

Specifika mechanického testování měkkých tkání a jejich náhrad

Lukáš Horný

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní

Historie

- Thomas Young (1808–9)

Hydraulic investigations, subservient to an intended Croonian lecture on the motion of the blood. On the functions of the heart and arteries.

mechanické principy krevního oběhu, rychlost proudění,
tlakové ztráty, hypotézy o mechanických vlastnostech
komentuje FJ Gerstnera

- Guillaume Wertheim (1847)

Mémoire sur l'élasticité et la cohésion des principaux tissus du corps humain

nelinearita napětí–deformace

$$\varepsilon = a\sigma^2 + b\sigma$$

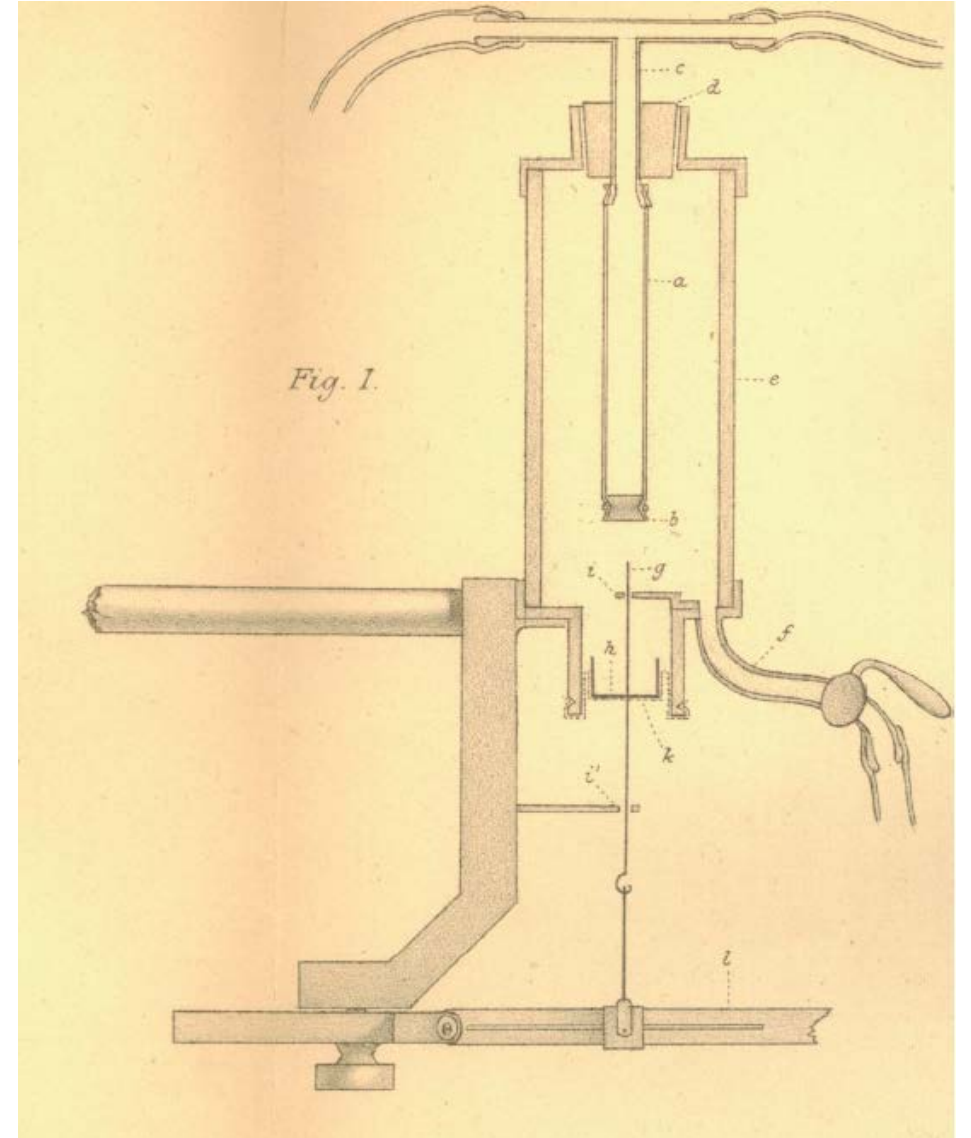
Historie

- Charles S. Roy (1881)

