

Deformační účinek silového působení

- kromě toho, že působení síly vyvolává u těles změnu pohybového stavu, vyvolává síla deformace
- popisem a studiem deformačního účinku sil se zabývá obor „pružnost pevnost materiálů“
- popisem a studiem vývoje materiálových vlastností se zabývá obor reometrie
- U biologických tkání obecně platí, že:
 - odezva silně závislá na vlastnostech zatížené tkáně (pasivní a aktivní tkáně)
 - nejsou izotropní
 - často mají kompozitní charakter (nelze s uspokojivými výsledky použít teorii kontinua)
 - jejich mechanické vlastnosti se mohou velmi významně měnit (zdravotní stav, poranění, věk, pohlaví, těhotenství apod.)
- Základní pojmy:
 - Plasticita: schopnost materiálu uchovat deformaci po odstranění zatížení
 - Elasticita: schopnost materiálu vrátit se po odstranění zatížení do výchozího stavu
 - Tuhost: schopnost materiálu odolávat mechanickému zatížení ($F = K \cdot \Delta l$)

Důvod zavedení poměrných veličin

- poměrné veličiny umožňují popsat vlastnosti tkání a dopad silového působení na ně bez potřeby uvádět rozměry a konkrétní působící síly
 - Mechanické napětí (maximální hodnota = poměr působícího účinku a geometrické charakteristiky příčného průřezu ve studovaném místě; příklad tlakového napětí: $\sigma = F/S$)
 - Poměrná deformace (poměr deformace k původnímu rozměru)
- Myšlenkový experiment (plný hrubých zjednodušení, ale pro pochopení principu ok):
 - Do štíhlé osoby 50kg a do masivní osoby 100kg něco narazí stejnou rychlostí a stejným způsobem. Která z těch dvou osob si s větší pravděpodobností něco zlomí? U obou osob se jedná o kost, tedy o stejný materiál. Přesto si s větší pravděpodobností něco zlomí ta subtilnější osoba, protože na to ze zkušenosti stačí menší síla. Jak to, když jde v obou případech o stejný materiál, o kost? Odpověď zde:

• Silově deformační odezva: $F = K\Delta l$ $\xrightarrow{\sigma = F/S ; \varepsilon = \Delta l/l}$ $\sigma S = K\varepsilon l \rightarrow \sigma = \frac{Kl}{S} \varepsilon$

$\sigma = \frac{Kl}{S} \varepsilon = E\varepsilon \rightarrow$ **modul pružnosti materiálu:** $E = \frac{Kl}{S}$ \rightarrow **tuhost segmentu:** $K = \frac{ES}{l}$

Pružnost a pevnost

základní materiálové charakteristiky

- uvedenými charakteristikami popisujeme elastickou odezvu materiálů na zatížení

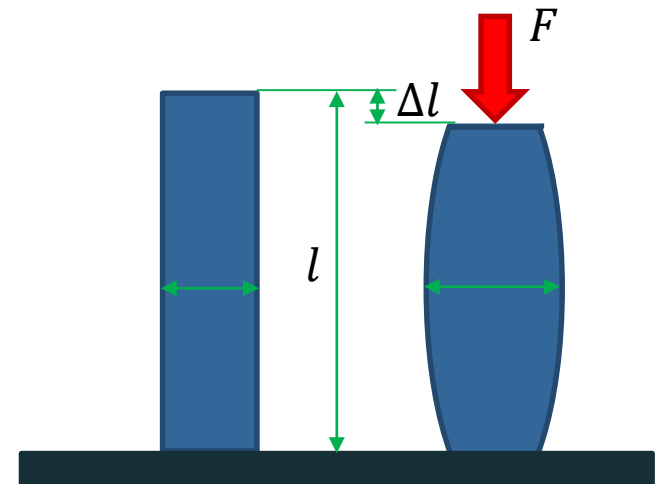
- Modul pružnosti (v tahu E , ve smyku G): $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$

- závislost mezi napětím a deformací (Hookův zákon): $\sigma = \frac{F}{S} = E \varepsilon$

