

Mechanické vlastnosti biomateriálů, reologie

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

Reologie

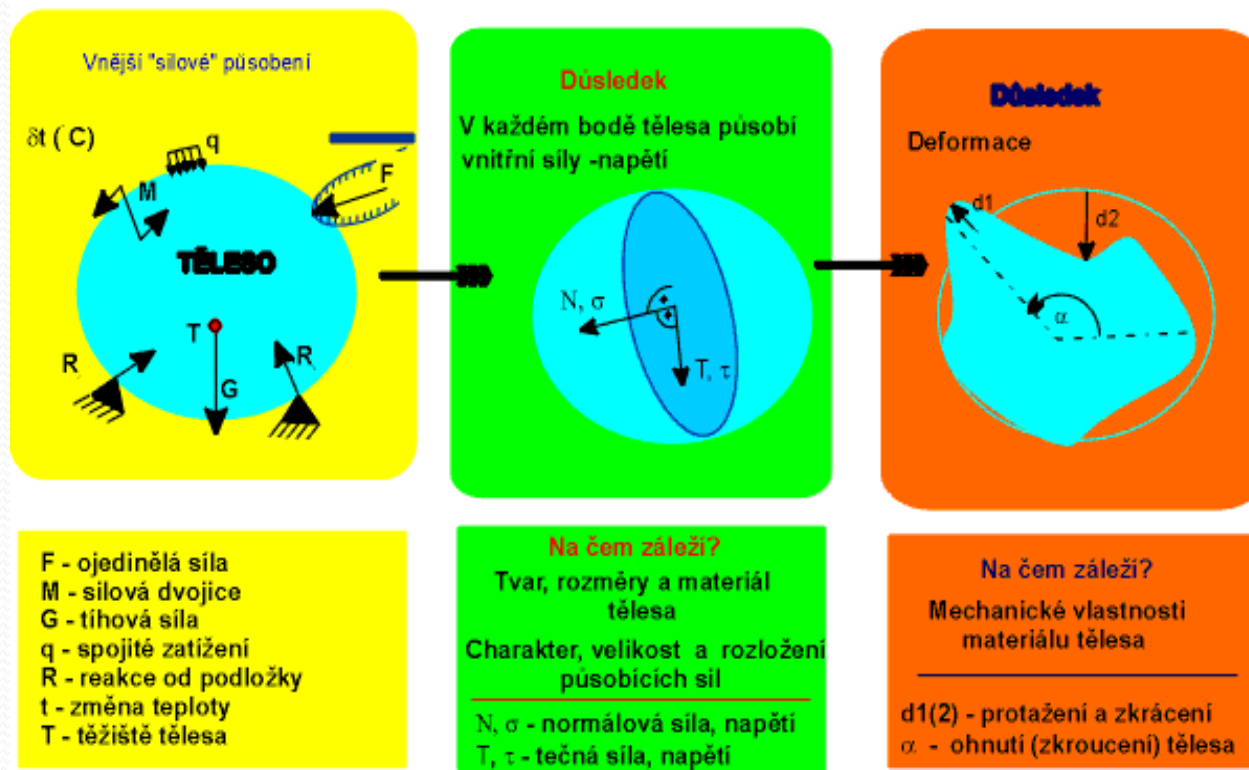
- obor mechaniky - zabývá obecnými mechanickými vlastnostmi látek
- vztahy mezi napětím, deformacemi a rychlostí deformace
- u kapalin dalšími hydrodynamickými vztahy

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.

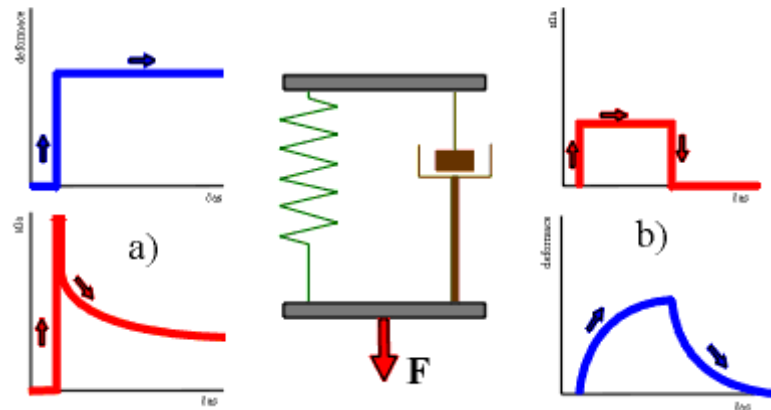
Mechanické vlastnosti materiálů

- 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 amorfni 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.