*The Elastic Properties
of the Arterial Wall*

p – V diagramy

nelinearita, viskoelastická,
termoelastická inverze

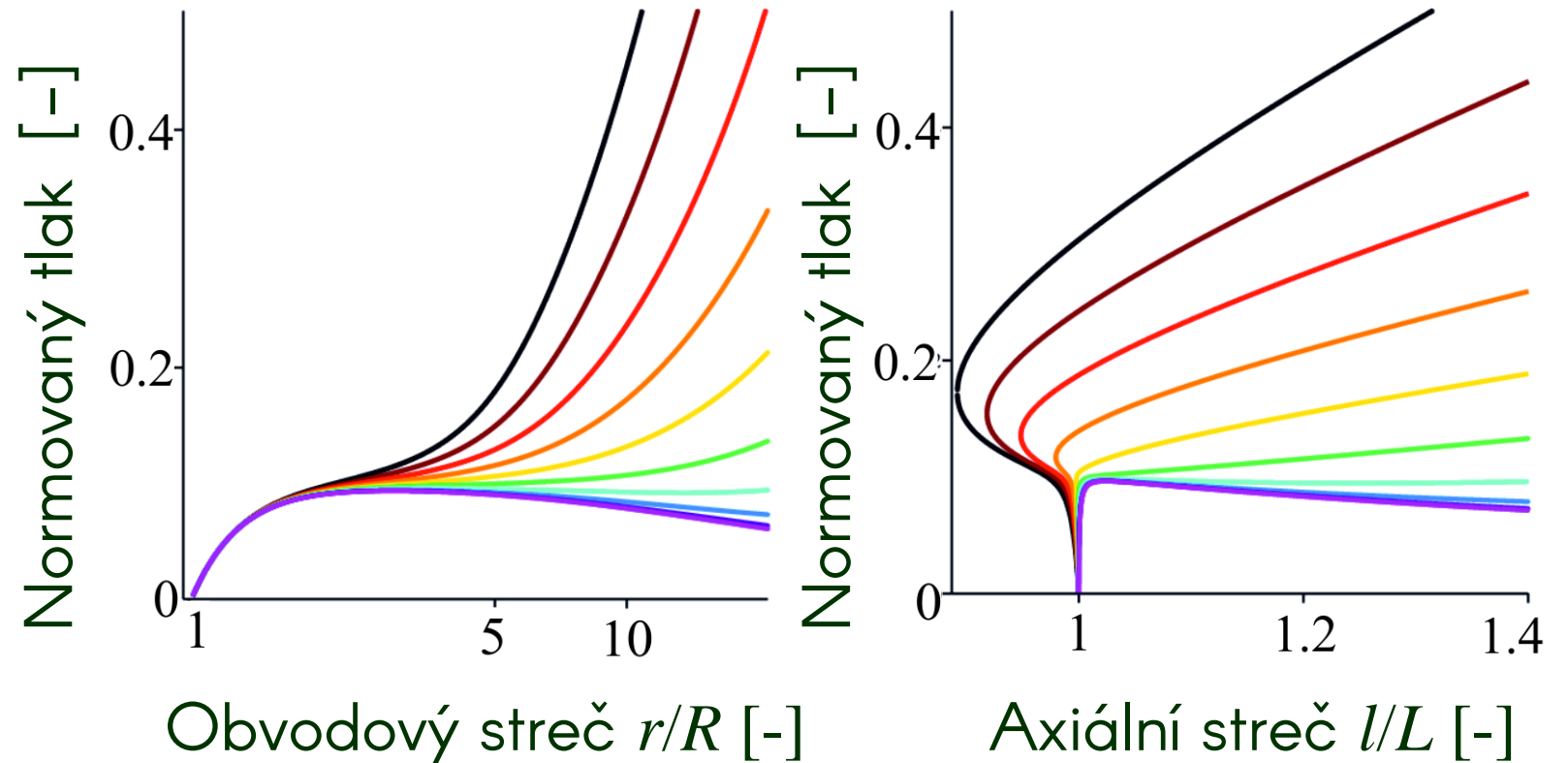


Historie

- William A. Osborne (1909)

*The elasticity of rubber balloons
and hollow viscera*

inflační nestabilita,
saturace hystereze,
Mullinsův efekt



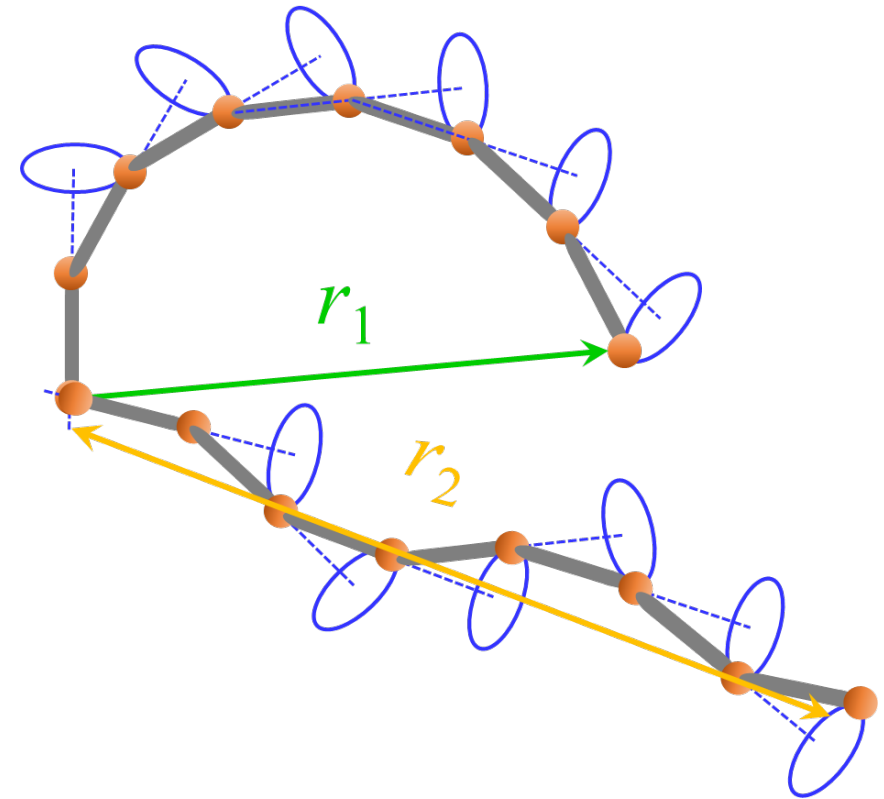
Mechanika makromolekulárních látek

- Elastomery a měkké tkáně

podobnosti v chování postřehli už

Roy, Osborne

Hierarchicky (řetězce, fibrily, svazky,...)
uspořádané makromolekuly, ve kterých
změně jejich prostorového stavu brání
vnitřní síly pocházející především
ze změny konfigurační entropie