- Poissonovo číslo

- vztah mezi deformací v podélném a příčném směru

$$\frac{\Delta r}{r} = \mu \frac{\Delta l}{l}$$



Pružnost a pevnost – způsoby zatěžování

TAH **TLAK**

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

$\sigma = \text{konst.}$

OHYB

$M_o = F \cdot y$

$\sigma_{\max} = \frac{M_o}{W_o}$

■ $W_o = \frac{1}{6} b h^3$

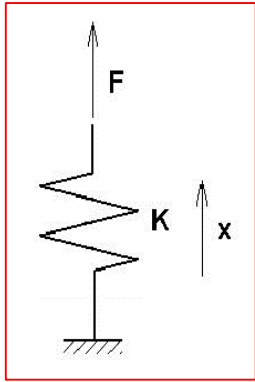
● $W_o = \frac{\pi d^4}{32}$

KRUT

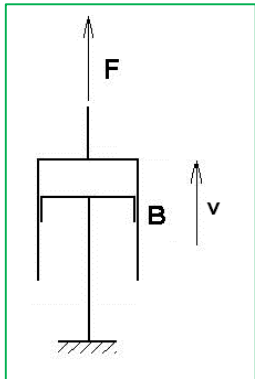
$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t}$

$W_t = \frac{\pi d^4}{16}$

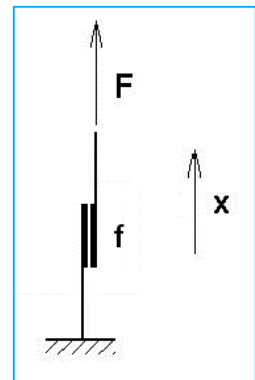
Reologie – pojmy a definice



- **Tuhost** $F = Kx$
 - schopnost odolávat působení vnějších sil
 - pružina (Hookeovo kontinuum)



- **Viskozita** $F = B\dot{x}$
 - poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti tečení kapaliny
 - viskózní tlumič (Newtonská vazká kapalina)



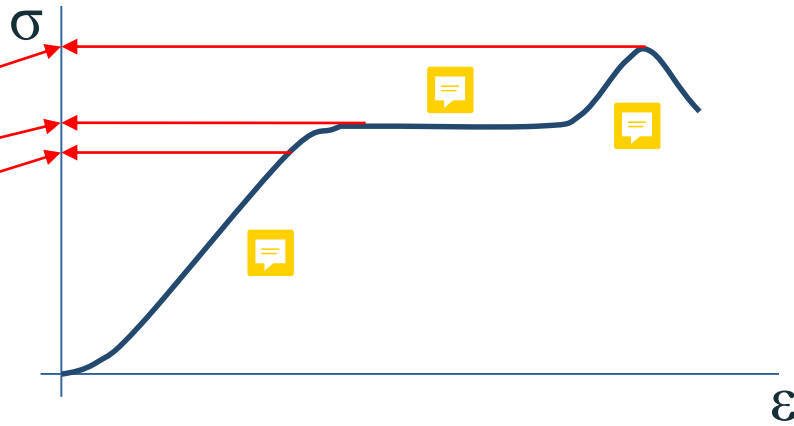
- **Suché tření** $F = \eta N$
 - odpor při pohybu tělesa úměrný přítláčné síle mezi styčnými plochami



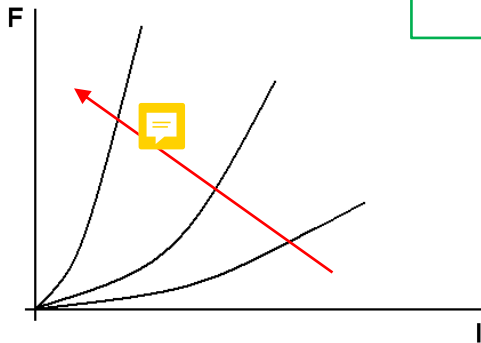
Deformační odezva materiálů

Parametry grafu

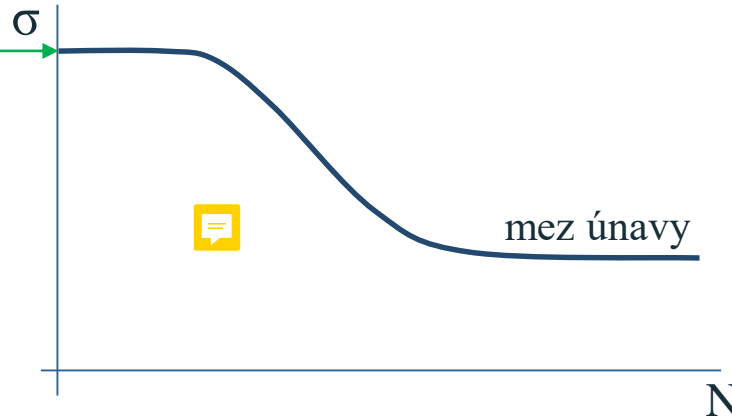
- mez pevnosti
- mez kluzu
- mez pružnosti
- mez únavy



