

# Viskoelasticita

určeno pro praktikum fyziky Jihočeské univerzity, zeman@dzeta.cz

verze 0.0.2 10.1.2010

## Abstrakt

V úloze se provede postupné přetržení tří vzorků lidského vlasu a tří vzorků měděného vlákna na trhačce Deform-02. Návod na možné zpracování a porovnání materiálů v elastické a plastické oblasti. Vyhodnocení meze pevnosti.

## 1 Pořízení dat

### 1.1 Příprava vzorků

#### 1.1.1 Příprava vlasů

Sežene 3ks zdravých nebarvených a neodbarvených<sup>1</sup> vlasů. Zkraťte je na délku 70mm. Průměr změřte za pomoci mikroskopu a krycího sklíčka s ryskami. Pořídíte snímek vlasu mikroskopem při zvětšení 100x. Vlas položte pod sklíčko s ryskami kolmo na stupnici, podobně jak je vidět na obrázku 1. Ve vhodném grafickém editoru (např. Gimp) určete kolik pixelů odpovídá vzdálenosti rysek, tj. 1/10 mm. Na třech místech určete počet pixelů odpovídající šířce vlasu.

$$S_v = \pi \left( \frac{l_{v1} + l_{v2} + l_{v3}}{60l_m} \right)^2 \quad (1)$$

kde  $l_{vi}$  jsou jednotlivé naměřené tloušťky vlákna v pixelech,  
 $l_m$  je vzdálenost rysek v pixelech  
a  $S$  je průřez vlákna v  $mm^2$ .

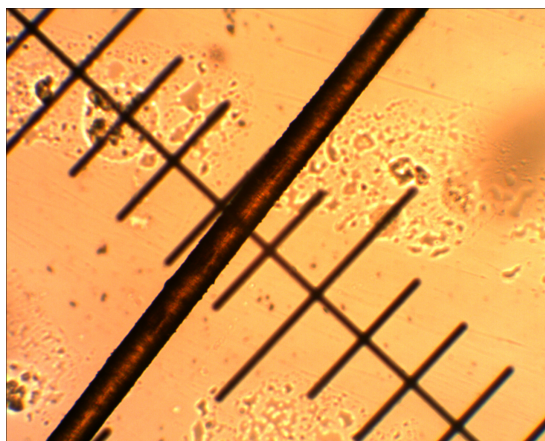
#### 1.1.2 Příprava měděných vláken

Opatrně oddělte od svazku vlákno. V žádném případě za něj netahejte. Ustípněte 70mm dlouhé tři vzorky. Stejným postupem jako u vlasu změřte jeho průřez mikroskopem. Nezapomeňte změřit každou tloušťku třikrát pro každé z vláken. Vzorky, na kterých došlo v průběhu přípravy k přetočení očka či zauzlování, vyřadíme.

---

<sup>1</sup>Barvené vlasy ztrácejí svou elasticitu a praskají již při deformaci kolem 2%, Youngův modul mají o 3-4 řády větší než vlasy původní.

Obrázek 1: Měření tloušťky vlákna provádíme vyhodnocením snímku pořízeného mikroskopem při zvětšení 100x pod kalibračním sklíčkem.



## 1.2 Průběh trhací zkoušky

Abychom porozuměli dějům probíhajícím ve vláknech a jednoznačně identifikovali jednotlivé deformační oblasti, neprobíhá trhání konstantní rychlostí, ale je přerušováno, aby v obdobích, kdy je rychlost posunu čelistí trhačky nulová, bylo možné zjistit případnou relaxaci. Relaxace je pouze exponenciálního charakteru (a určujeme  $\tau$ -relaxační časy) a redukovaný Youngův koeficient, určený z hodnoty  $C$  reziduální síly rovnice 3.

Řízení posunu čelistí trhačky probíhá stejně jako zaznamenávání naměřené reakční síly vzorku pomocí programu Trh!ey. Ukázkový skript znamená, že vzorek je napínán rychlostí  $0.144\text{mm/s}$  a je přerušován po ujetí  $10\text{mm}$  na dobu  $20\text{sec.}$  až do přetržení vzorku.