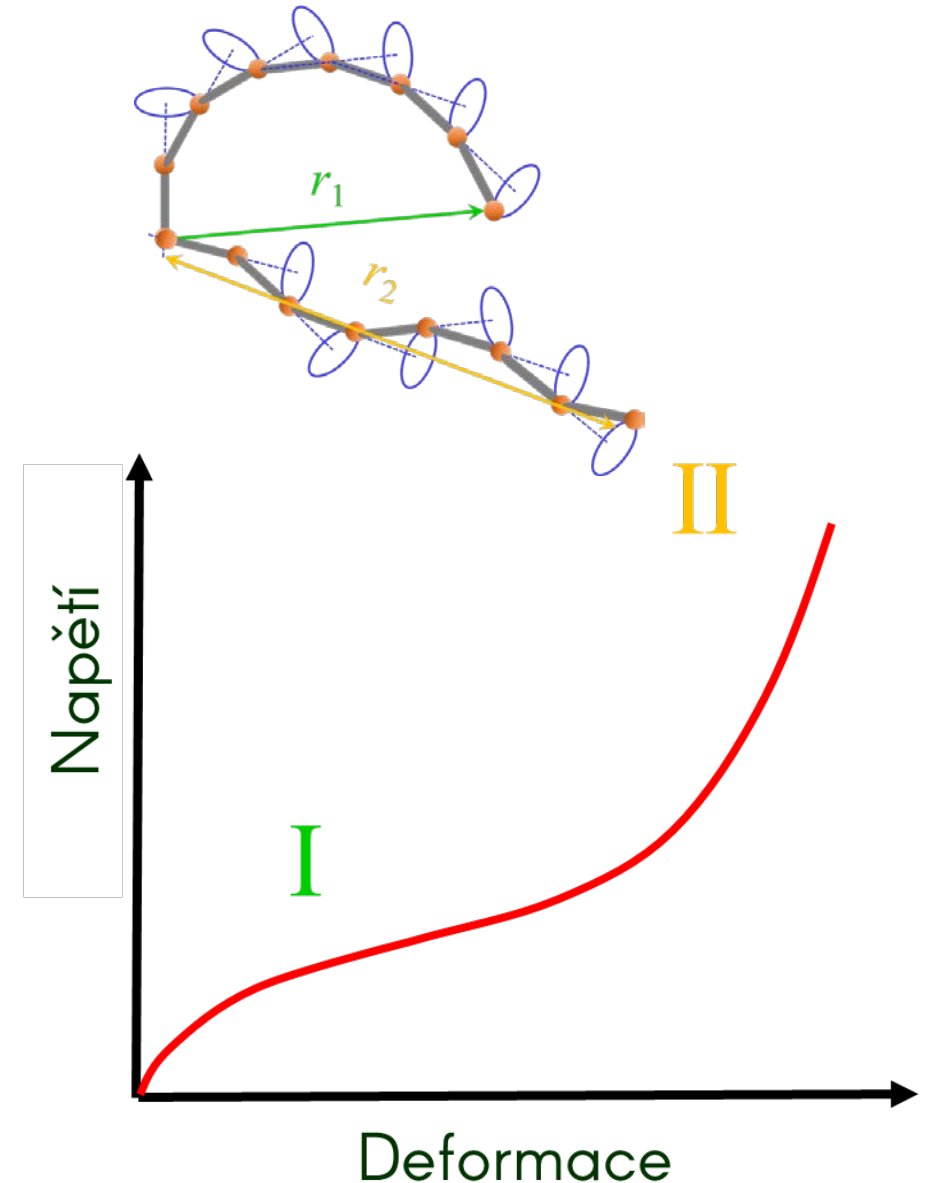


$$F = U - TS$$

Mechanika makromolekulárních látek

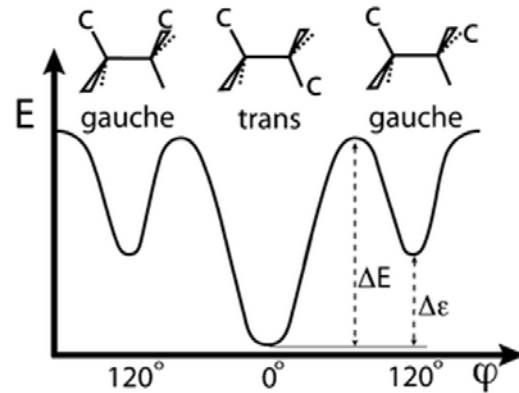
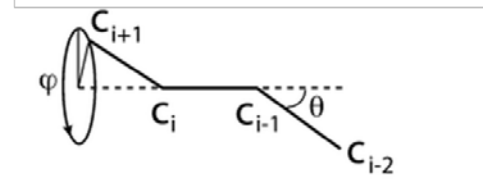
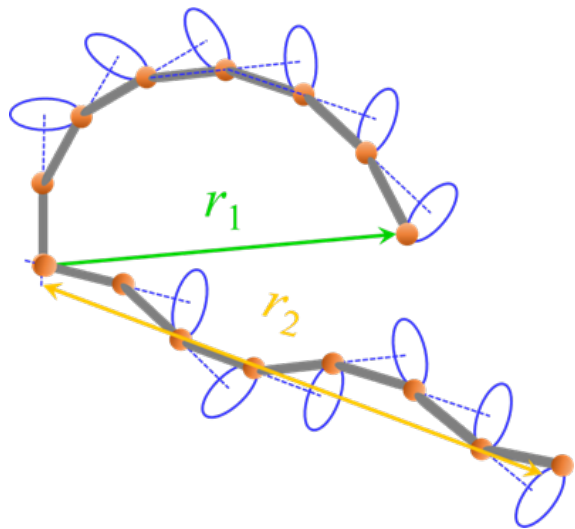
- Elastomery a měkké tkáně mají mnoho společných rysů mechanického chování

