



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Prohloubení odborné spolupráce a propojení ústavů lékařské biofyziky
na lékařských fakultách v České republice
CZ.1.07/2.4.00/17.0058*

**Co by mohl (budoucí) lékař vědět o
materiálech tkáňových výztuží či náhrad**

20. března 2012



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Lékařská fakulta v Hradci Králové

Ústav lékařské biofyziky

Mechanické vlastnosti materiálů

teorie

- Pružnost a pevnost
- Tepelné vlastnosti

Josef Hanuš

Biokompatibilita materiálů

- ❑ není toxický pro organismus
- ❑ je odolný (rezistentní) proti působení organismu

Vlastnosti materiálů náhrad v lidském těle

- ❑ Obecné – biokompatibilita
- ❑ Specifické – dle použití (co nahrazují)

Fyzikální vlastnosti materiálů



Mechanické

pružnost a pevnost

deformace

- v tahu (tlaku) - normálové napětí
- ve smyku – tečné napětí

Tepelné

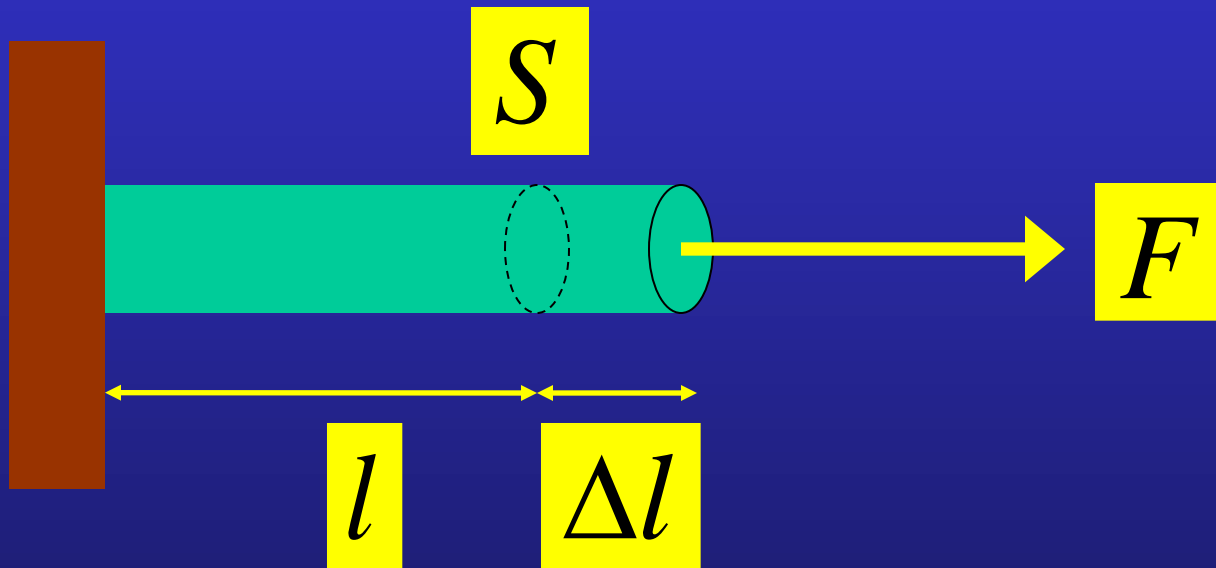
tepelná vodivost

tepelná roztažnost

Pružnost a pevnost – deformace v tahu a tlaku

Hookeův zákon: (zjednodušení, malé deformace)

- deformace v tahu



$$\Delta l = k \cdot \frac{l}{S} \cdot F$$



Robert Hooke
1635-1703

$$\Delta l = k \cdot \frac{l}{S} \cdot F$$

\implies

$$\frac{\Delta l}{l} = k \cdot \frac{F}{S}$$

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

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$k = \frac{1}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$



