

# Mechanické vlastnosti biomateriálů, reologie

tuhost, elasticita, tvrdost, relaxace a creep, únava materiálu, reologické modely, zátěž a namáhání

# Reologie

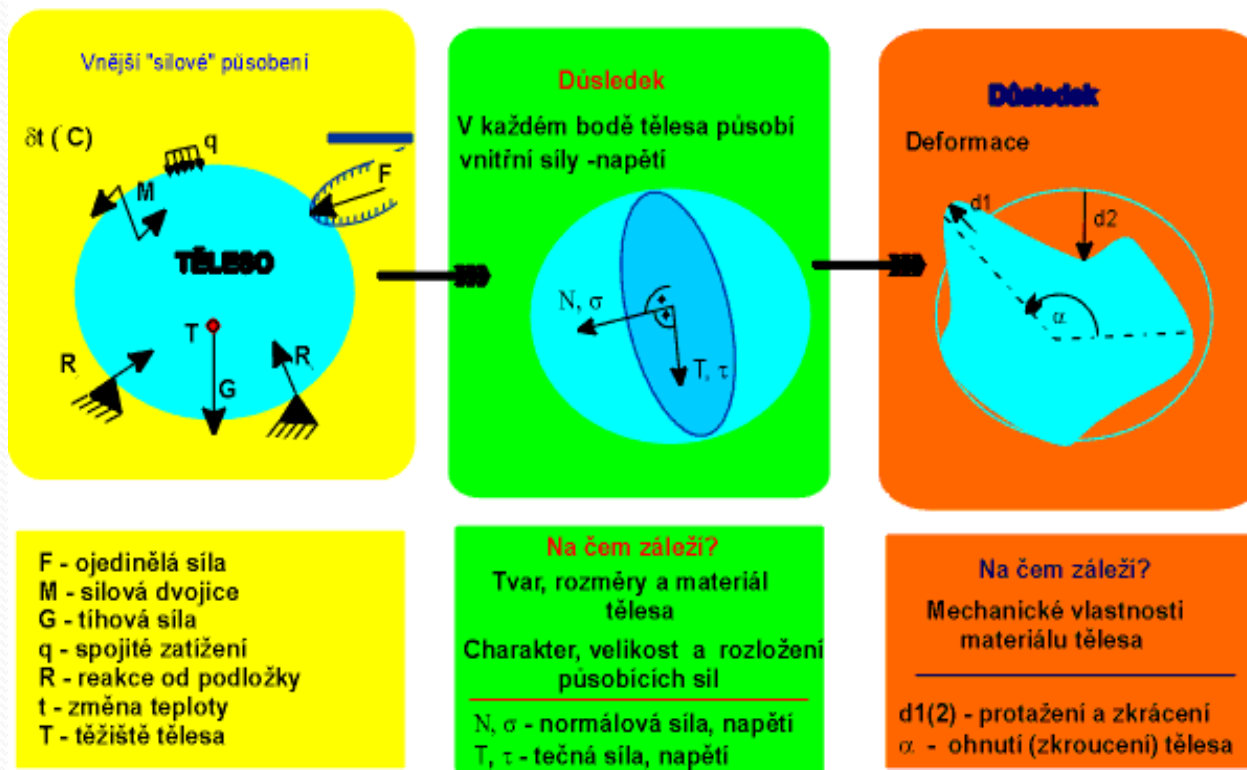
- obor mechaniky - zabývá obecnými mechanickými vlastnostmi látek
- vztahy mezi napětím, deformacemi a rychlostí deformace
- u kapalin dalšími hydrodynamickými vztahy

**Zabývá se deformací a tokem látek vlivem napětí, které na ně působí, v čase**

# Deformační odezva tělesa

- Působení vnějších sil způsobuje v tělese mechanické napětí – to vyvolá dle mechanických vlastností příslušnou deformační odezvu