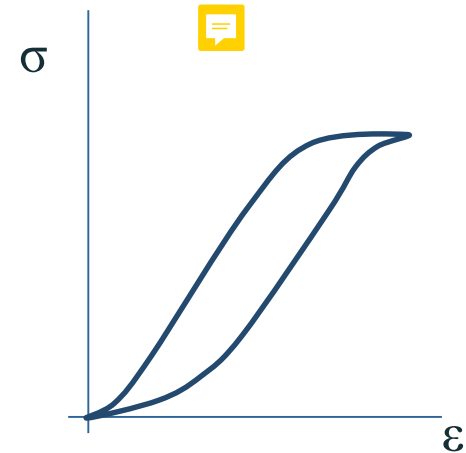
□ vliv rychlosti zatěžování



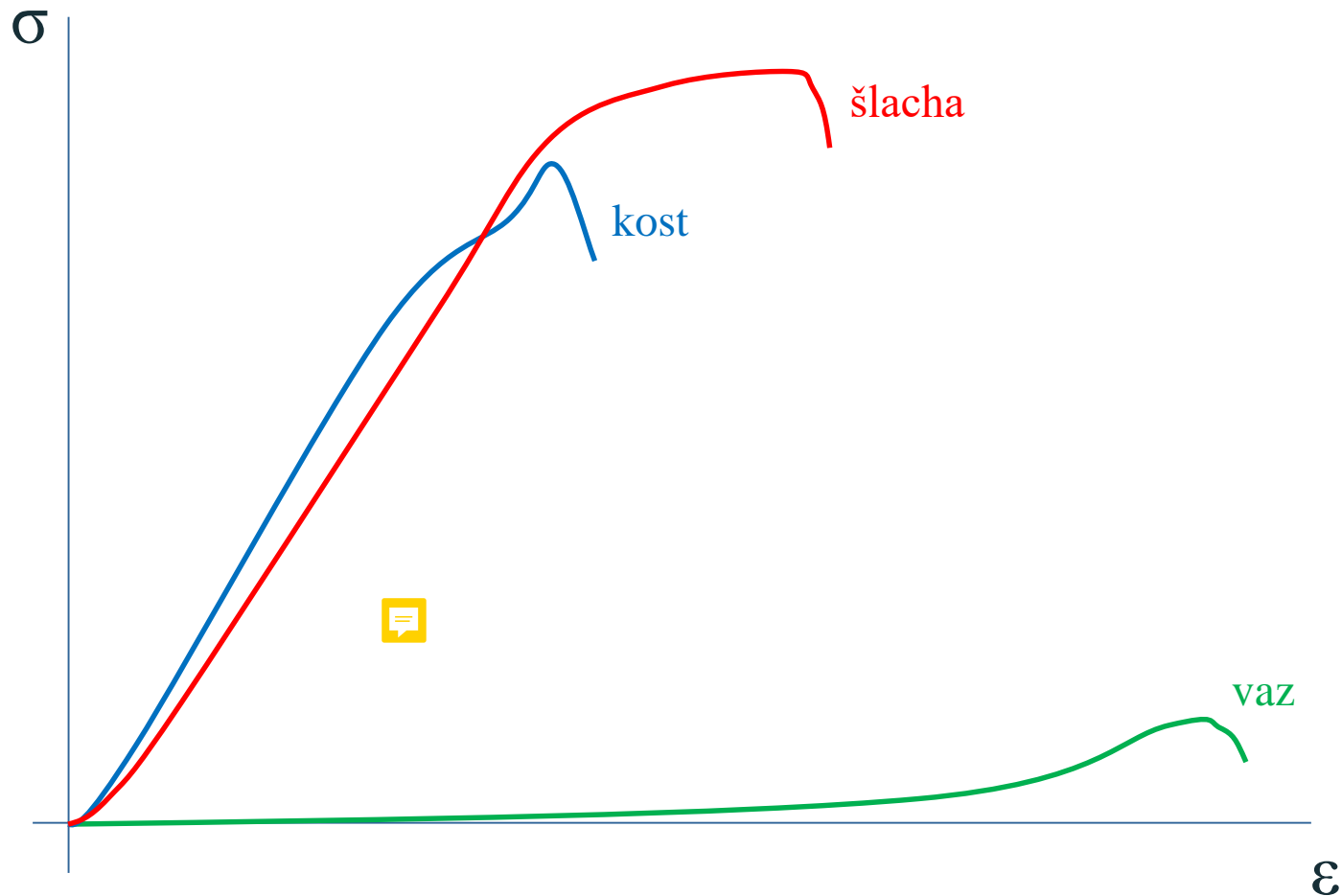
□ vliv opakování zátěže (únava)



