és μ .

14

Izotrop összenyomás



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

K : térfogati rugalmassági (kompressziós) modulus (Pa)

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

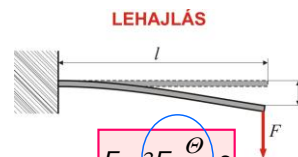
κ : kompresszibilitás (1/Pa)

anyag	κ (1/GPa)
levegő	7650
víz	0,45
aluminium	0,009

15

2. hajlítás

„hajlítás =
nyújtás + összenyomás”

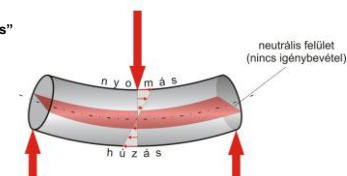


$$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} s$$

test merevsége
(hajlításnál)

Θ — felületi tehetetlenségi nyomaték

HAJLÍTÁS



KERESZT-
METSZETEK

felületi tehetetlenségi
nyomaték



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



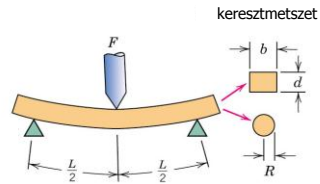
$$\Theta = \frac{\pi}{4} \cdot (r_2^4 - r_1^4)$$



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

16

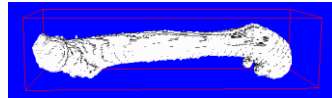
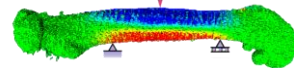
Hárompontos hajlítási teszt



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

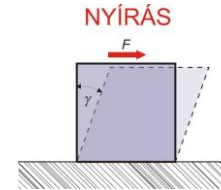
M = maximális hajlító momentum
 c = szélső réteg távolsága a középvonaltól
 I = felületi tehetetlenségi nyomaték
 F = terhelő erő

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



17

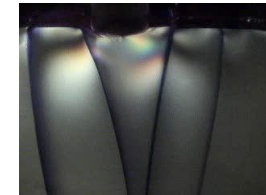
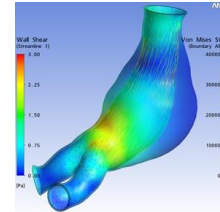
3. nyírás



$$\sigma = G\gamma$$

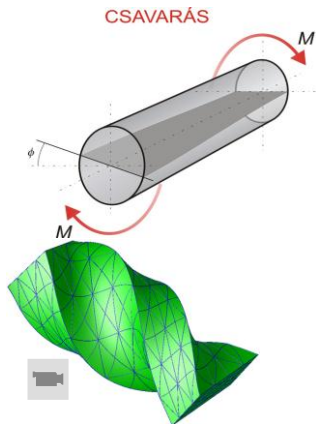
$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

nyírási modulus

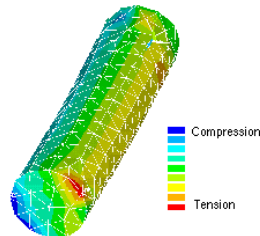


18

4. csavarás (torzió)



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



19

Összefoglalás:

- nyújtás/összenyomás
- nyírás
- hajlítás
- csavarás (torzió)

Hooke-törvény:
 anyagra

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma = G\gamma$$

testre

$$F = E \cdot \frac{A}{L} \Delta L$$

$$F = 2G \cdot \frac{A}{L^3} \cdot \Delta L$$

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

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

E — rugalmassági (Young-) modulus $[E] = \text{Pa}$
 μ — Poisson-szám $[\mu] = 1$

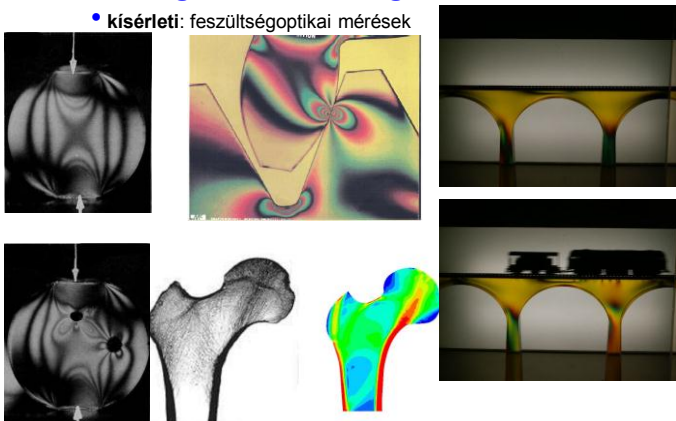
G — nyírási modulus $[G] = \text{Pa}$ $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$

θ — felületi tehetetlenségi nyomaték

20

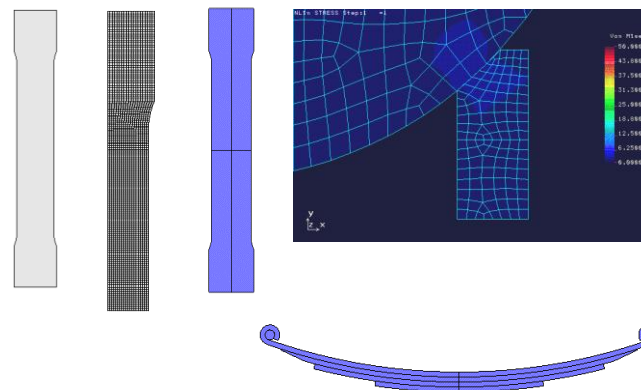
Feszültség eloszlás vizsgálata

- kísérleti: feszültségoptikai mérések



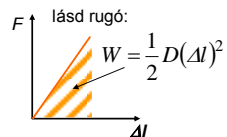
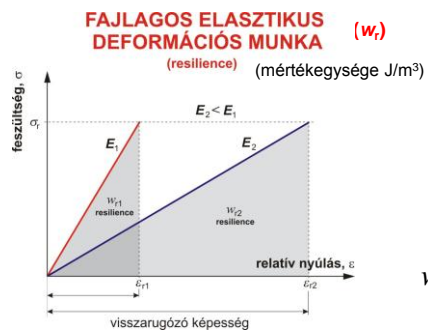
1

- elméleti: véges elem analízis



22

Rugalmas viselkedés (rugalmassági határig)



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

23

rugalmas energia:

anyagra

testre

- nyújtás/összenyomás
- hajlítás

$$w_r = \frac{1}{2} E \cdot \varepsilon^2 \quad \left| \quad W_r = \frac{1}{2} E \cdot \frac{A}{l} \Delta l^2 \right.$$

$$W_r = \frac{1}{2} 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s^2$$

Megjegyzés: „rugalmas” =

- kicsi E (nagy $1/E$)
- nagy visszarugózó képesség
- nagy resilience



24