## Reakce tělesa na vnější působení



# Základní mechanické vlastnosti

- **Tuhost** - schopnost odolávat deformacím; reprezentována u lineárních materiálů konstantou (modulem).
- **Pevnost** (mez pevnosti) - mezní zatížení, které pokud je překročeno způsobí destrukci materiálu.
- **Elasticita** (pružnost) - schopnost materiálu vrátit se po odeznění vnější zátěže do původního tvaru,
  - Plasticita (tvárnost) - schopnost materiálu uchovat deformace i po vymizení vnější zátěže.
  - Mez pružnosti - hraniční hodnota napětí tvořící přechod mezi deformacemi pružnými a plastickými.
- **Tvrdoost** - odolnost proti vrypu
- **Viskozita**: udává poměr mezi tečným **napětím** a změnou **rychlosti při proudění** skutečné kapaliny v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami.
- Viskozita charakterizuje vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi.

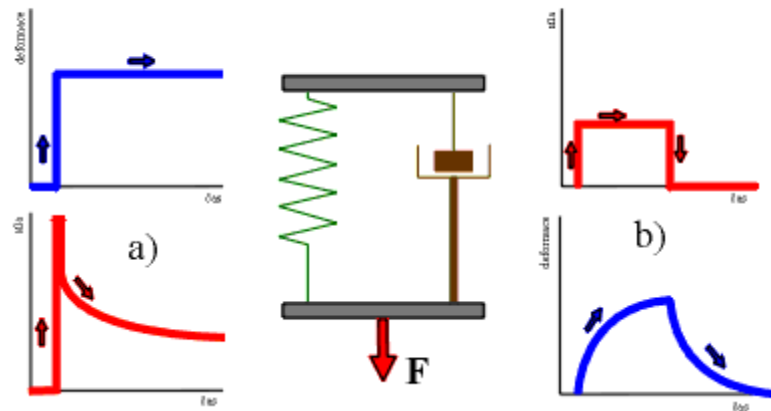
# Mechanické vlastnosti materiálů

- Technické materiály – lineární zátěžová křivka – Hookův zákon
- Biologické materiály (viskoelastické)
  - – nelineární zátěžová křivka - konstituční rovnice – závislost **na čase a rychlosti deformace**
  - Vlastnosti biologických materiálů závislé na okamžitém stavu osoby i na její komplexní historii (pohlaví, genetické předpoklady, věk, výživa, životní styl, pracovní zatížení aj)

# Viskoelasticita

- Je typickou vlastností, která modifikuje poddajnost biologických struktur (biomateriálů). Variabilita těchto vlastností je značně široká: od reálné kapaliny (synoviální tekutina, krev, lymfa, atd), přes různorodost měkkých tkání až po rozmanitost kostí.

## ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY CHOVÁNÍ KELVINOVA TĚLESA



# Mechanické vlastnosti biologických materiálů

- dány stavbou a uspořádáním tkáně
- **elastin** se vyznačuje značnou schopností pružných deformací (až 150%),
- **kolagen** se vyznačuje značnou tuhostí a pevností v tahu
- výsledné mechanické vlastnosti převážně určeny
  - mírou zastoupení jednotlivých vláken
  - prostorovým uspořádáním
  - ovlivněny množstvím amorfní mezibuněčné hmoty
- biologické tkáně považujeme za viskoelastické materiály, což se projevuje **závislostí tuhosti na rychlosti deformace** a projevy **creepu a relaxace** v čase

# Modelování reologických vlastností tkání

**Viskoelasticita:** popis látky pomocí kombinací vlastností viskózní tekutiny (pod působením napětí deformace s časem lineárně roste, symbolicky lze znázornit písmem) a elastické pevné látky (deformace závisí pouze na velikosti napětí, symbolicky se znázorňuje pružinou)

- Výpočty pomocí jednoduchých parametrů, které reprezentují základní vlastnosti - elasticitu, plasticitu a viskozitu.
- **elasticita** je charakterizována tuhostí - Youngovým modulem pružnosti,
- **viskozita** je charakterizována součinitelem kinematické vazkosti
- **plasticita** je charakterizována součinitelem tření



