

Mechanické vlastnosti biomateriálů, reologie

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

Reologie

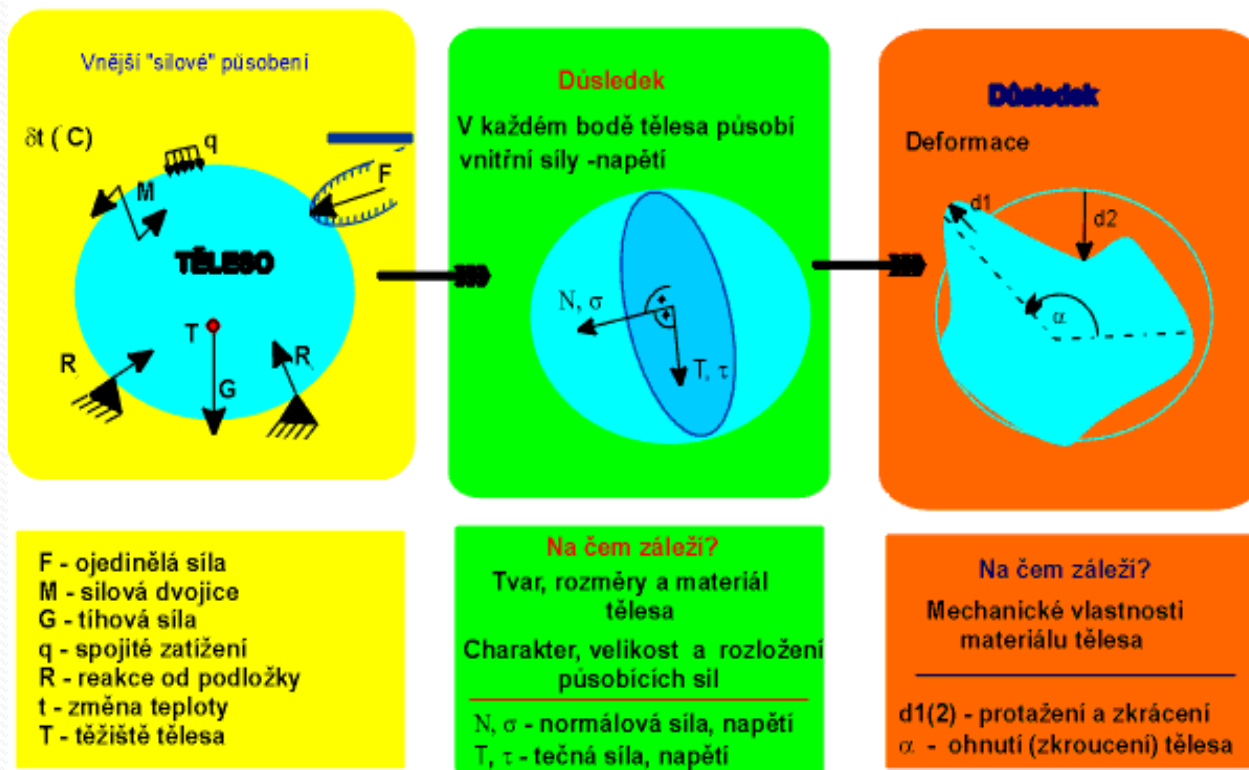
- obor mechaniky - zabývá obecnými mechanickými vlastnostmi látek
- vztahy mezi napětím, deformacemi a rychlostí deformace
- u kapalin dalšími hydrodynamickými vztahy