### 1.2.1 Postup měření

Přiblížte čelisti na vzdálenost  $50\text{mm}$ . Upevněte pomocí šestihranného klíče vlákno do čelistí. Pro vlas vystelte čelisti proužkem kancelářského papíru<sup>2</sup>.

Po upnutí vzorku dejte uložit budoucí data. Pak načtete kód a zapnete posun čelistí. Ne-dotýkejte se zařízení ani vlákna v průběhu měření. Počkejte na jeho přetržení. Po přetržení vlákna zastavte záznam i další zpracovávání kódu. Opakujte i pro dalších pět vláken.

Po přetržení vláken změřte mikroskopicky opět jejich průměr. A porovnejte ho s průměrem původním. Zjistěte, při jaké délce vlákna došlo k jeho přetržení, a spočtete Poissonův poměr materiálu  $\mu$ .

---

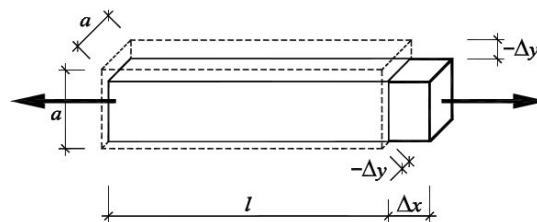
<sup>2</sup>Často dosáhneme nejlepšího upevnění materiálu, pokud použijeme povrch čelistí podobné tuhosti a tvrdosti jako má materiál upevňovaný. U měkčích čelistí hrozí vyklouznutí, u tvrdších destrukce vzorku. U trhací zkoušky poznáme dobré upevnění tak, že nedojde k posunu vzorku během deformace, ale současně se vzorek přetrhne daleko od čelistí. Pokud se trhá těsně u nich je třeba zvolit měkčí povrchový materiál čelistí. Pokud vzorek vyklouzává, je třeba povrch zdrsnit. Někdy je velmi výhodné použít jemnozrnný smirkový papír s počtem zrn  $2 - 4000/\text{cm}^2$ .

Poissonovo číslo tedy udává míru příčné deformace, jejíž příčinou byla deformace podélná (obr.2 ). Uvažuje se pro daný materiál konstantní hodnotou z intervalu  $\langle -0,5, 0 \rangle$ , přičemž hodnota 0 odpovídá materiálu dokonale stlačitelnému a hodnota 0.5 materiálu dokonale nestlačitelnému (nověji je dolní mez intervalu uvažována hodnotou -1).

$$\mu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (2)$$

kde  $\varepsilon_x$  je poměrné přetvoření elementu ve směru namáhání a  $\varepsilon_y$  je poměrné přetvoření elementu ve směru kolmém na směr namáhání.

Obrázek 2: Hranol před a po deformaci.



### 1.2.2 Zpracování dat

### 1.2.3 Zobrazení naměřených dat

Nejjednodušším způsobem jak vytvořit náhled naměřených dat je jejich prosté zobrazení z pořízených souborů. První sloupec je čas v sekundách, druhý po přenásobení desetitisíci a odečtení hmotnosti zavěšených čelistí 9.345N je vláknem vyvozená síla v newtonech. Typickou ukázkou naměřených výsledků je třeba graf 3. Pro analýzu je ale potřeba rozdělit úseky, kdy docházelo k posunu čelistí a kdy byly čelisti v klidu. Analyzujeme také zvlášť část elastické a plastické deformace vlákna.

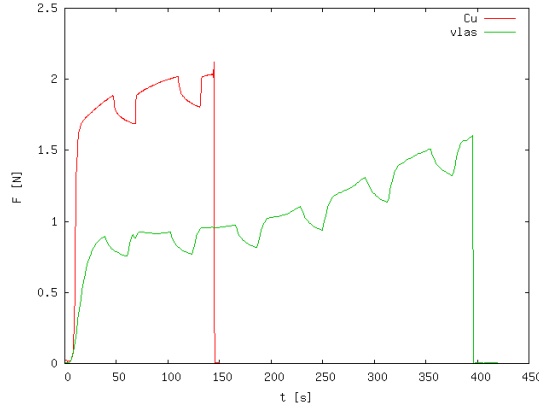
Z grafu deformací do 4% je možné určit Youngův modul vláken v tahu (obr. 4). Zde jsme ještě v elastické oblasti pro oba druhy vláken.