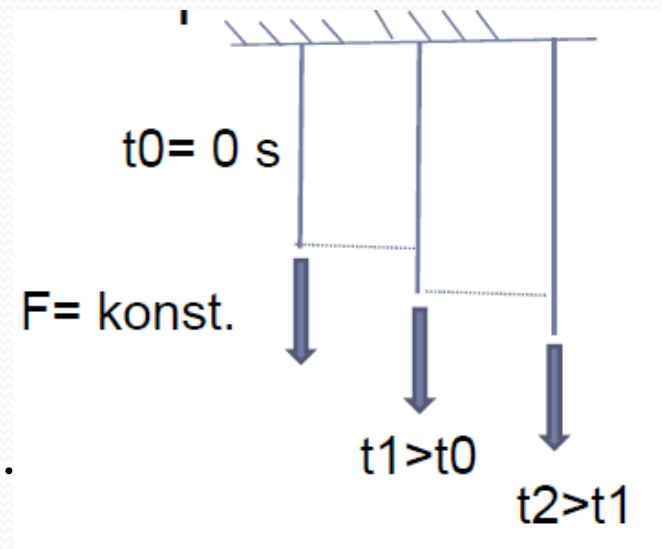
# Creep - tečení

- dlouhodobá odezva viskoelastických materiálů
- Aplikace vnější síly (či deformace)
  - okamžitá deformační odezva (potřebná síly k vyvolání této deformace)
  - pozvolný nárůst deformace v průběhu času a trvalá změna tvaru po určitém čase při nezměněných vnějších podmínkách nazýváme **tečení** neboli **creep**.

změna délky (tvaru) při dlouhodobém konstantním zatížení

V každé látce je obsažena jak pružná tak viskózní deformace. Rozdíl je jen v rychlosti trvalé deformace.

Pevné látky tečou pomaleji, tekutiny rychleji.

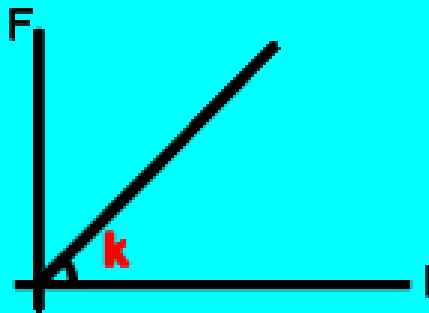


# Relaxace

- Pokles potřebné zátěžné síly k udržení vyvolané neměnné deformace, nazýváme **relaxací** materiálu. Po uplynutí určitého času se zátěžná síla ustálí na konstantní hodnotě.
- Relaxaci lze definovat jako uvolnění pružných napětí, a to narůstáním plastické deformace zatížené součásti v určitém směru (creep), při současně velkém poklesu pružné deformace ve stejném směru.
- Modelovat tyto projevy můžeme na reologických modelech