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

σ [Pa] - napětí (mechanické, normálové)

k [Pa⁻¹] - součinitel roztažnosti

E [Pa] - Youngův modul pružnosti v tahu

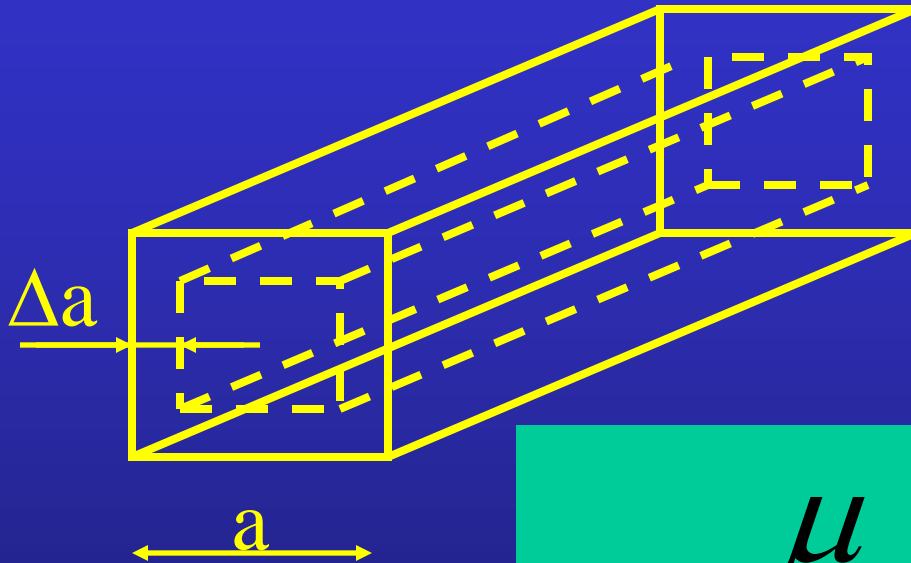
ε [1] - poměrné prodloužení



Thomas Young
1773-1829 lékař

Hookeův zákon:

- poměrné příčné zkrácení



$$\eta = \frac{\Delta a}{a}$$

$$\frac{\eta}{\varepsilon} = \mu$$

$$\eta = \frac{\mu}{E} \cdot \sigma$$

μ - Poissonovo číslo nebo

$m = 1/\mu$ - Poissonova konstanta



Siméon Poisson
1781-1840

Hookeův zákon:

-poměrná změna objemu (jednosměrné napětí)

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{(a - \Delta a) \cdot (a - \Delta a) \cdot (l + \Delta l) - a \cdot a \cdot l}{a \cdot a \cdot l}$$

$$\frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta l}{l} - 2 \cdot \frac{\Delta a}{a} = \varepsilon - 2\eta = \varepsilon \cdot (1 - 2 \cdot \mu)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1 - 2\mu}{E} \cdot \sigma$$

Působení napětím (tlakem) ze všech směrů:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1-2\mu}{E} \cdot (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

Je-li tlak stejný, tj. $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = p$

