

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

### Úkoly:

- 1.) Připravte vzorky vazů a šlach .
- 2.) Změřte jejich geometrické vlastnosti.
- 3.) Proved'te tahovou zkoušku.
- 4.) Vyhodno'tte jejich tuhost a Modul pružnosti v tahu, mez pevnosti a mez kluzu, poměrné prodloužení při mezi elasticity a mezi pevnosti.
- 5.) Porovnejte vlastnosti vazů a šlach.
- 6.) Porovnejte moduly pružnosti vypočítané z tuhosti s modulem pružnosti spočítaným z Hookeova zákona.
- 7.) Výsledky diskutujte.

**Klíčová slova:** Tuhost, Youngův modul pružnosti, Napětí, smluvní diagram, tahová zkouška

### Úvod:

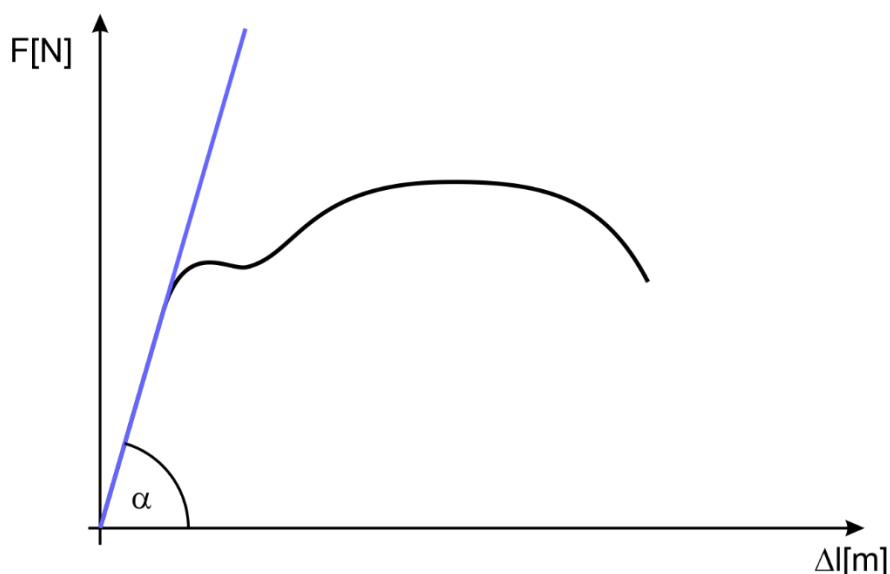
$\sigma$  - Napětí [Pa]

$\varepsilon$  – Poměrné prodloužení [-]

k-tuhost [N/m]

E - Youngův modul pružnosti [Pa]

Mechanické vlastnosti materiálů lze získat pouze experimentálně. Tahová zkouška je standardním testem pro získání mechanických vlastností různých materiálů, včetně měkkých tkání. Základem tahové zkoušky je zatěžování tahem (tahovou silou) a sledováním odezvy materiálu na toto zatížení.



Z této závislosti se dá získat hned několik parametrů, z nichž je asi nejdůležitější parametr tuhosti  $k$  [N/m]

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta F}{\Delta l}$$

Kde  $F[\text{N}]$  je zatěžující síla a  $\Delta l[\text{m}]$ . Z výše zmíněného je zřejmé, že  $k$  je směrnice přímky v lineární části diagramu. Nicméně tuhost nedefinujeme pouze v lineární části diagramu, ale tuhost je parametr, který může být definován v každém místě diagramu, jako směrnice tečny tohoto diagramu.

Závislost síla na deformaci se pak může přepočítat na závislost napětí na poměrném prodloužení, z čehož pak lze vynést takzvaný stress-strain diagram.

Napětí je definováno jako síla dělená průřezem.