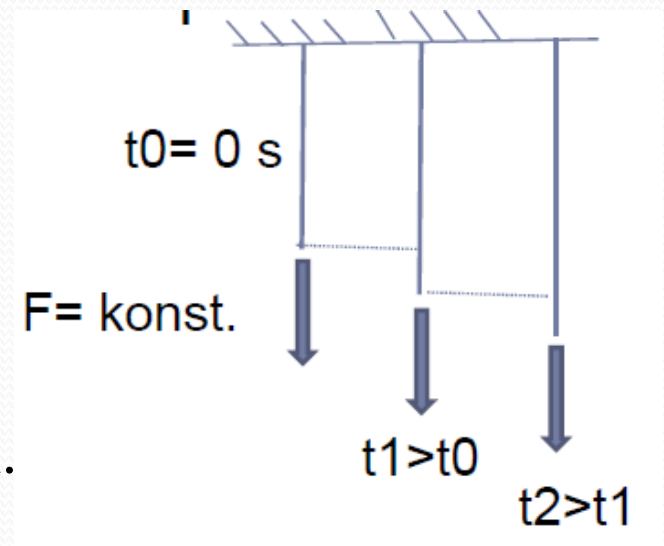
Creep - tečení

- 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.

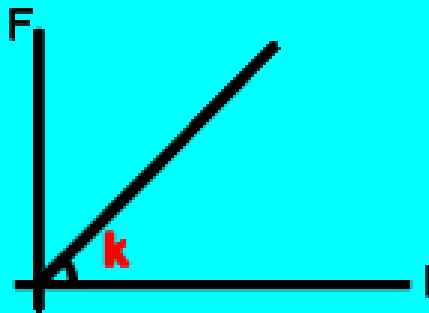


Relaxace

- 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

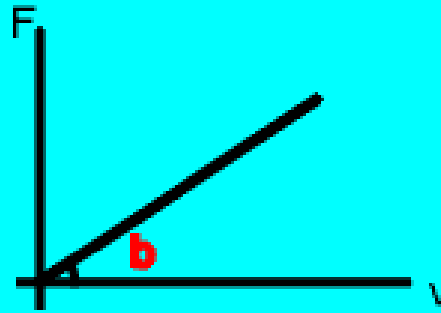
Prvky reologických modelů

Elasticita



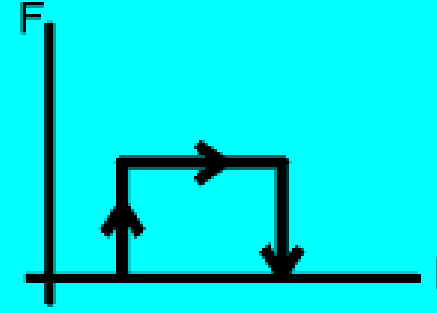
$$F = k \cdot l$$

Viskozita

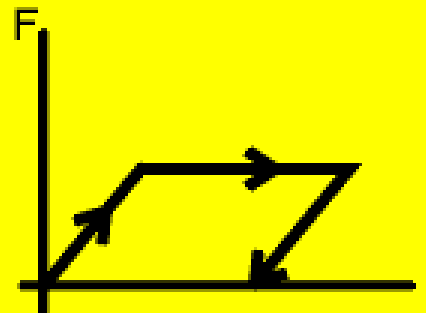


$$F = b \cdot v$$

Plasticita

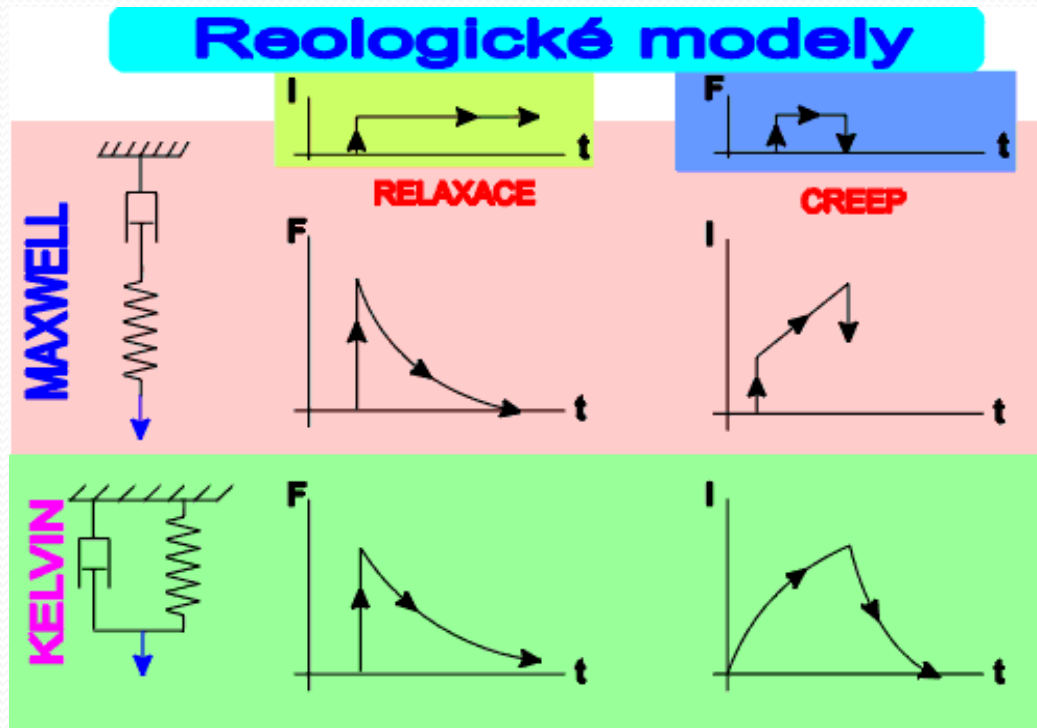


Technický materiál
např. ocel



Reologické modely

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



Mechanická 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 resonančními 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^{-6}	10^{-3}	10	10^2	10^3	10^7	10^9 [% . s ⁻¹]