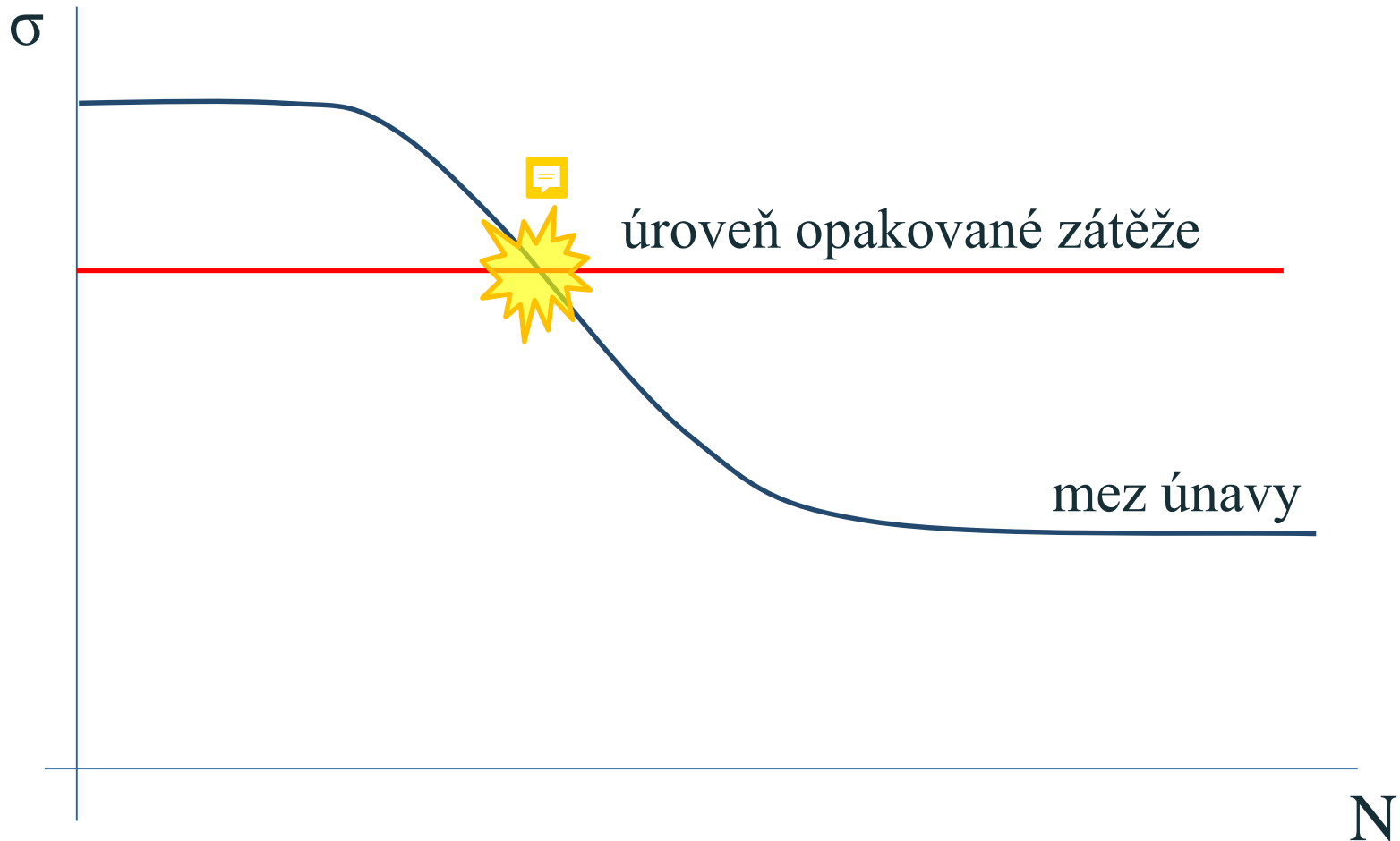
□ hystereze



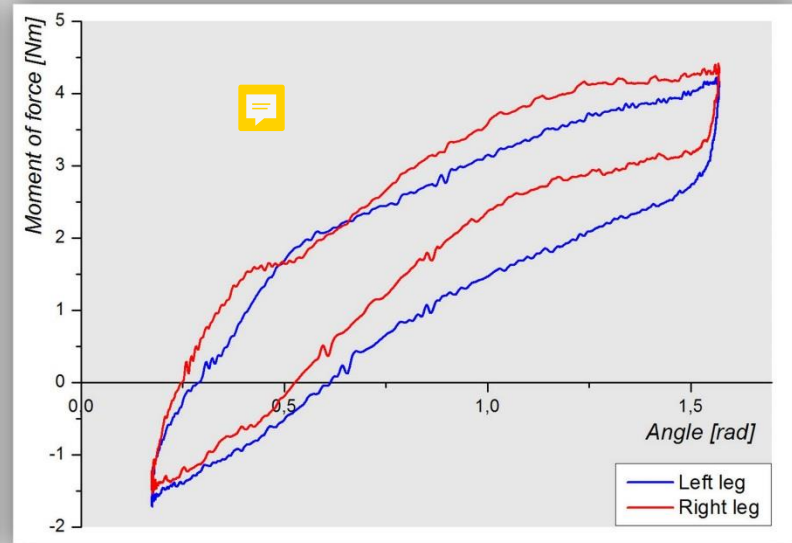
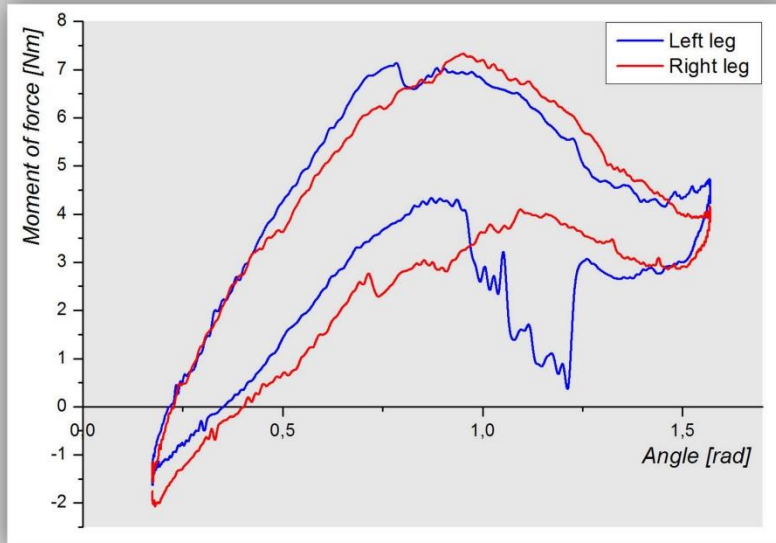
