

## Úloha: Měření mechanických vlastností měkkých tkání – dynamická zkouška

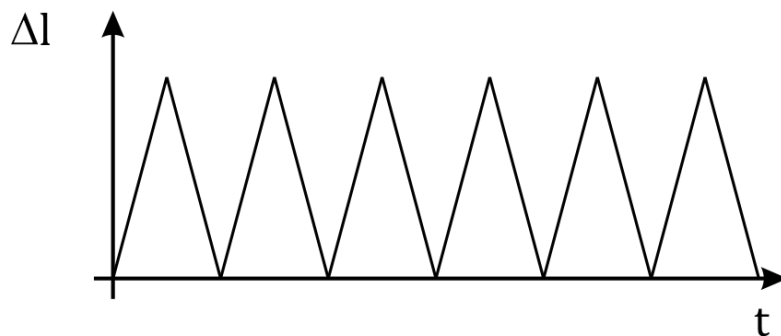
### Úkoly:

- 1.) Připravte vzorky vazů a šlach .
- 2.) Změřte jejich geometrické vlastnosti.
- 3.) Proveďte dynamickou zkoušku při dvou různých frekvencích a stejné amplitudě.
- 4.) Vyhodnoťte jejich tuhost, a hustotu disipační energie.
- 5.) Porovnejte vlastnosti vazů a šlach.
- 6.) Porovnejte, jak se bude lišit chování materiálu při různých frekvencích
- 7.) Výsledky diskutujte.

**Klíčová slova:** Rheologie, Viskoelasticita, Hysteresní smyčka, Deformační energie, Hustota deformační energie.

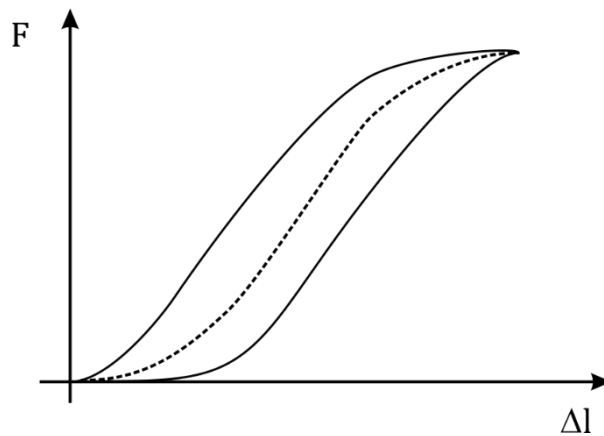
### Úvod:

Kromě elastického chování (které lze vyjádřit pomocí parametrů tuhosti  $k$ , či jeho ekvivalentu modulu pružnosti  $E$ ), lze u materiálů sledovat také různé další způsoby chování. Většina biologických tkání má takzvané viskoelastické chování. U viskoelastických materiálů odezva na zatížení je závislá jak na samotné hodnotě zátěže ale také na rychlosti zatížení. Díky tomu při cyklickém zatížení dochází k jevu, kterému se říká hystereze. Při tomto jevu je rozdíl mezi zatěžující a odlehčovací křivkou



Obrázek 1 Zatížení cyklickou defrací

## FBMI ČVUT



Obrázek 2 Typická hysterese křivka závislosti síla - deformace

Z hysterese křivky se dá vyčíst několik parametrů. Jestliže budeme uvažovat, že zatěžování i odlehčování probíhá stejnou ale opačnou rychlostí, tak při určitém zanedbání můžeme stanovit tuhost jako směrnici tečny, lineární části střední křivky hysterese křivky. Dalším parametrem pak může být disipační energie, která je dána plochou uvnitř hysterese křivky. Tato energie nám u viskoelastických materiálů určuje schopnost tlumení viskoelastického materiálu.

Nicméně oba tyto parametry jsou závislé na rozměrech vzorku. Proto je vhodnější přepočítat Sílu a deformaci na Napětí a poměrné prodloužení.

Napětí je definováno jako síla dělená průřezem.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

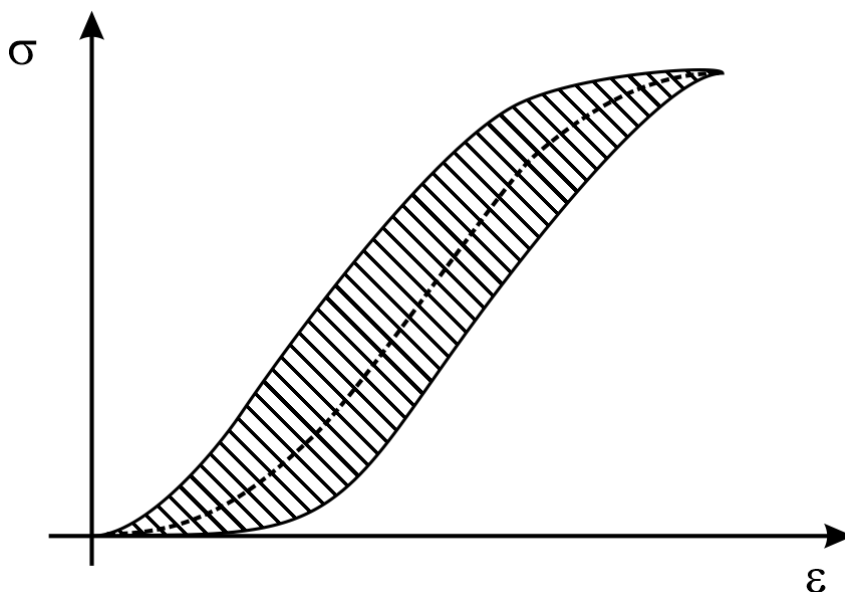
Kde  $F[\text{N}]$  je zatěžující síla a  $A[\text{m}^2]$  je průřez vzorku.