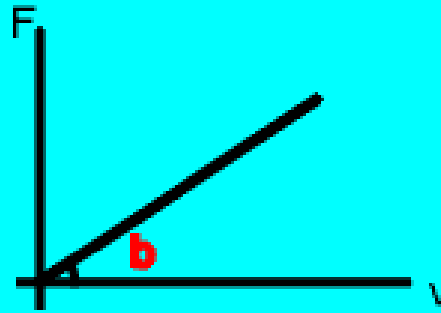
# Prvky reologických modelů

Elasticita



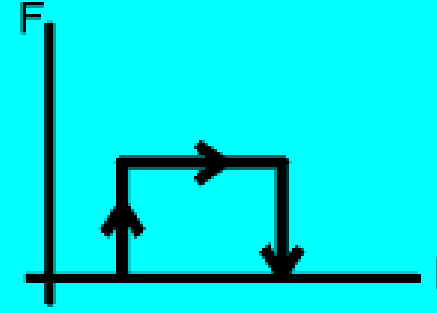
$$F = k \cdot l$$

Viskozita

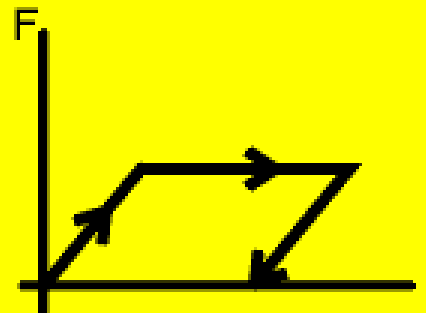


$$F = b \cdot v$$

Plasticita

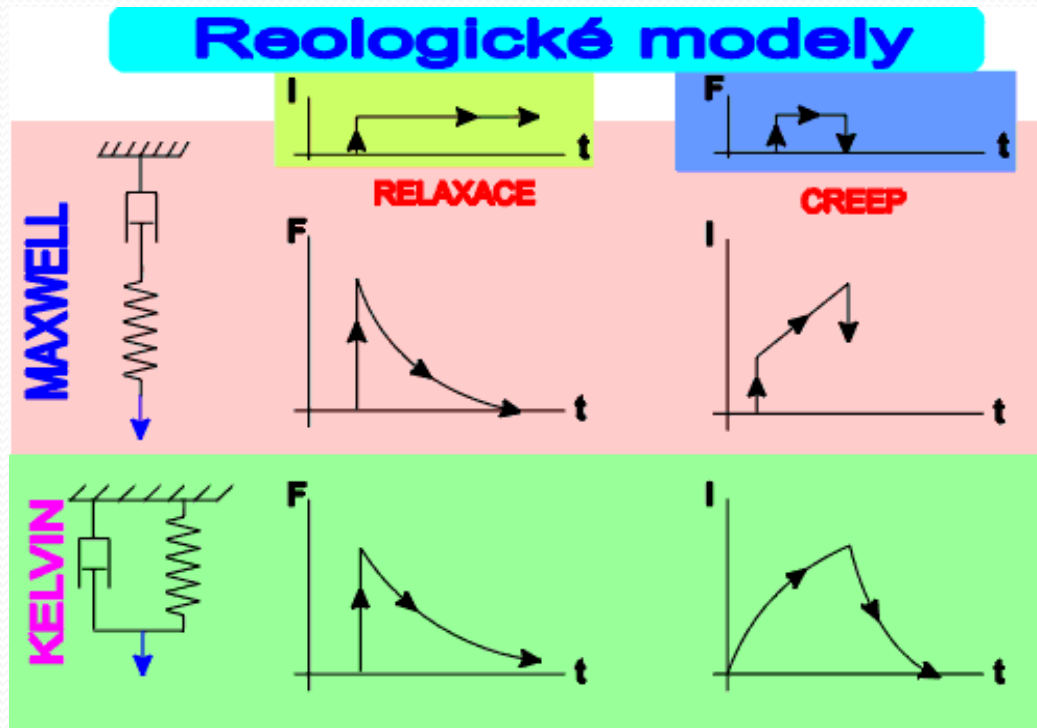


Technický materiál  
např. ocel

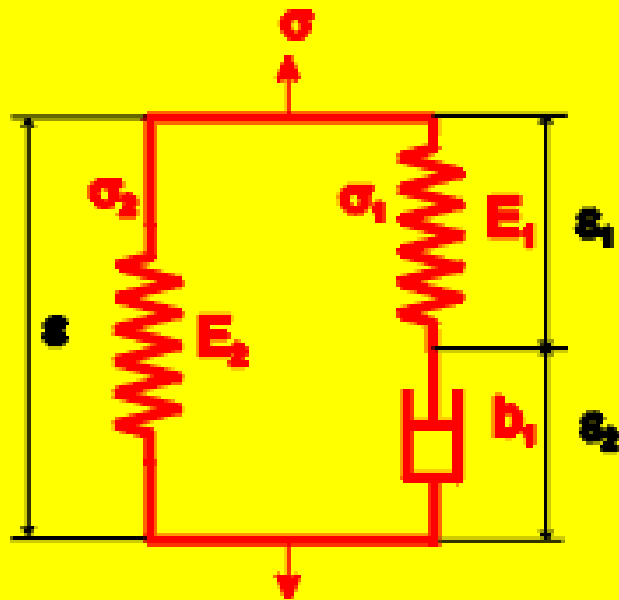


# Reologické modely

- Dva základní modely viskoelastických materiálů – Maxwellův (sériový) a Kelvinův (paralelní)
- Simulace odezvy materiálu (tečení a relaxace) na jednotkovou tlakovou nebo tahovou sílu