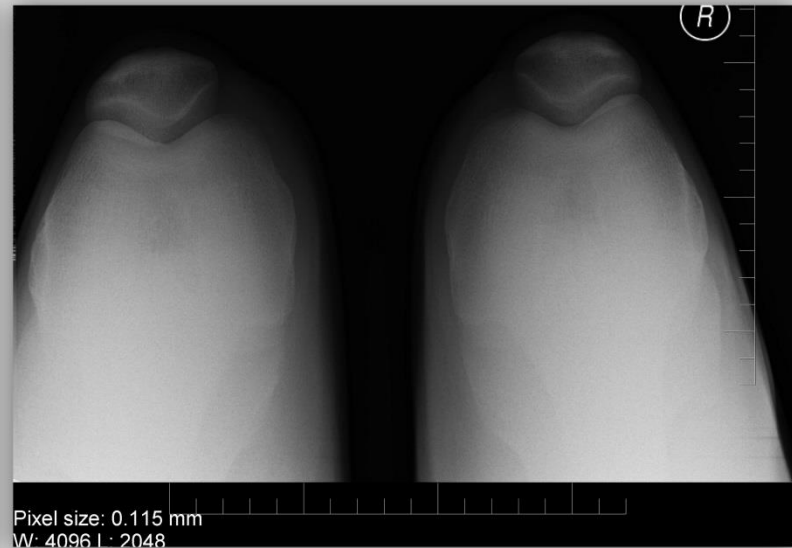
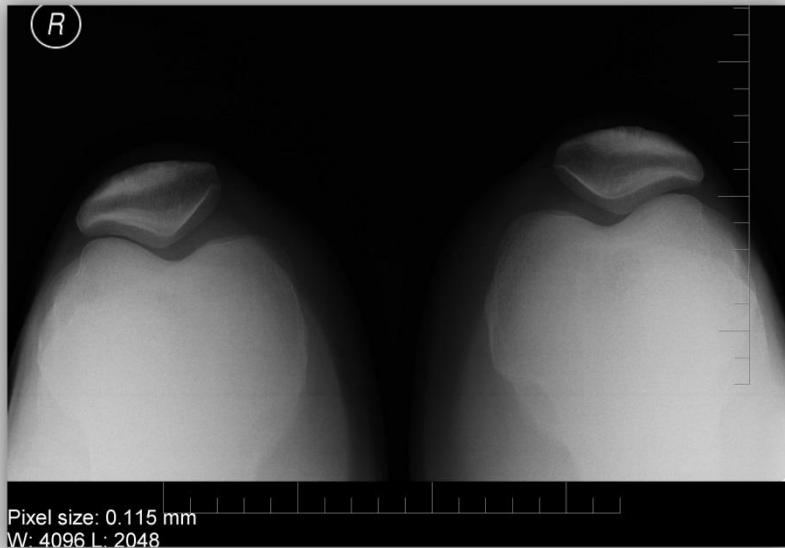
Deformační odezva materiálů pro danou rychlost zatížení a daný typ zatížení