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

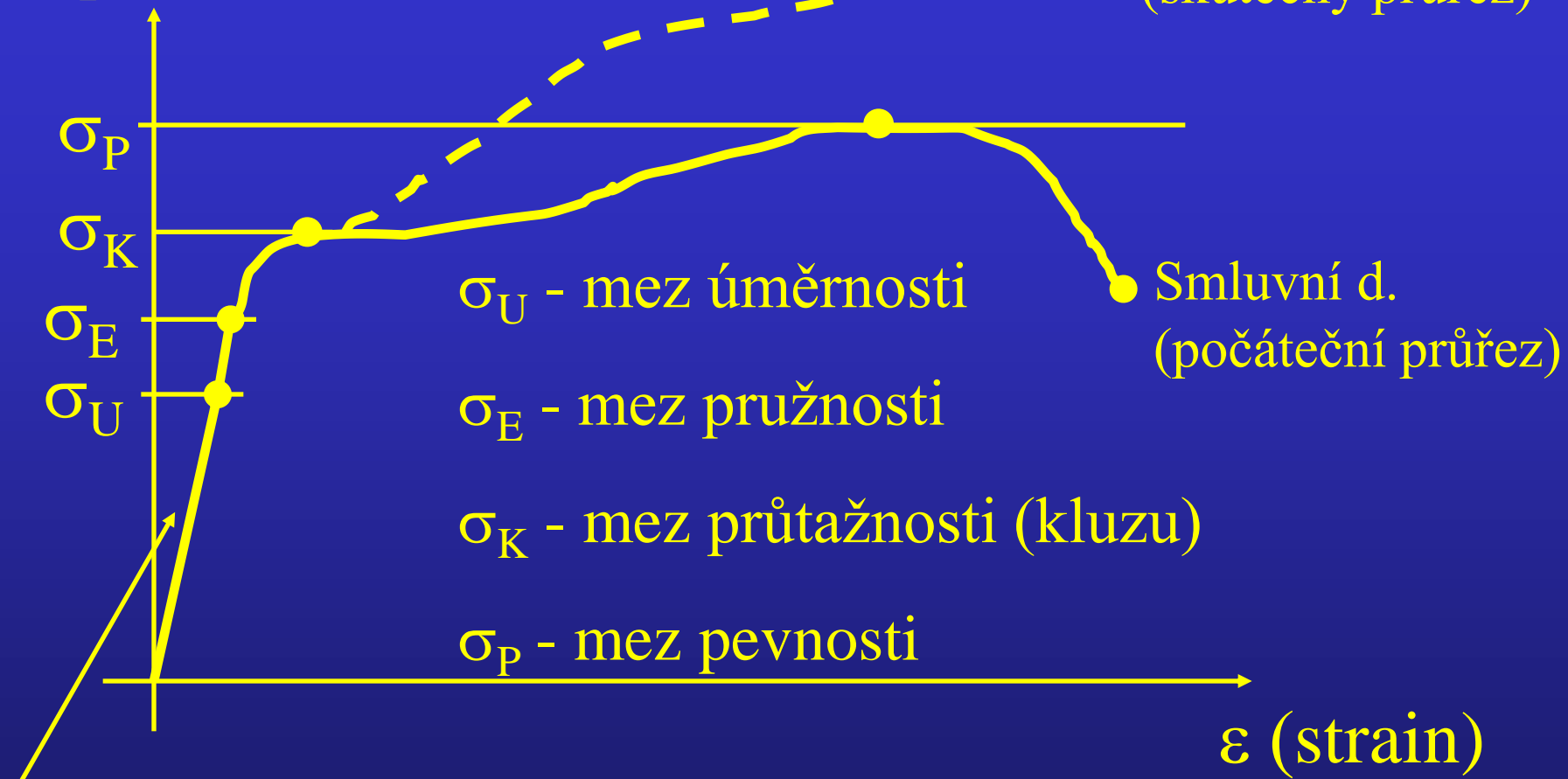
γ [Pa⁻¹]- stlačitelnost