# Standardní model viskoelastického materiálu



$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon$$

$$\sigma_1 = \dot{\varepsilon}_1 \cdot b_1$$

$$\sigma_1 = \varepsilon_1 \cdot E_1$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon$$

$$\dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 = \dot{\varepsilon}$$

$$\frac{\dot{\sigma}}{E_1} + \frac{\sigma}{b_1} = \dot{\varepsilon}$$

$$\sigma_1 = \sigma - \sigma_2$$

$$\dot{\sigma}_1 = \dot{\sigma} - E_2 \cdot \dot{\varepsilon}$$

## KONSTITUČNÍ ROVNICE

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma} - E_2 \cdot \dot{\varepsilon}}{E_1} + \frac{\sigma - E_2 \cdot \varepsilon}{b_1}$$

Řešení diferenciální rovnice:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} (1 - e^{-t/\tau}), \quad \tau = \frac{b_1 (E_1 + E_2)}{E_1 \cdot E_2}$$



# Zátěž a namáhání

- Mechanická zátěž
  - je silově deformační vliv okolního prostředí na živý organismus, evokuje jeho specifickou odezvu.
  - adaptační mechanismy
    - regenerační a revitalizační procesy
    - degenerativní procesy vedoucí až k orgánové dysfunkci apod.
  - odezva organismu – škála reakcí
    - v jeho chování (reakce psychické, fyziologické, pohybové, atd.),
    - v jeho struktuře (reakce morfologické, biochemické, atd.).
  - Podle úrovně zátěže, jejího časovém průběhu a reakce organismu - zátěž podprahová, monotónní, silově riziková, rázová, vibrační, atd.
- *Silová zátěž* – tah, tlak, ohyb – zatížení s normálovou napjatostí; smyk a krut - napjatost smyková. Reálně - prostorová kombinace více způsobů zatížení - sčítání shodných typů napjatosti ve stejném směru. Průběh napětí a jeho velikost závisí také na velikosti a tvaru průřezu tělesa.
- *Mechanické vibrace* (zátěž) - specifické účinky na jednotlivé části organismu. Vnímavost k vibracím dána rezonančními charakteristikami orgánů a orgánových struktur
  - celotělové (případ akustického podnětu)
  - směrované do vyhraněných lokalit

# MECHANICKÁ ZÁTĚŽ

**z hlediska:**

**časového průběhu:**

stacionární (ustálená),  $F(t), \sigma(t) = \text{konst.}$

nestacionární (časově proměnná),  $F(t), \sigma(t) \neq \text{konst.}$



- obecně časově proměnná - cyklicky proměnná, vibrační - impulsní

**deformačního účinku:**

deformační rychlost  $\dot{\epsilon}$  |  $10^{-5}$  .  $10^{-3}$  . . . . 10  $10^2$   $10^3$  . . . .  $10^7$  .  $10^9$  [% . s<sup>-1</sup>]

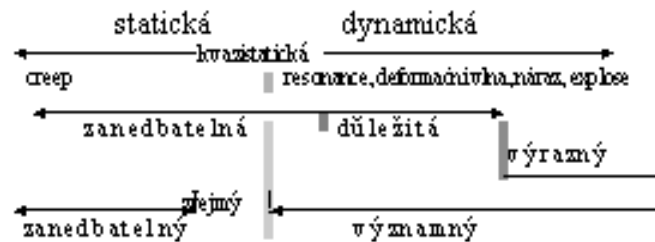
ZÁTĚŽ

TYPICKE JEVY

DEFORMAČNÍCH RYCHLOST

TERMODYNAMICKÝ EFEKT

UCINEK SETRVAČNÝCH SIL



-v mezích vratných a nevratných deformací

- mezní, limitní ( na mezi elasticity, kluzu, únavy, pevnosti apod.)

- nadlimitní (nad mezi elasticity, kluzu,.....)

