

---

# Reologické vlastnosti biologických struktur

---

**Reologie** se zabývá obecnými mechanickými vlastnostmi látek, vztahy mezi napětím, deformacemi a rychlostí deformace a z toho u kapalin vyplývajícími dalšími hydrodynamickými vztahy. Reologie je obor mechaniky zabývající se deformací a tokem látek vlivem napětí, která na něj působí.

Silově deformační charakteristika tkání, tkáňových struktur a orgánů charakterizuje základní mechanické vlastnosti ( [Obr. B-Ot-6-10](#) ) a z jejich časové závislosti pak jejich základní reologické vlastnosti: viskozitu, plasticitu, hmotnost a elasticitu ( [Obr. B-Ot-6-2](#) ).

**Viskoelasticita** je typickou vlastností, která modifikuje poddajnost biologických struktur (biomateriálů). Variabilita těchto vlastností je značně široká: od reálné newtonovské kapaliny (synoviální tekutina, krev, lymfa, atd), přes různorodost měkkých tkání až po rozmanitost kostí ( [Obr. B-Ot-6-13](#) ).

**Mechanický oscilátor** je mechanická soustava, která díky kombinaci elasticity a hmotnosti má přirozenou tendenci po vnějším mechanickém podnětu se rozkmitat na určitou, vlastní frekvenci. Lineární interpretace je uvedena na ( [Obr. B-Ot-6-4](#) ).

## Reologie kloubního spojení

Reologie kloubu ( [Obr. B-Ot-6-3](#) ) je výrazně závislá na reologických vlastnostech intra a extraartikulárních tkáňových komponent. Dynamická stránka intraartikulární a extraartikulární složky poddajnosti má značný význam pro správnou funkci kloubu. Pasivní vlastnosti artikulujících struktur pohybového aparátu jsou dány především intraartikulární tribologií ( [Obr. B-Ot-6-8](#) ). Významným akumulátorem energie se stává sval pro své výrazné elastické vlastnosti. Děje se tak řízeným způsobem, v závislosti na stupni aktuální a následné aktivace. Pojem tzv. mechanické impedance představuje poměr komplexního momentu (resp. síly) ke komplexní úhlové rychlosti (resp. rychlosti). Celková impedance extraartikulárních komponent je dána paralelní kombinací impedancí svalů, hmotností segmentů, vazivové tkáně, kůže aj.. Kloubní elastická složka pasivní impedance je vyvolána zejména vazy, především v krajních polohách flexe a extenze. Kromě toho se uplatňuje Coulombovo tření s koeficientem tření 0,001 až 0,025. ( [obr BM30](#) , [Obr BM29](#) )

## Reologické modely

Pro modelování reologických vlastností tkání používáme jednoduché prvky, které reprezentují základní vlastnosti - elasticitu, plasticitu a viskozitu. Elasticita je charakterizována tuhostí neboli Youngovým modulem pružnosti, viskozita je charakterizována součinitelem kinematické vazkosti a konečně plasticita je charakterizována součinitelem tření. ( [OBR BM 7](#) )

Popisujeme dva základní modely viskoelastických materiálů s jednoduchým uspořádáním dvou prvků – elasticity a viskozity v sérii (Maxwellův model) a paralelně (Kelvinův model). Na těchto modelech můžeme simulovat zavedením jednotkové deformace nebo jednotkové tahové síly odezvu v čase, tedy tečení a relaxaci. ( [OBR BM 8](#) )

Komplexnější, tzv. standardní reologický model, v podstatě kombinace obou předcházejících, se ještě lépe přibližuje vlastnostem reálných biomateriálů. Při odvození konstitutivní rovnice popisující časově závislou odezvu na zatížení vycházíme z definice prvků a jejich vzájemného uspořádání. ( [OBR BM 9](#) )

## Zátěž a namáhání

**Mechanická zátěž** je silově deformační vliv okolního prostředí na živý organismus, který evokuje jeho specifickou odezvu. Provokuje adaptační mechanismy, které mohou mít charakter regeneračních a revitalizačních procesů a na druhé straně mohou ve své negativní formě vést k patologické reaktivitě organismu, provokovat degenerativní procesy, způsobit orgánovou dysfunkci apod. Celková odezva organismu se pak může pohybovat v široké škále reakcí v jeho chování (reakce psychické, fyziologické, pohybové, atd.), či struktuře (reakce morfologické, biochemické, atd.). Podle úrovně zátěže, jejím časovém průběhu a reakce organismu pak hovoříme o zátěži podprahové, monotónní, silově rizikové, rázové, vibrační, atd. ( [Obr. B-Ot-6-7](#) )

Silová zátěž podle velikosti, časového průběhu a směru silového zátěžového pole vytváří různé druhy mechanického namáhání ( [Obr. B-Ot-6-14](#) , [Obr. B-Ot-6-7](#) ). Rozeznáváme **pět základních druhů** ( [OBR 4BM5](#) ) : **tah a tlak** představují spolu s **ohybem** zatížení, která vyvolávají normálovou napjatost. Při **smyku** a při **krutu** je vnitřní

napjatost smyková. V reálných situacích zatížení biologických tkáňových struktur je nejčastěji prostorovou kombinací více způsobů zatížení. V tomto případě se sčítají shodné typy napjatosti působící ve stejném směru. Průběh napětí a jeho velikost závisí také na velikosti a tvaru průřezu tělesa.

Mechanické vibrace, které působí na organismus představují vibrační zátěž, která má specifické účinky na jednotlivé na jeho části. Působení může být celotělové (případ akustického podnětu) nebo směřované do vyhraněných lokalit ( Obr. B-Ot-6-22 ). Vnímavost k vibracím je dána především rezonančními charakteristikami orgánů a orgánových struktur ( Obr. B-Ot-6-18 ).

#### **Deformační odezva tělesa**

Působení vnějších sil na jakékoliv těleso způsobuje uvnitř tělesa mechanické napětí. Obecná vnější síla může představovat jak ojedinelou sílu, tak spojitě zatížení na danou plochu či objem nebo působení dvojice sil (momentové zatížení). V libovolně vedeném myšleném řezu tělesem působí vektor napětí, který může být rozložen na normálovou a tečnou složku. V důsledku vnitřního napětí působícího v tělese, dochází k příslušné deformační odezvě závislé na mechanických vlastnostech materiálu.( OBR 4BM1 )

Tolerance organismu na zátěž je schopnost organismu odolávat a přizpůsobovat se do určité míry účinku mechanické zátěže. Limity tolerance ohraničují pásmo "fysiologických" zátěží. Dolní limit vyjadřuje práh citlivosti organismu na nutnou a potřebnou úroveň vnějších mechanických interakcí organismu pro jeho normální vývoj a funkci (viz. remodelace kostí, atrofie svalů z hypokinezy, atd.). Horní limit vyjadřuje práh tolerance a "fysiologické" 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 a jsou závislé na charakteru a historii zátěže, době trvání, expozici atd. Konkrétní hodnoty vycházejí jednak z mezních hodnot charakteristických materiálůvých a reologických veličin tkáňových a orgánových struktur, a dále pak z patofyziologických a klinických poznatků o vlivu zátěžové expozice na dysfunkci a strukturální patologické změny.