Nelineární tuhnutí je důsledkem konečné průtažnosti řetězců

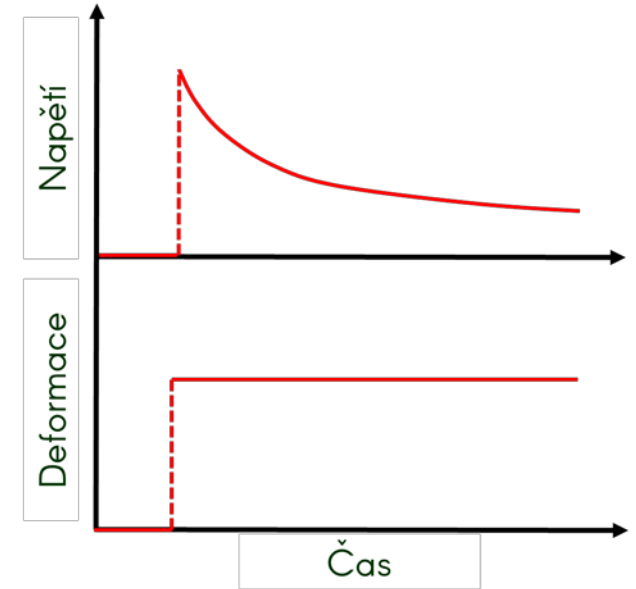


Mechanika makromolekulárních látek

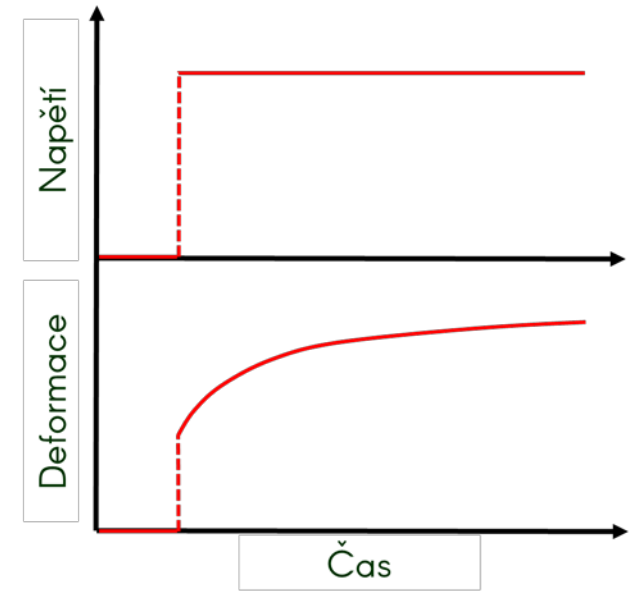
- Viskoelastické projevy jsou důsledkem makromolekulární a hierarchické struktury



Relaxace napětí



Creep

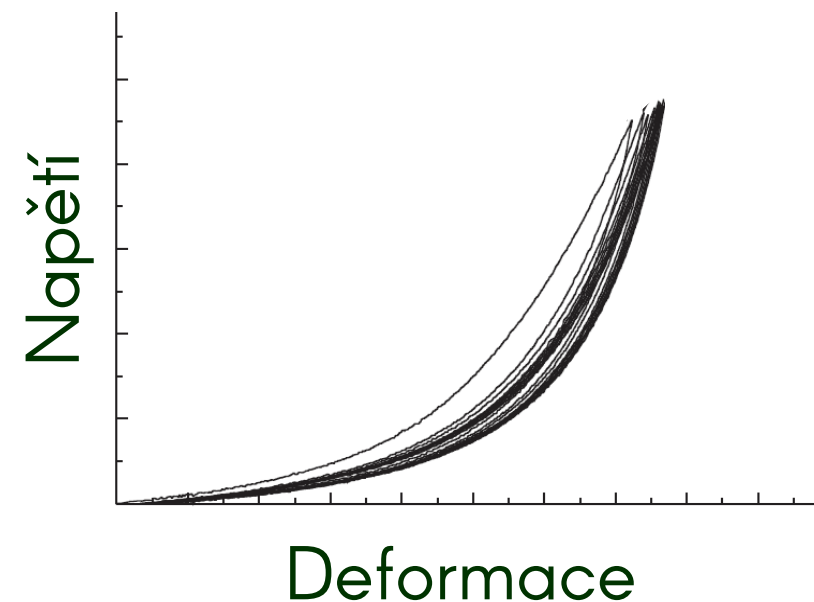
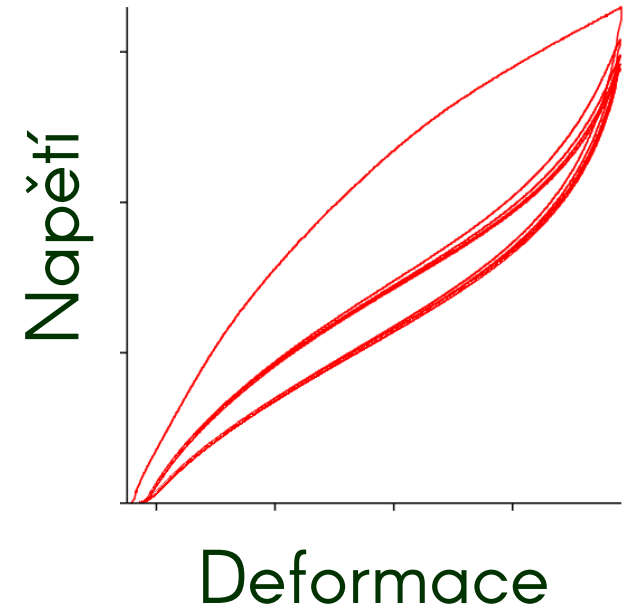


Mechanika makromolekulárních látek

- Viskoelastické projevy
= závislost na historii deformace

Preconditioning

= opakováním historie deformace
dojde k ustálení odezvy materiálu

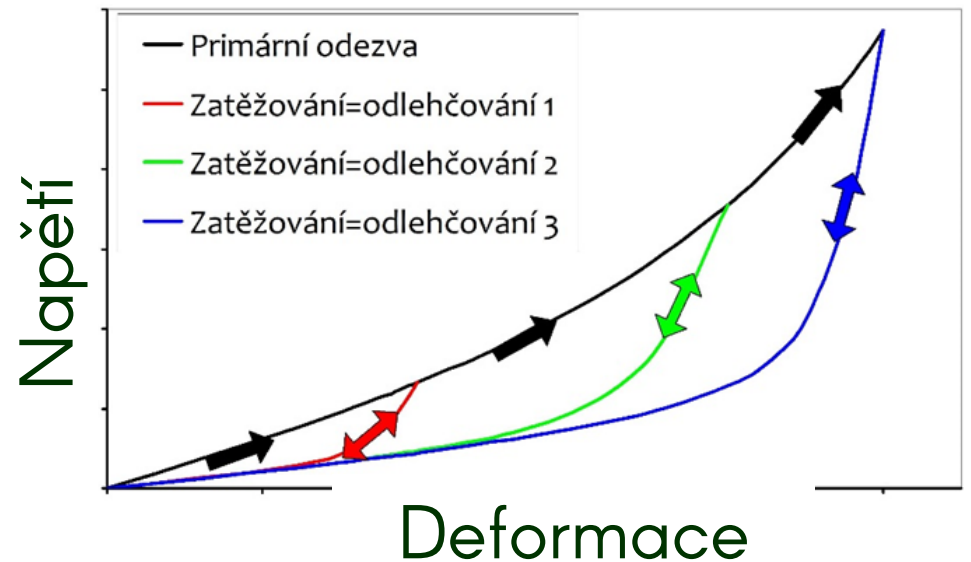
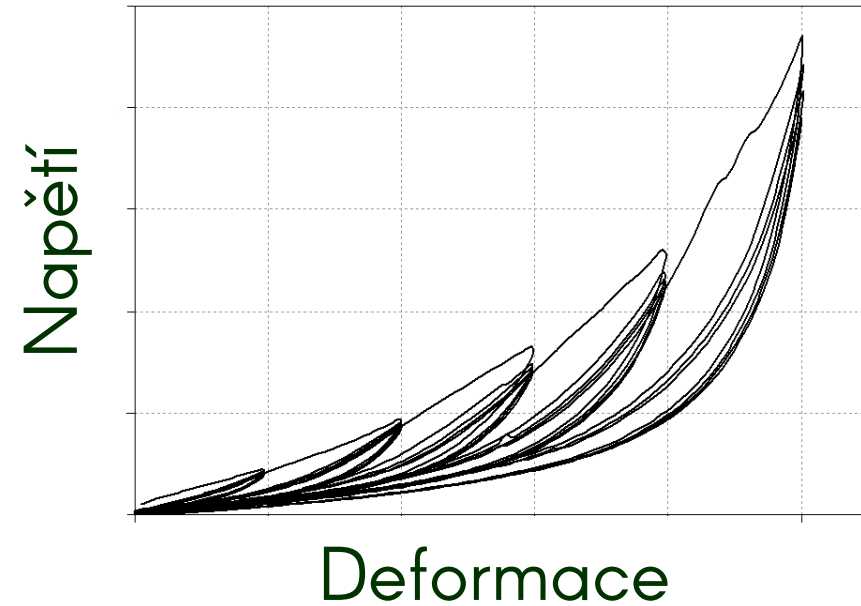