A poměrné prodloužení je pak definováno jako poměr změny délky a původní délky, přičemž výsledkem je bezrozměrné číslo.

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

Pokud toto poměrné prodloužení vynásobíme 100, získáme procentuální hodnotu, která ukazuje procentuální prodloužení materiálu vzhledem k jeho původní délce.

Po této úpravě pak dostaneme následující závislost.



Obrázek 3 Hysterese křivka napětí - poměrné prodloužení

Z této závislosti pak můžeme získat modul pružnosti, stejným způsobem jako u křivky síla – deformace tuhost. Plocha, která je vymezena hysterese smyčkou (na obr.3. šrafovaná část) pak vymezuje v hodnotu hustoty deformační energie.

Potřebné vybavení: Skalpel, nůžky, pinzeta, trhačka, ocelové pravítko, trhačka.

### Návod:

Určení mechanických vlastností měkkých tkání:

1. Připravte vzorek
  - Z tkání vyřízněte vzorky o maximální možné délce (dle možností), a konstantní šířce a tloušťce (dle možností). Dbejte na to, aby vyříznutý segment nebyl nikterak poškozen.
  - Z připravených vzorků odřízněte tenký plátek materiálu, ze kterého následně určíte (odhadnete) plochu průřezu. Řez musí být kolmý na osu namáhání.
2. Zjistěte geometrii vzorku
  - Změřte délku každého vzorku
  - Z odříznutého plátku každého vzorku spočítejte jeho průřez. Pro výpočet můžete využít modelovou geometrii, jako obdélník, kruh či elipsa, dle charakteru vzorku.
3. Vzorek upněte do čelistí trhačky
  - Dbejte na to, aby vzorek byl upnut tak, aby byl kolmo k čelistem
  - Dbejte na to, aby nebyl ani předeprnut, ani povolen.
  - Pokud by byl vzorek předeprnut či povolen, je nutno posunout čelisti tak, aby senzor síly ukazoval 0N
  - Odečtěte počáteční délku (rysek označující měřenou délku, případně vzdálenost čelistí)
4. Proved'te dynamickou zkoušku
  - Proved'te zatížení materiálu 10 cykly
  - Zátěžové režimy zvolte s ohledem na velikost vzorku – konzultujte s vyučujícím
  - Doporučení: poříd'te videozáznam z průběhu zkoušky tak aby bylo možné detekovat případné nepředvídané chyby v testu, jako vyklouznutí vzorku z čelistí apod.
5. Exportujte data do CSV formátu
6. Vyhodnoťte data z experimentu
  - Můžete využít libovolný program pro vyhodnocení experimentu
  - MS Excel obsahuje dostatečné funkce pro realizaci vyhodnocení
  - Ze závislosti síla deformace určete střední křivku hysterese smyčky a zjistěte tuhost materiálu
  - Vypoč'tete napětí  $\sigma$  v průběhu celého procesu zatěžování (jako průřez použijte počáteční průřez – který jste změřili v bodě 2)
  - Vypoč'tete poměrné prodloužení v průběhu celého procesu zatěžování (za l0 dosad'te vzdálenost změřenou v bodě 3)
  - Ze závislosti napětí – poměrné prodloužení určete střední křivku, modul pružnosti a hodnotu hustoty disipované energie měřeného vzorku.
7. Vypracujte protokol měření, který bude obsahovat

## FBMI ČVUT

- Hypotézu (jak předpokládáte že se budou lišit mechanické vlastnosti Vazů a šlach)
- Metodiku (identifikaci a popis vzorků, jaký byl postup přípravy vzorků, jaký byl postup měření, jaký byl zvolen zátěžový režim, jaké přístroje byly použity, jakým způsobem byly zpracovány data)
- Výsledky (Souhrnné výsledky experimentu)
- Diskuze a interpretace výsledků (Diskutujte jak a proč se liší výsledky jednotlivých vzorků od sebe, případné ovlivnění výsledků apod.)
  - Diskutujte také jak by se asi křivka změnila při vyšší rychlosti zatěžování.
- Závěr (Shrňte celý experiment)