Efekt opakovaných zatížení mechanická únava, vliv stárnutí



Příklad hysterezního chování: odporový moment v kloubech

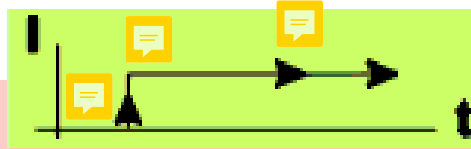
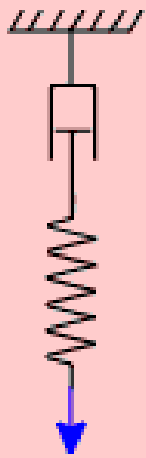




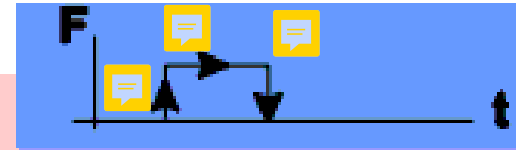
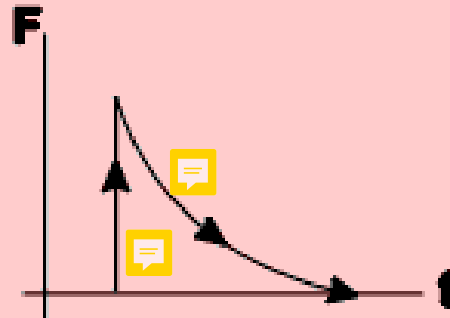
Reologie – základní materiálové modely



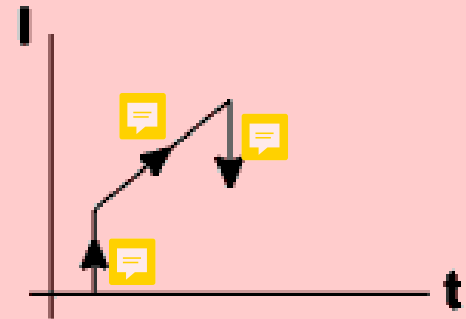
MAXWELL



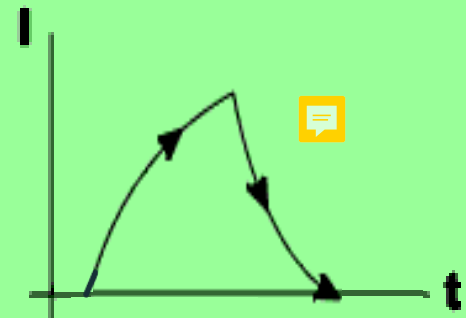
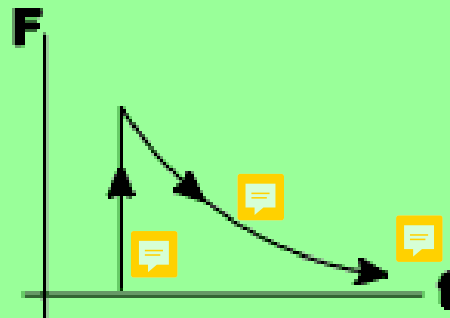
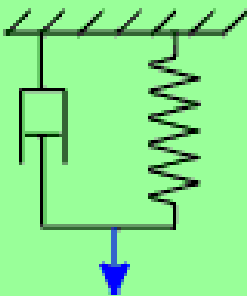
RELAXACE