$$K = \frac{E}{3 \cdot (1-2\mu)}$$

K [Pa] - modul objemové pružnosti

Tahový diagram

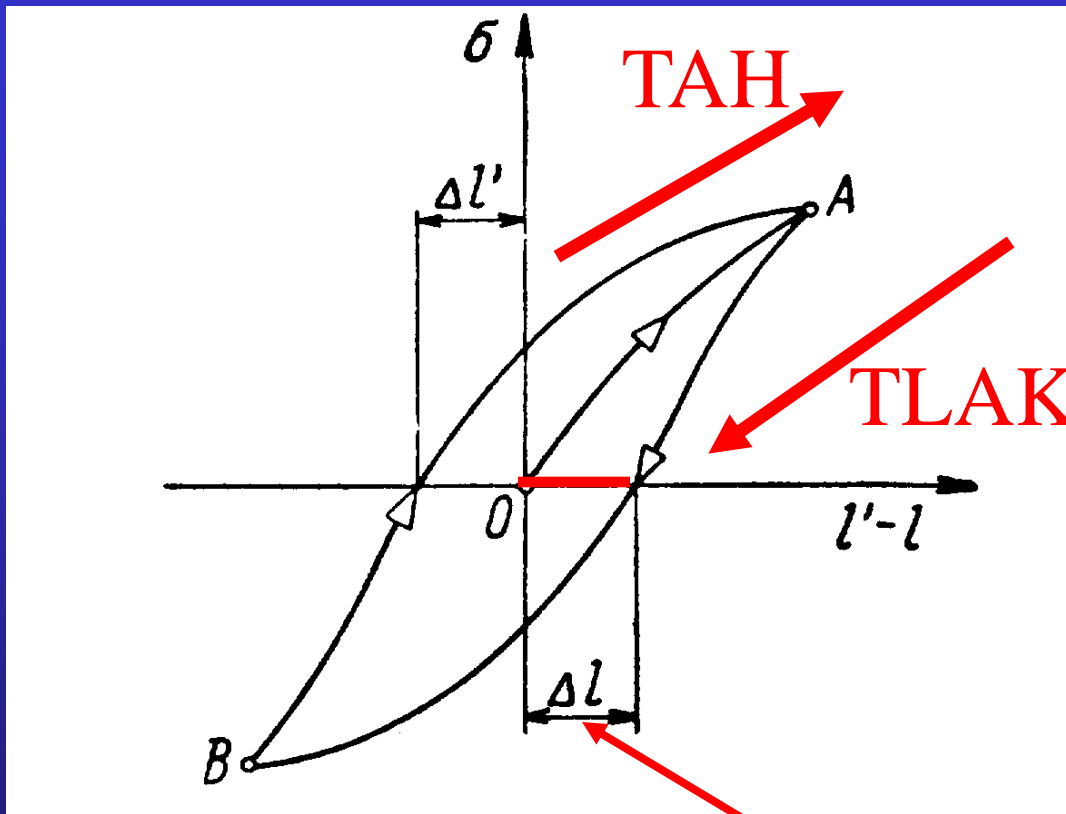
σ [Pa] (stress)