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

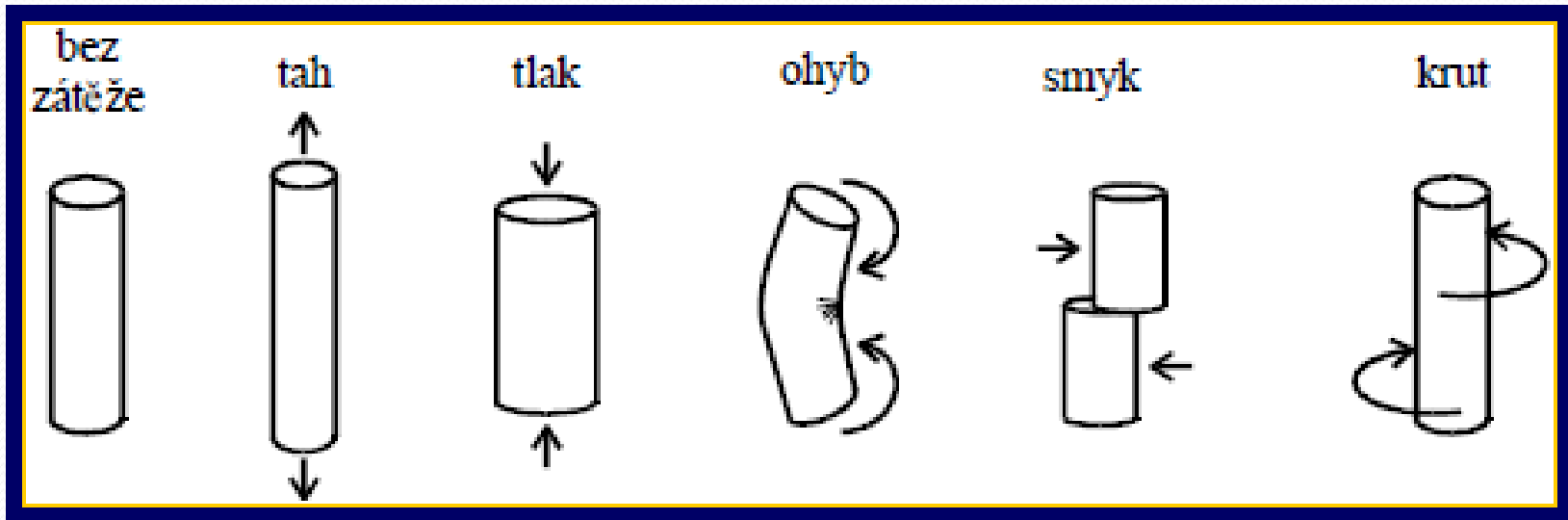
Reakce tělesa na vnější působení



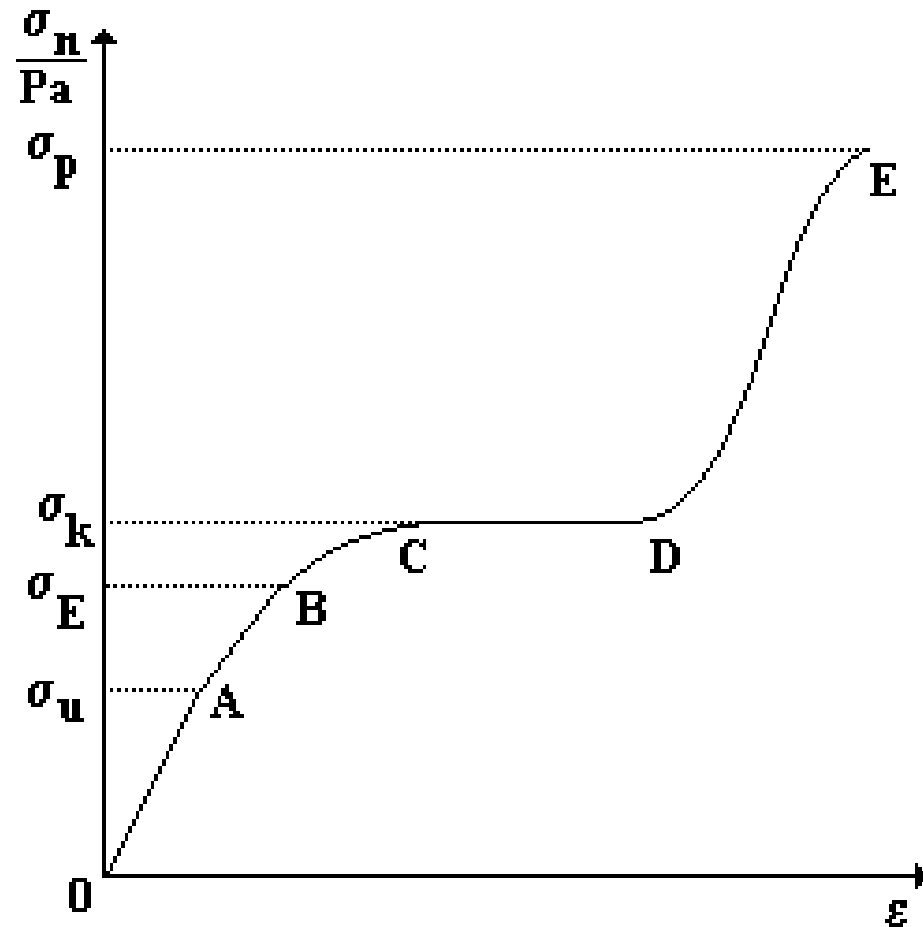
Základní mechanické vlastnosti

- **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. Větší viskozita znamená větší brzdění pohybu.