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

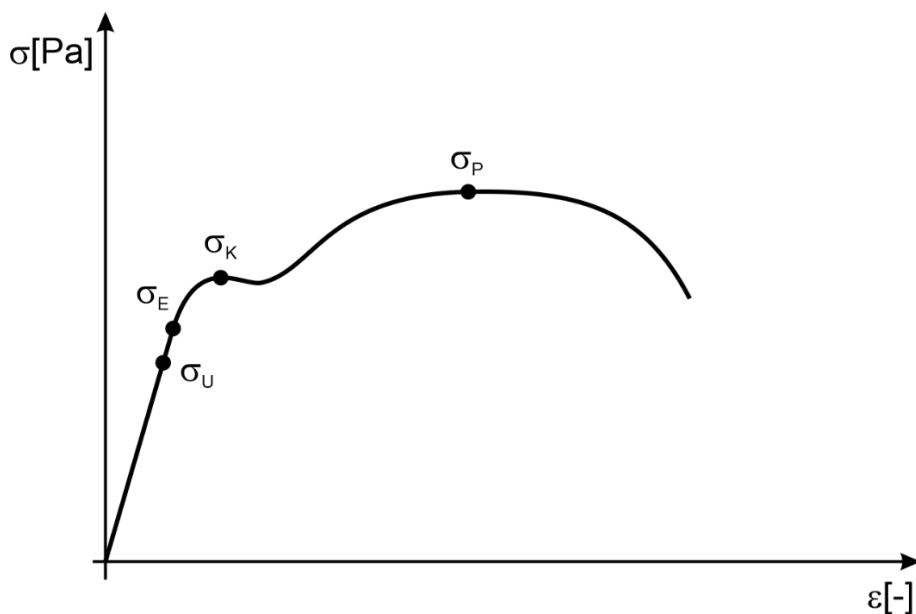
Kde  $F[\text{N}]$  je zatěžující síla a  $A[\text{m}^2]$  je průřez vzorku.

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.

Z diagramu tahové zkoušky pak můžeme zjistit rovnou řadu hodnot. Na obrázku vidíte ideální diagram měkké oceli. U biologických materiálů je tento diagram lehce odlišný a většinou neobsahuje tak výrazný kluz (oblast kolem meze kluzu  $\sigma_K$ ).



$\sigma_U$ - mez úměrnosti

$\sigma_E$ - mez pružnosti

$\sigma_K$ - mez kluzu

$\sigma_P$ - mez pevnosti

Mez úměrnosti je mez, do které platí takzvaná Hookeovské (lineární) chování materiálu. Mez elasticity je pak mez, která ohraničuje elastické chování materiálu, tedy bod do kterého se nezůstává zbytková deformace a materiál se vrací po odlehčení do původního tvaru. Mez kluzu je pak bod kde dochází k prvnímu poškození materiálu. Mez pevnosti pak je místo kdy dochází ke kolapsu materiálu, a tudíž k jeho destrukci.

Velice zajímavou částí tahového diagramu je lineární část ohraničená mezí úměrnosti. V této oblasti platí takzvaný Hookeův zákon, který popisuje lineární chování materiálu.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Z výše popsaného vyplývá, že Youngův modul pružnosti  $E$  reprezentuje směrnici lineární části stress strain diagramu, a lze tedy vypočítat z následujícího vztahu.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Nebo jako směrnice tečny proložené lineární částí diagramu.

K výpočtu Youngova modulu pružnosti lze také využít vztahu mezi tuhostí a Youngovým modulem pružnosti.

$$E = \frac{k \cdot l}{A}$$

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 předepnut, ani povolen.
  - Pokud by byl vzorek předepnut či povolen, je nutno posunout čelisti tak, aby senzor síly ukazoval 0N
  - Odečtěte počáteční délku (rysek označující měřenou délku, případně vzdálenost čelistí)
4. Proveďte tahovou zkoušku
  - 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. Body 3-5 opakujte pro každý vzorek

**7. Vyhodnoťte data z experimentu**

- Můžete využít libovolný program pro vyhodnocení experimentu
- MS Excel obsahuje dostatečné funkce pro realizaci vyhodnocení
- Ze lineární části závislosti  $F=f(\Delta l)$  určete hodnotu tuhosti
- Vypočtete napětí  $\sigma$  v průběhu celého procesu zatěžování (jako průřez použijte počáteční průřez – který jste změřili v bodě 2)
- Vypočtete poměrné prodloužení v průběhu celého procesu zatěžování (za  $l_0$  dosadíte vzdálenost změřenou v bodě 3)
- Ze stress strain diagramu určete všechny parametry (meze) které budete schopni odečíst (obr na straně 2) – může se stát že tvar křivky bude takový že některé parametry se budou překrývat.
- Určete hodnotu Youngova modulu pružnosti z lineární oblasti stress strain diagramu
- Vypočtete hodnotu Youngova modulu pružnosti z tuhosti spočtené z lineární části závislosti  $F=f(\Delta l)$
- Bod 7 opakujte pro všechna naměřená data

**8. Vypracujte protokol měření, který bude obsahovat**

- 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 se liší výsledky jednotlivých vzorků od sebe, případné ovlivnění výsledků apod.)
- Závěr (Shrňte celý experiment)