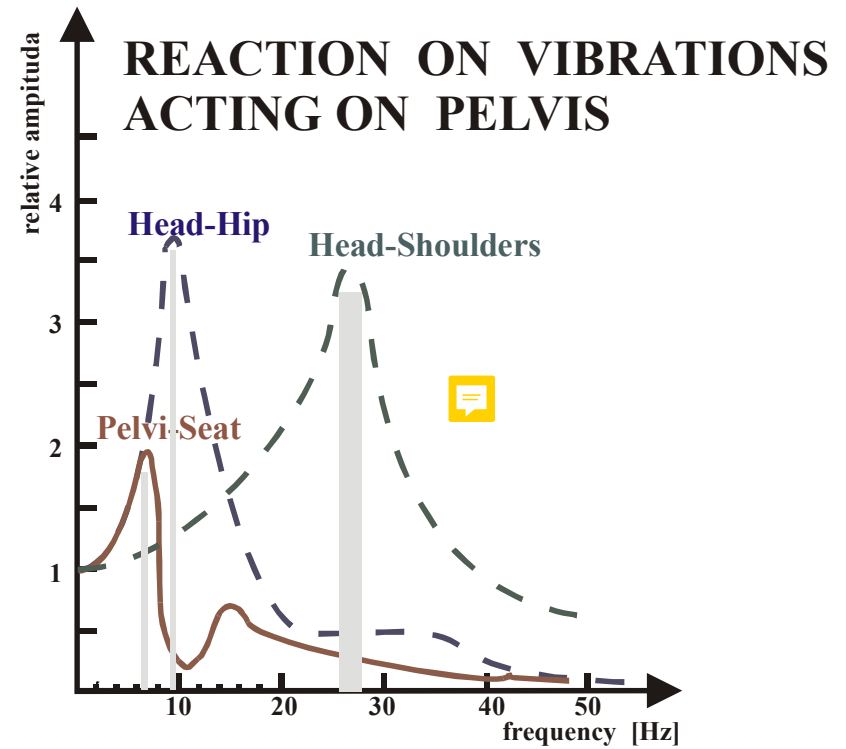
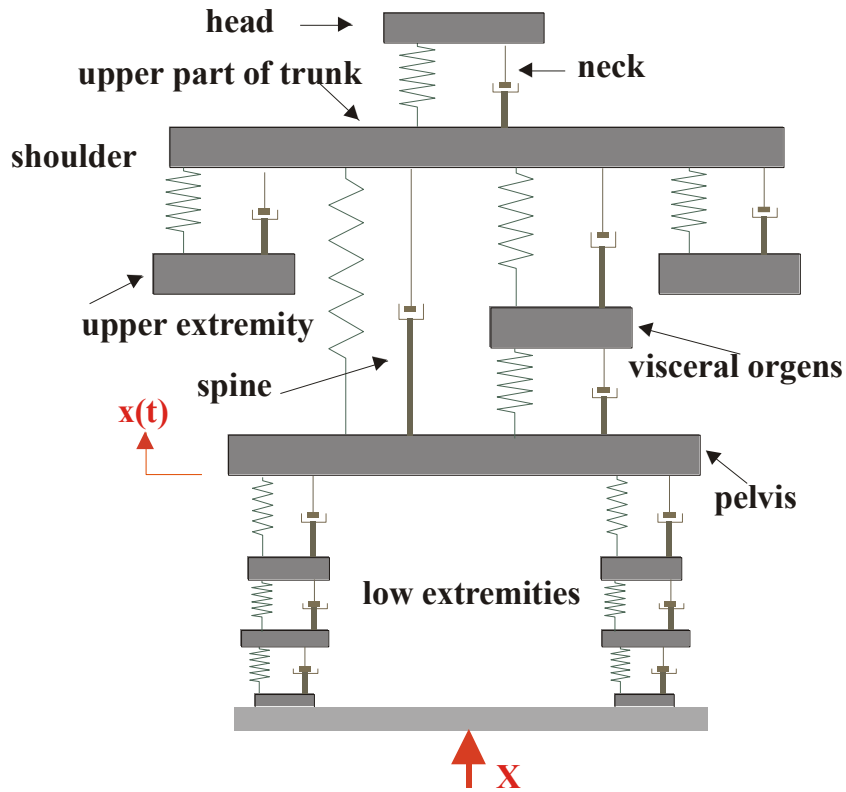
CREEP