ZÁTĚŽ	statická			dynamická			
TYPICKÉ JEVY	creep			kvazistatická	resonance, deformační vlna, náraz, epibee		
DEFORMAČNÍ RYCHLOST	zanedbatelná			důležitá	významný		
TERMODYNAMICKÝ EFEKT	zanedbatelný			nejvýznamnější	významný		
ÚČINEK SETRVAČNÝCH SIL	zanedbatelný			nejvýznamnější	významný		

- v mezích vratných a nevratných deformací
- mezní, limitní (na mezi elasticity, kluzu, únavy, pevnosti apod.)
- nadlimitní (nad mezi elasticity, kluzu,.....)

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.

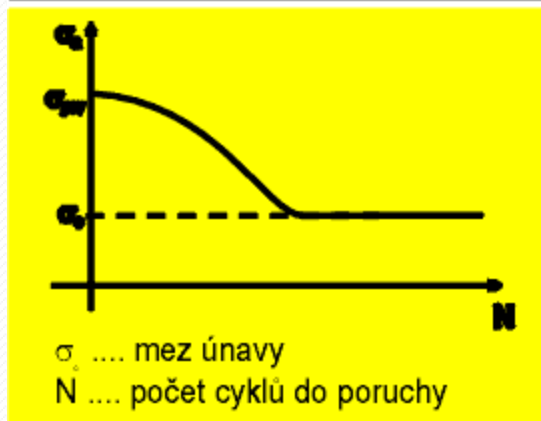
Únava materiálu

- 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