Mechanika makromolekulárních látek

- Viskoelastické projevy
= závislost na historii deformace

Mullinsův efekt

= cyklické napěťové měkčení

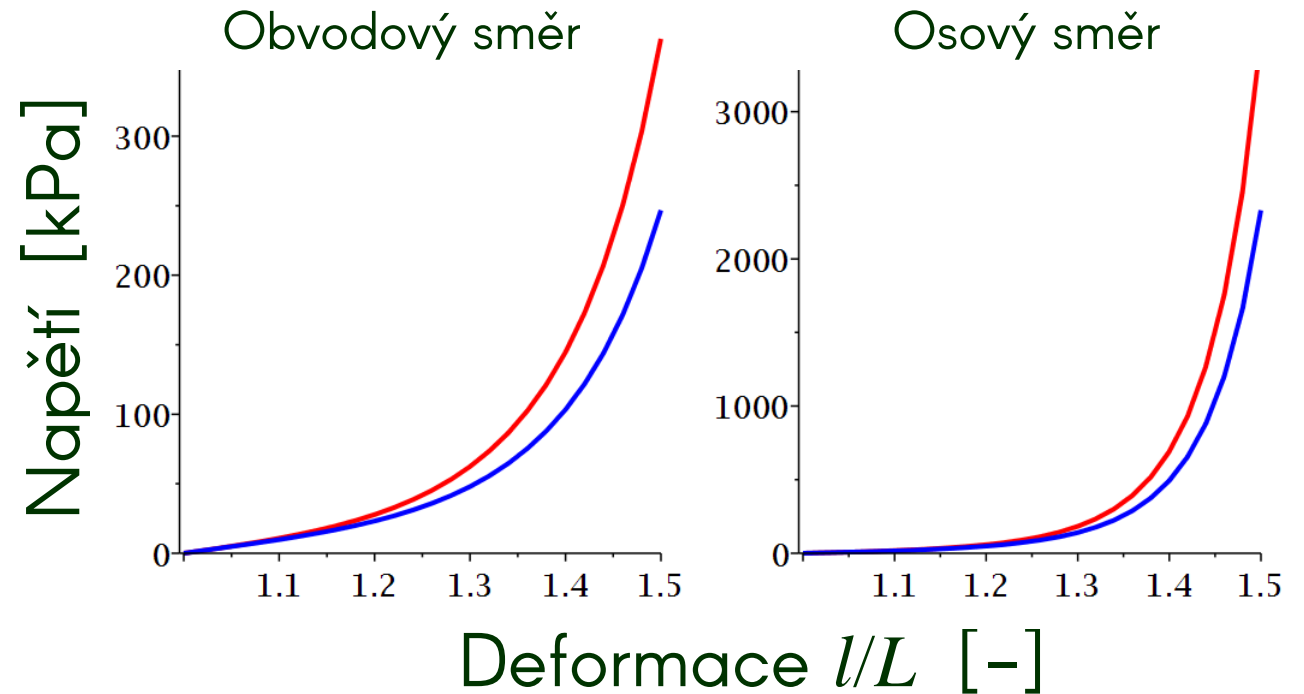


Mechanika makromolekulárních látek

- Nelinearita a velké deformace vedou k nutnosti rozlišovat mezi **smluvním** a **skutečným** napětím