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

$$\sigma_E \dots L = 100,005 \% L_0$$

Elastická hystereze (dopružování)



OA - panenská křivka

Zbytková deformace

$\sigma < \sigma_U$ - platí Hookeův zákon

$\sigma < \sigma_E$ - vratná (elastická) deformace

$\sigma_P < \sigma < \sigma_E$ - trvalá (plastická) deformace

$\sigma \sim \sigma_K$ - téměř nulová směrnice tečny

$\sigma > \sigma_P$ - porušení materiálu

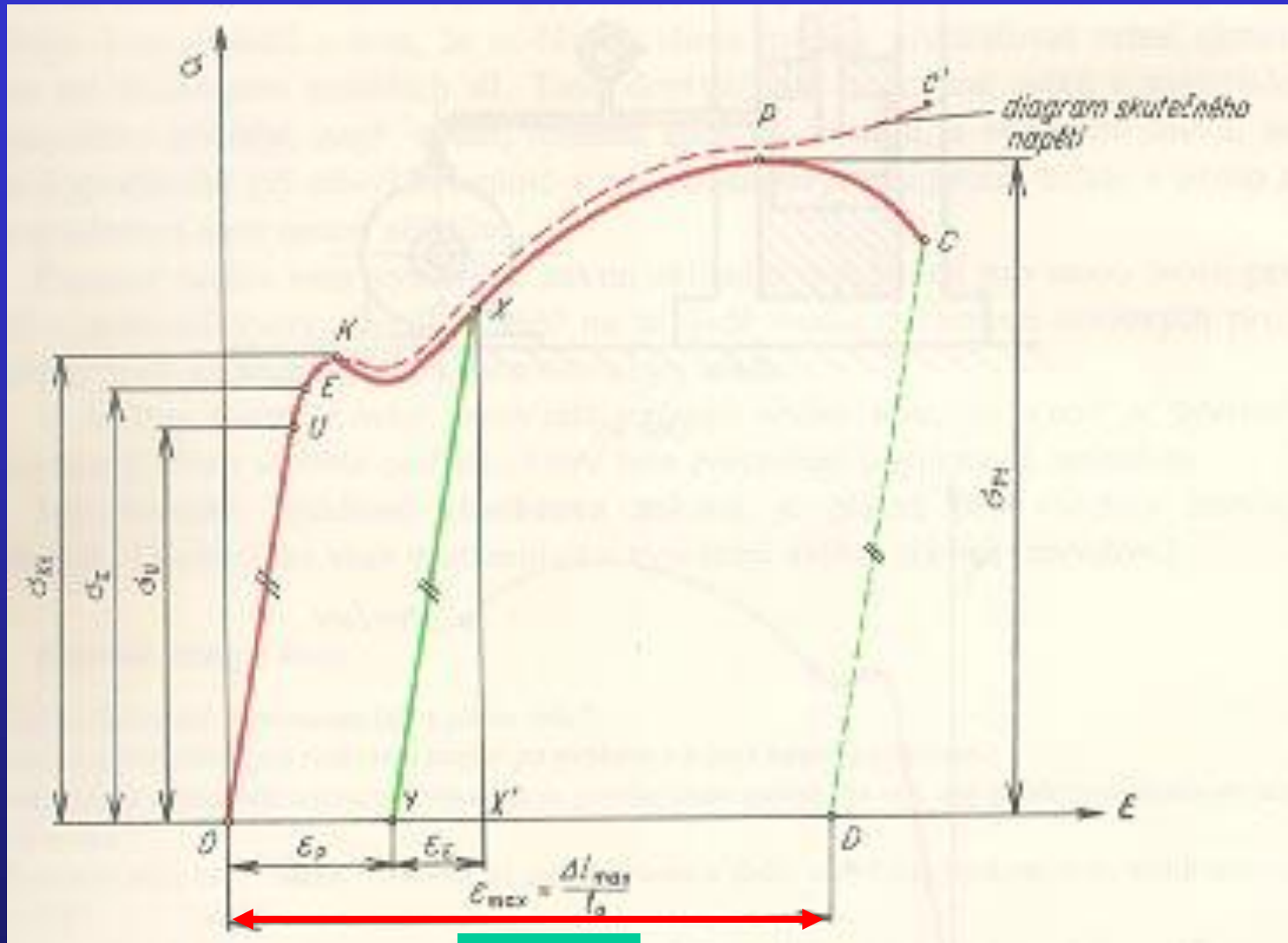
$$\delta = \frac{l' - l}{l} \cdot 100 [\%]$$