Druhy deformací



Křivka deformace

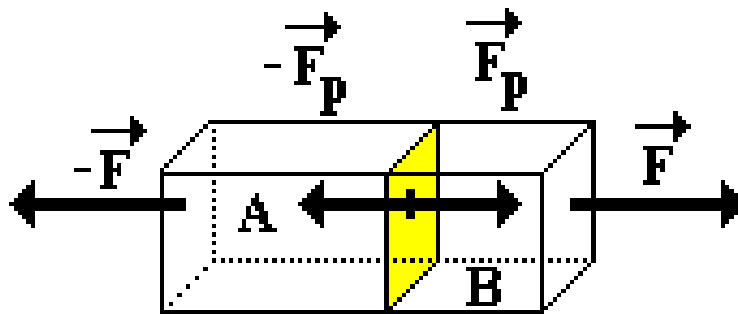


Popis křivky deformace

- 1. **OA - pružná deformace.** Normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení a platí tedy Hookův zákon. Napětí v bodě A se nazývá **mez úměrnosti**.
- 2. **AB - dopružování.** Přestanou-li působit vnější síly, deformace nezmizí ihned, ale až za určitou dobu Dopružování nastává u těles, u nichž nebylo vyvoláno větší normálové napětí než **mez pružnosti**. Většinou se mez pružnosti příliš neliší od meze úměrnosti (někdy jsou dokonce stejné).
- 3. **CD - tečení materiálu.** Malé změně normálového napětí odpovídá velká změna relativního prodloužení. Napětí, při kterém nastává náhlé prodloužení materiálu, se nazývá **mez kluzu** (průtažnosti).
- 4. **DE - zpevnění materiálu.** Zpevnění materiálu končí dosažením meze pevnosti, po jejímž překročení se poruší soudržnost materiálu (tyč se přetrhne).
- Část **BE** křivky deformace je oblast **plastické deformace**, tj. oblast deformace, která přetrvává i pokud přestanou působit vnější síly.

Síly pružnosti

- Při pružné deformaci tahem převládají mezi částicemi tělesa přitažlivé síly – síly pružnosti



- V příčném řezu pak vzniká stav napjatosti, charakterizuje jej tzv. normálové napětí

Normálové napětí, prodloužení

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{\text{síla}}{\text{příčný průřez}} \quad [\text{MPa}]$$

Velikost deformace (strain):

absolutní

$$l - l_0 \quad [\text{cm}]$$

relativní

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Hookův zákon

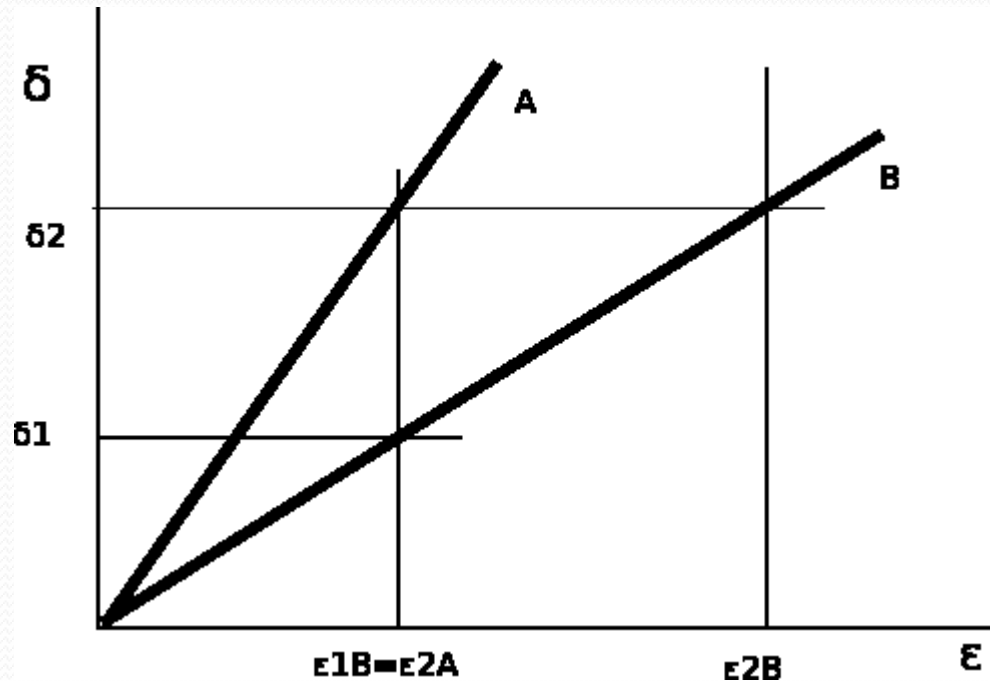
- Platí pro pružnou deformaci
- Normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení.
- Konstantou přímé úměry je E (Youngův modul pružnosti), je to materiálová konstanta
- G = modul pružnosti ve smyku

Modul pružnosti:

$$E = \frac{\text{velikost zatížení}}{\text{změna deformace}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{MPa}]$$

Youngův modul pružnosti

Vyšší hodnotu modulu pružnosti mají materiály, které potřebují na dosáhnutí stejné deformace vyšší napětí.