$$\sigma = \frac{f}{s}$$

$$P = \frac{f}{S}$$



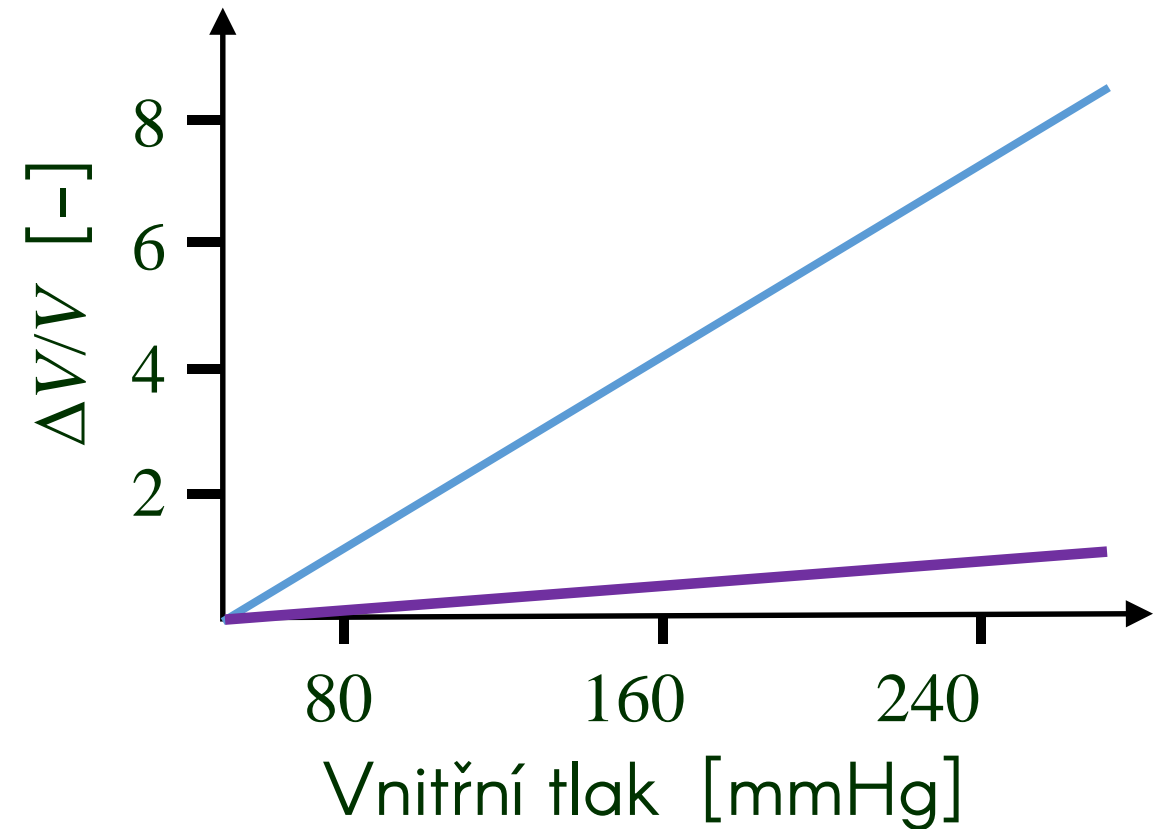
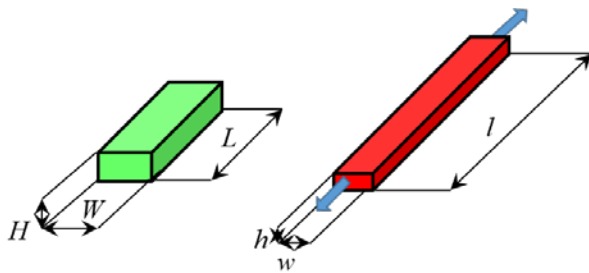
Mechanika makromolekulárních látek

- Nelinearita a velké deformace

vedou k nutnosti rozlišovat mezi smluvním a skutečným napětím

- Izochorický děj

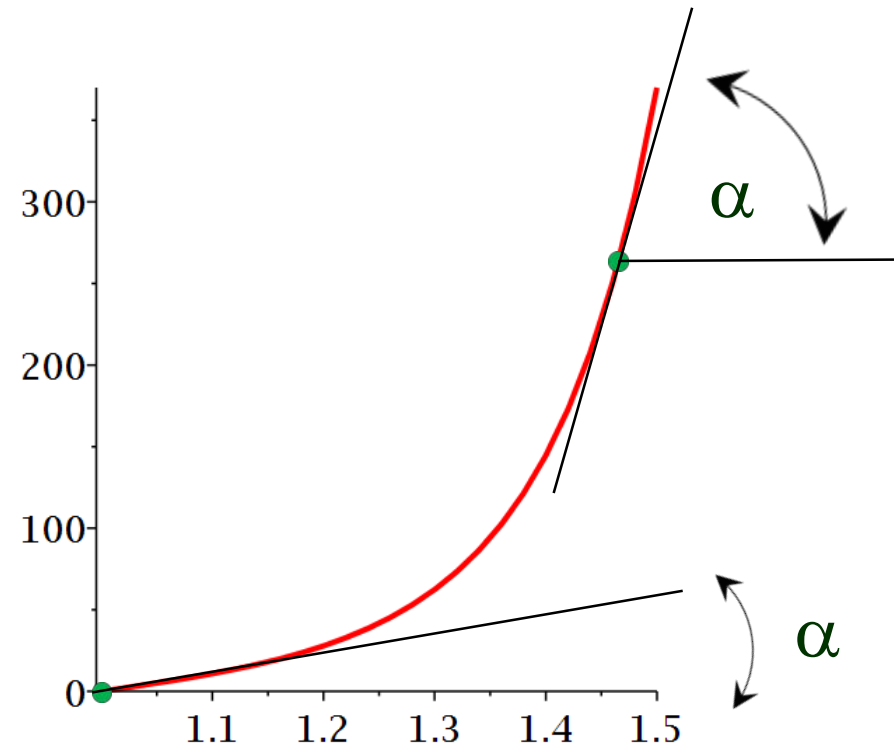
$$v = V \Rightarrow lwh = LWH$$



Mechanika makromolekulárních látek

- Nelinearita, velké deformace a modul pružnosti

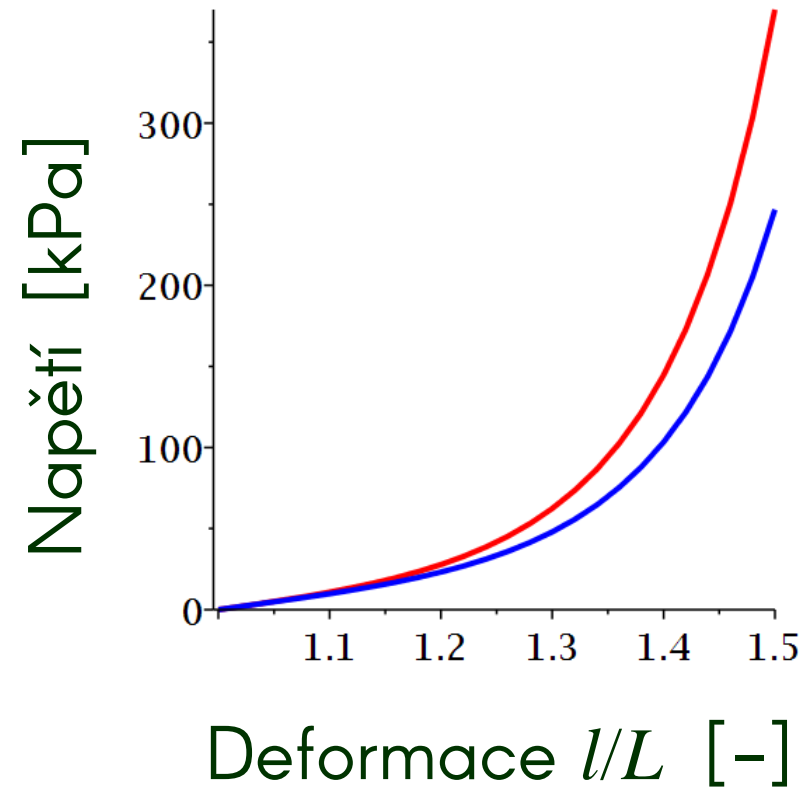
$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \operatorname{tg} \alpha$$