KELVIN



Člověk jako soustava oscilátorů

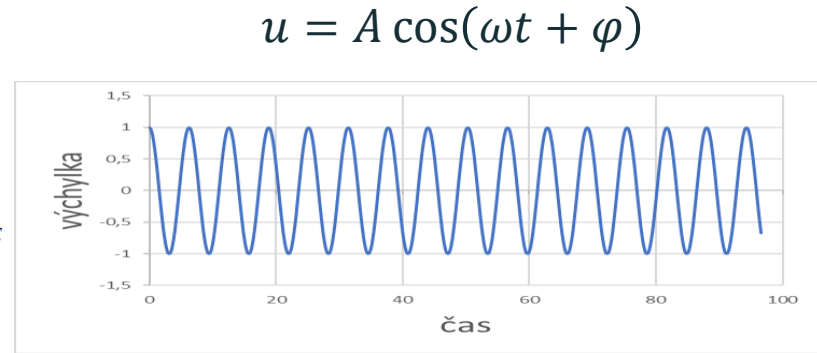
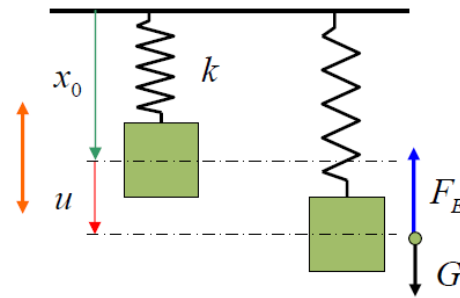


- Rezonance a vlastní (rezonanční) frekvence

V čem je problém?

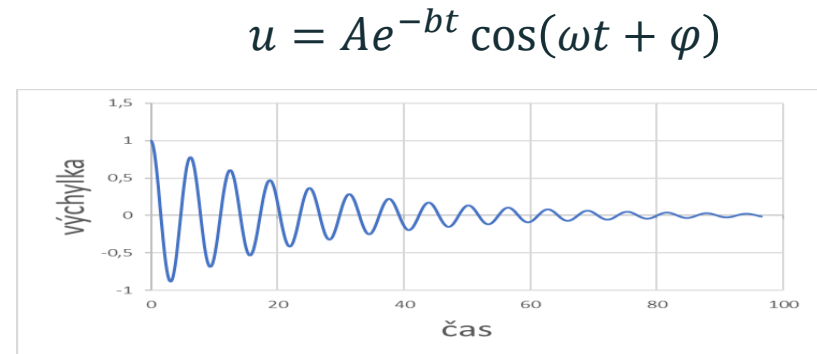
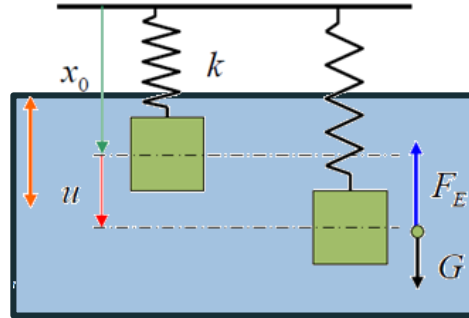
- netlumený oscilátor

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + ku = 0$$



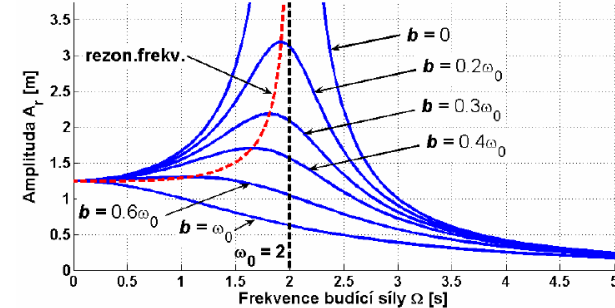
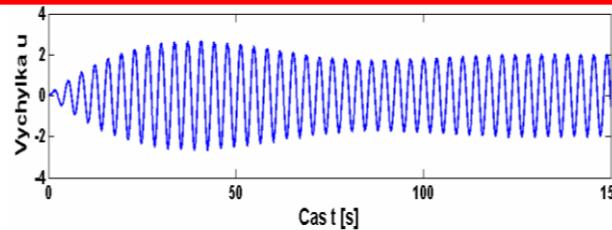
- tlumený oscilátor

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} = -m\omega_0^2 u - 2mb \frac{du}{dt}$$



- nucené kmitání

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + 2mb \frac{du}{dt} + m\omega_0^2 u = F_m \sin(\Omega t)$$



$$A = \frac{F_m}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4b^2 \Omega^2}} \rightarrow A_{max} = \frac{F_m}{2bm \sqrt{\omega_0^2 - b^2}} \rightarrow \Omega_R = \sqrt{\omega_0^2 - 2b^2}$$

Člověk