Kompaktní kost: 17–20 000 MPa

Dubové dřevo: 10 000 MPa

Patelární vaz: 4 000 MPa

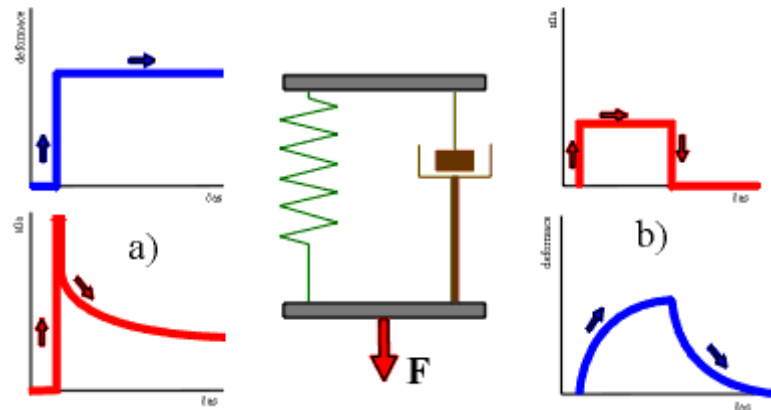
Mechanické vlastnosti materiálů

- 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 pístem) 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.

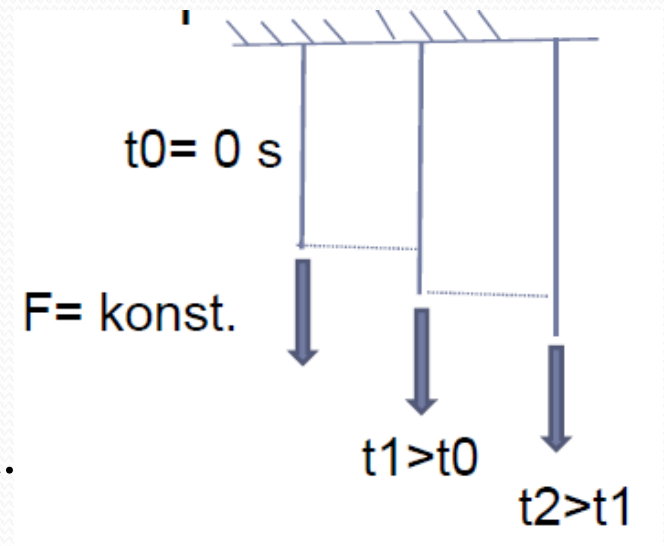
Creep - tečení

- 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.

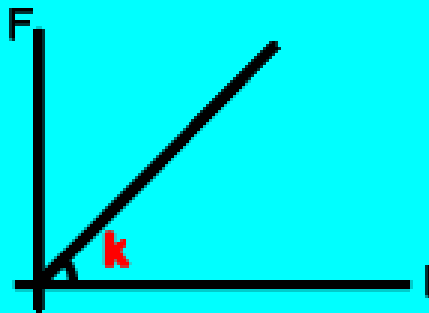


Relaxace

- 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

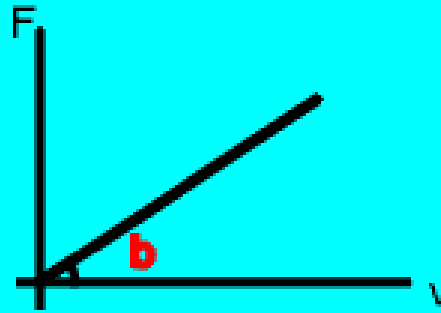
Prvky reologických modelů

Elasticita



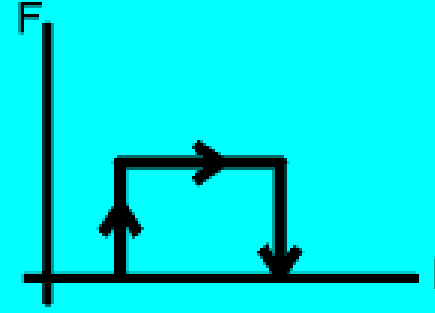
$$F = k \cdot l$$

Viskozita

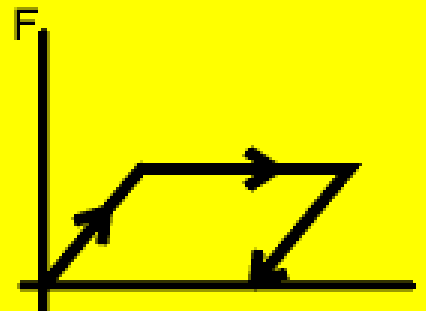


$$F = b \cdot v$$

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