Mechanika makromolekulárních látek

- Nelinearita, velké deformace a modul pružnosti

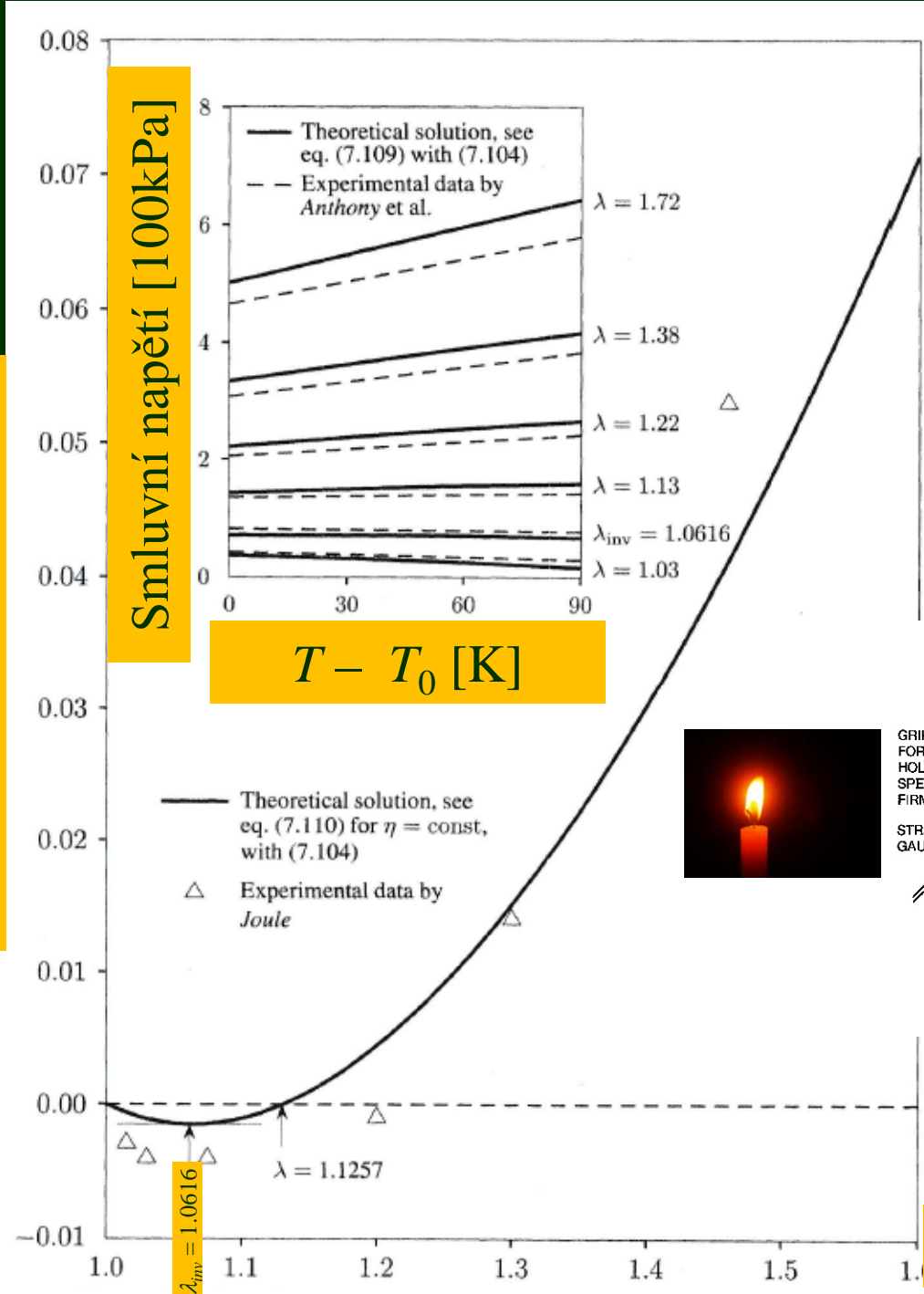
$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} \neq \frac{dP}{d\varepsilon}$$



Mechanika makromolekulárních látek

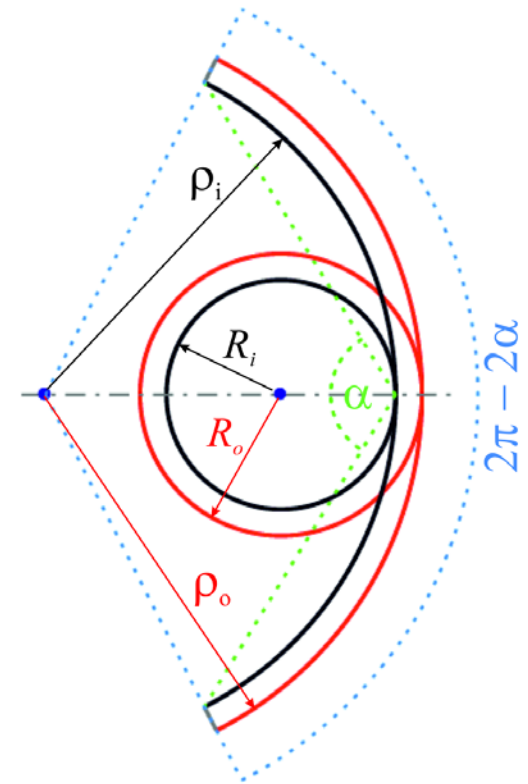
- Termoelastická inverze

$T - T_0$ [K]