tažnost

$$\psi = \frac{S - S'}{S} \cdot 100 [\%]$$

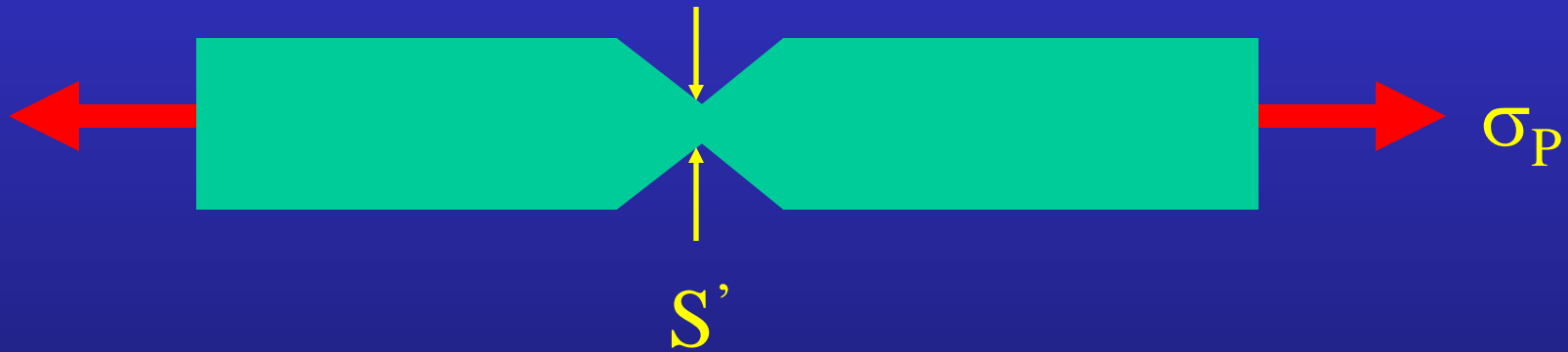
houževnatost

Tažnost



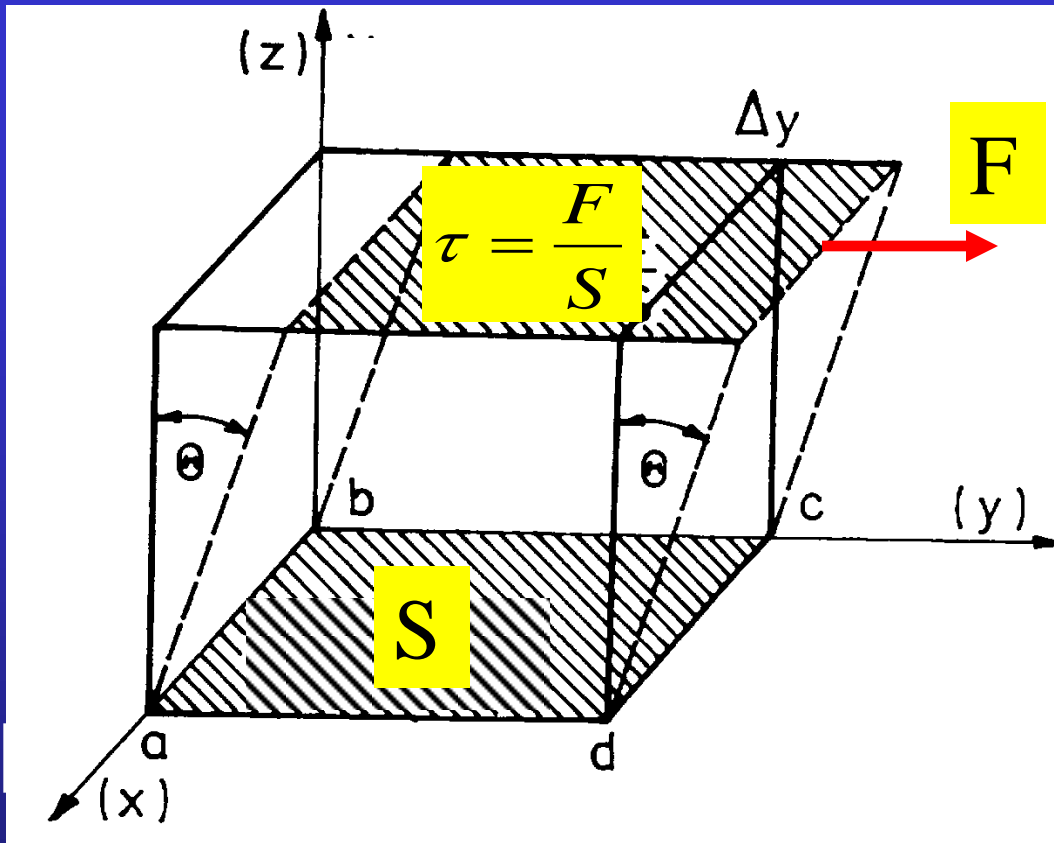
δ

Houževnatost



$$\psi = \frac{S - S'}{S} \cdot 100 [\%]$$

Deformace ve smyku



$$\gamma = \frac{\Delta y}{z}$$

$$\tau = \frac{F}{S}$$

γ – poměrné posunutí (zkos)

τ [Pa] - tečné napětí

$$\Theta \div \gamma$$

pro malé úhly

„théta“

Hookeův zákon pro smyk:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

G [Pa] - modul pružnosti ve smyku

(modul torze)

Shrnutí:

Deformace pevných látek (působení vnější silou)

- v tahu (tlaku) - normálové napětí
 - ve smyku - tečné napětí
- } Ohyb, torze

Materiálové konstanty charakterizující odolnost materiálu proti deformaci:

E - modul pružnosti v tahu

G - modul pružnosti ve smyku

m (μ) - Poissonova konstanta (číslo)

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

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

Měrná deformační energie:

$$\frac{E_p}{V} = \frac{\sigma^2}{2E}$$

Mechanické vlastnosti zubu

materiál	sklovina	dentin minerali	dentin demin.	femur
E [GPa]	84	14,7	0,26	17,2
μ	0,33	0,31		
G [GPa]	31,6	5,6		
mez pevnosti v tahu [MPa]	10,3	105,5	29,6	121
mez pevnosti v tlaku [MPa]	384	297		167
mez pevnosti ve smyku [MPa]	90,2	138		
mez pružnosti [MPa]	353 *	167 *		

* - testováno v tlaku

Mechanické vlastnosti stomatologických materiálů

materiál	amalgam	keramika	akryl. pryskyřice	kompozita
E [GPa]	55	70	2,3	17,2
μ	0,35	0,19	0,35	0,24
G [GPa]				
mez pevnosti v tahu [MPa]	48	37	80,4	40
mez pevnosti v tlaku [MPa]	353	150	81,4	280
mez pevnosti ve smyku [MPa]	188	165	122	
mez pružnosti [MPa]		119	47,6	