**funkčních biologických důsledků:**

- |             |            |                  |                       |
|-------------|------------|------------------|-----------------------|
| - občasná   | - nízká    | - hypokinetická  |                       |
| - monotorní | - střední  | - v mezích normy | - submaximální        |
| - nárazová  | - vysoká   | - hyperkinetická | - maximální           |
| - opakovaná | - riziková |                  | - s trvalými následky |

# Tolerance organismu na zátěž

- schopnost organismu odolávat a přizpůsobovat se účinku mechanické zátěže.
- dolní limit tolerance - práh citlivosti organismu na potřebnou úroveň vnějších mechanických interakcí pro normální vývoj a funkci organismu
- horní limit vyjadřuje práh tolerance a "fyziologické" adaptability organismu vůči mechanické zátěži ve smyslu jeho pozitivních, nepatologických reakcí.
  - tyto limity jsou součástí kritérií řady ergonomických, bezpečnostních a hygienických norem
  - jsou proměnné v průběhu života,
  - mění se s biologickým věkem
  - jsou závislé na charakteru a historii zátěže, době trvání, expozici atd.
- Konkrétní hodnoty vycházejí z mezních hodnot materiálových a reologických veličin namáhaných struktur a z patofyziologických a klinických poznatků o vlivu zátěžové expozice na dysfunkci a strukturální patologické změny.



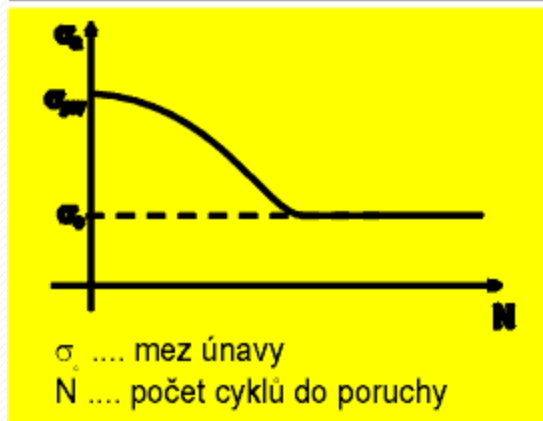
# Únava materiálu

- snižování meze pevnosti způsobené cyklickým opakováním působení vnější zátěže
- mez únavy - hodnota mechanického napětí, do které je možné materiál zatěžovat neomezeným počtem cyklů.

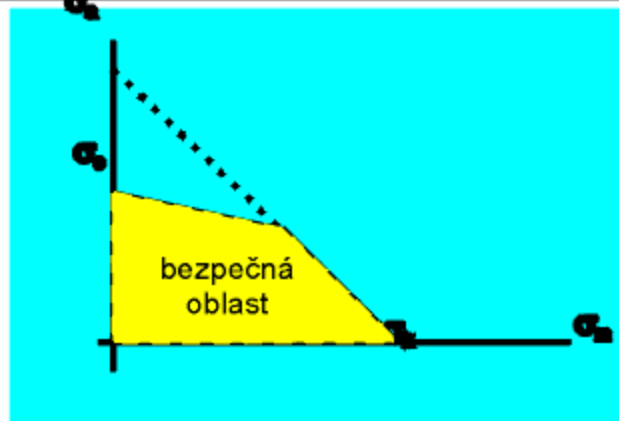
## Cyklické namáhání



## Wohlerova křivka



## HAIGHOV DIAGRAM



# Biokompatibilita

- schopnost vzájemné snášenlivosti umělých orgánů s hostitelem. Umělý orgán má obnovit nebo napodobit fyziologii přirozeného orgánu.  
Biokompatibilita
  - látková (agresivita umělého materiálu vůči biologickému a naopak),
  - funkční (vhodné mechanické vlastnosti, tření apod.) a
  - tvarová (tvar, velikost)
- Pro náhrady kostí a kloubů se používají
  - kovové materiály (především korozivzdorné slitiny kobaltu, titanu, chromu a niklu schopné vytvářet pasivační vrstvu nebo schopné požadované povrchové úpravy),
  - plastické hmoty (např. pro kloubní jamky z teflonu či polyetylénu),
  - hliníkové a sialonové (na bázi nitridu křemíku) keramické hmoty s vysokou tvrdostí a dobrou snášenlivostí živými tkáněmi.
- Pouze materiály na bázi kolagenu dovolují odbourání imunologických reakcí.