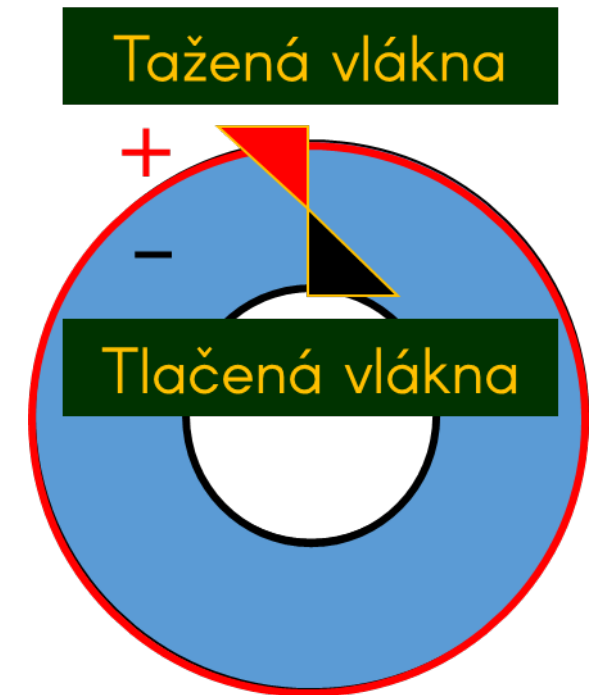
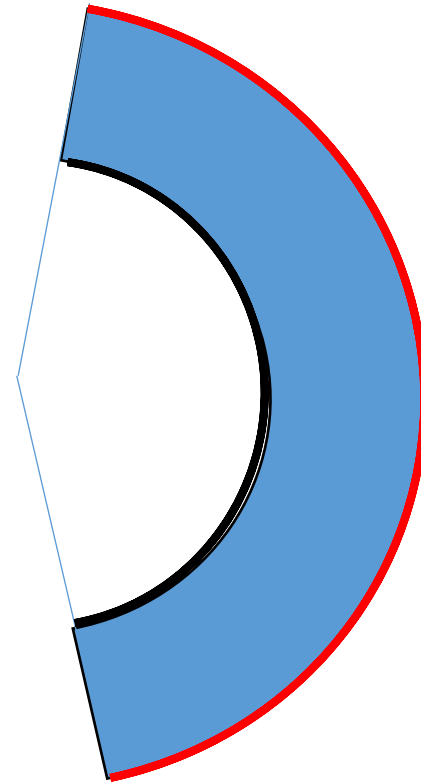
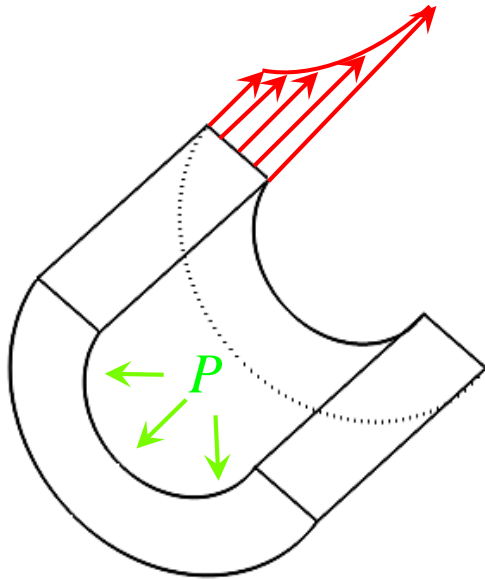
Mechanika růstu směsí

- Zbytková deformace a předpětí tím se měkké tkáně liší od elastomerů



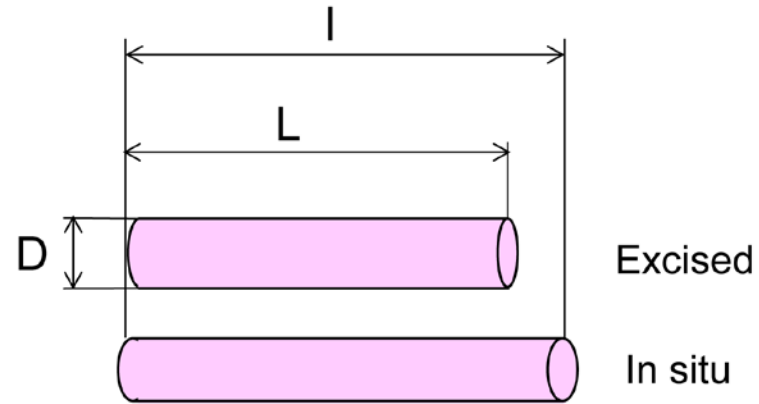
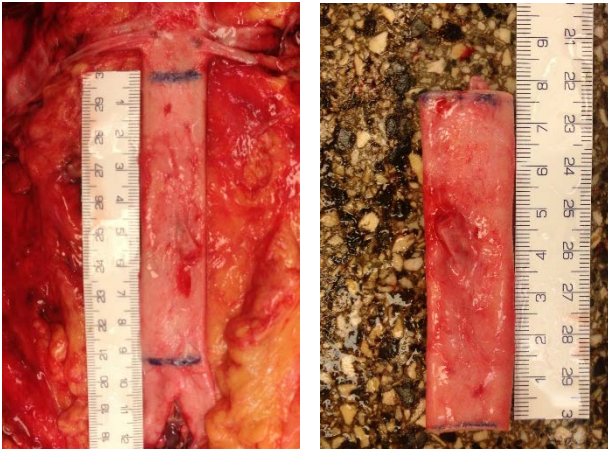
Mechanika růstu směsí

- Zbytková deformace a předpětí
tím se měkké tkáně liší od elastomerů



Mechanika růstu směsí

- Zbytková deformace a předpětí tím se měkké tkáně liší od elastomerů



Podélné předpětí

$$\lambda_{zZ}^{ini} = l/L$$