Teplotní roztažnost pevných látek

Délková roztažnost: $l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$

α [K⁻¹]- teplotní součinitel délkové roztažnosti

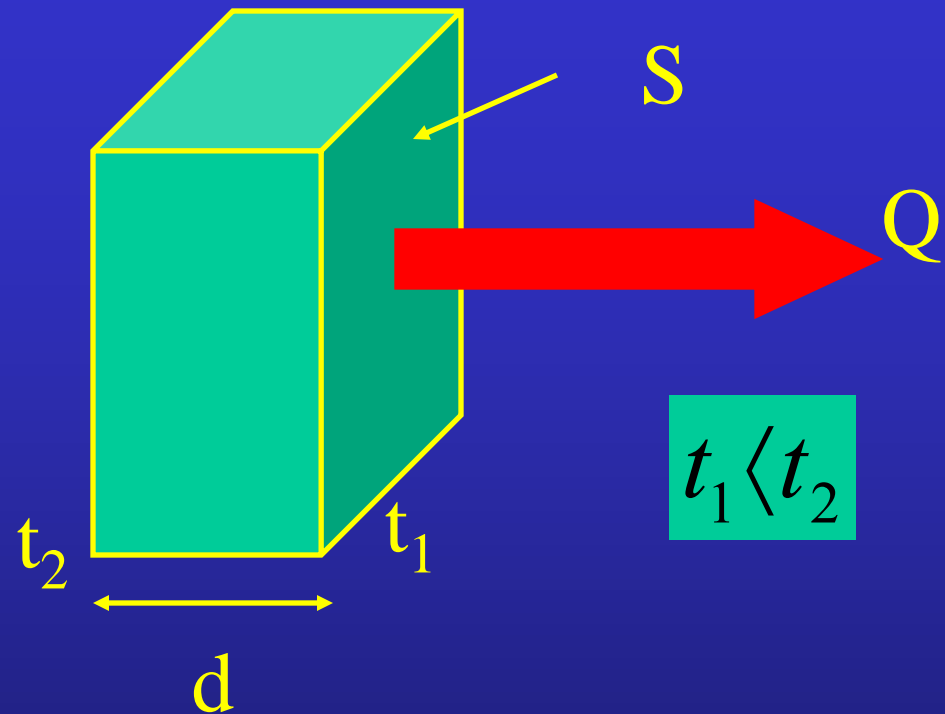
Objemová roztažnost: $V = V_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta t)$

β [K⁻¹]- teplotní součinitel objemové roztažnosti

$$\beta \approx 3\alpha$$

Tepelná vodivost pevných látek

$$Q = \frac{\lambda \cdot S \cdot (t_2 - t_1) \cdot \tau}{d}$$



λ [J/m.K.s] - součinitel tepelné vodivosti

t_2, t_1 [K] – teplota, Q [J] - teplo

τ [s] – čas, d [m] – tloušťka, S [m²] – plocha

teplotní součinitel délkové roztažnosti některých materiálů

materiál	amalgam	keramika	akryl. pryskyřice	kompozita	korunka	kořen
α [K ⁻¹]*10 ⁻⁶	25	15	76	40	11.4	8.3

součinitel tepelné vodivosti některých materiálů

materiál	amalgam	keramika	akryl. pryskyřice	kompozita	sklovina	dentin
λ [W/m.K]	21.6	9.6	1.48	10.4	8.9	5.6

Testování materiálů

Biokompatibilita

Toxicita – buněčné kultury

Rezistence - elektrochemické degradabilní testy

Fyzikální vlastnosti

zátěžové testy (strain-stress curve)

únavové testy (fatigue)

ČSN EN ISO 10271 Dentální kovové materiály - Metody korozních zkoušek

ČSN EN ISO 7405 Stomatologie - Hodnocení biologické snášenlivosti zdravotnických prostředků používaných ve stomatologii



Děkuji za pozornost

Zdroje na Internetu

<http://www.kcl.ac.uk/index.aspx>

<http://www.dental.net.nz/>

<http://www.dent.niigata-u.ac.jp/material/material.html>

<http://composite.about.com>

<http://www.lib.umich.edu/>

https://www.researchgate.net/journal/0109-5641_Dental_Materials