### 1.2.4 Určení relaxačních časů

Pokud vyřízneme období relaxace z celkového průběhu, můžeme zpravidla relaxační křivku s úspěchem proložit funkcí typu:

$$F(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau_1}} + ae^{-\frac{t}{\tau_2}} + C \quad (3)$$

Obrázek 3: Celkový průběh sil vláknem vyvozených.



kde  $F(t)$  je časový průběh síly vláknem vyvozené,  
 $\tau_1, \tau_2$  mají jak vidno rozměr času a nazýváme je první a druhý relaxační čas,  
 $C$  má jistě rozměr síly a jde o reziduální sílu, kterou by vlákno vyvozovalo po dlouhém čase,  
 $A, a$  také mají rozměr sil a jde o počáteční velikost sil prvního a druhého způsobu vzniku.

Proložení touto funkcí (v obrázcích značená  $h(x)$ ) vidíme na obrázcích 7 a hodnoty parametrů jsou v tabulce 1.

Tabulka 1: Hodnoty relaxačních časů a reziduálních sil fitované funkce 3

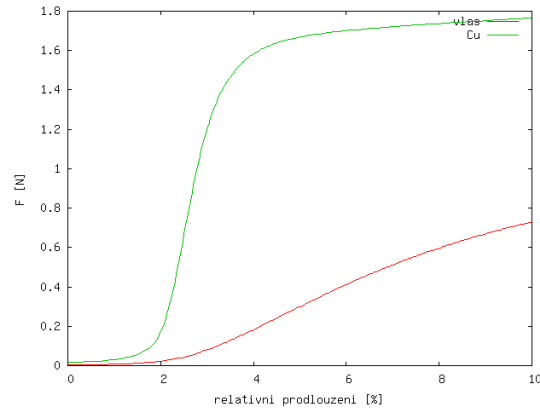
křivka	$A$ [N]	$a$ [N]	$C$ [N]	$\tau_1$ [s]	$\tau_2$ [s]
Cu 1	11.0	7.46	1.67	0.734	10.7
Cu 2	10.6	6.83	1.78	0.879	12.1
Cu 3	0.024	0.144	1.59	0.5924	12.4
vlas	23.5	6.64	0.900	2.38	15.0

Na průběhy velikosti vláknem vyvozené síly těsně po znovuzapočetí posuvu je vždy vidět podstatný rozdíl mezi mědí a vlasem. Zatímco měď prakticky okamžitě najede na původní hodnotu síly a najede na ni přesně, vlasu to několik sekund trvá a síla je na zlomu pak větší než byla síla těsně před koncem pohybu čelistí.

### 1.2.5 Určení Youngových modulů v tahu

Určení modulů v tahu provádíme z počátečních nárůstů vlákní vyvozených sil (obr.4), neboť máme na paměti, že tyto koeficienty mají reálný význam pouze v lineární oblasti deformace. Jako obvykle

Obrázek 4: Pohled na elastickou oblast vláken s celkovou deformací do 10%.



použijeme definičního vztahu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

kde  $E$  je Youngův modul v tahu,

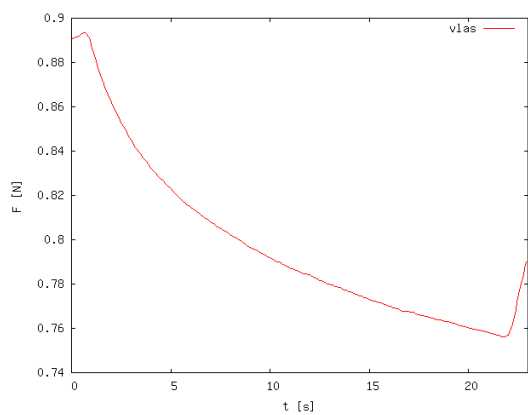
$\sigma$  napětí, tj.  $\sigma = F/S_v$ , kde  $F$  je vláknem vyvozená síla a  $S_v$  je průřez vlákna rovnice 1.

$\varepsilon$  je relativní prodloužení, tj.  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ .

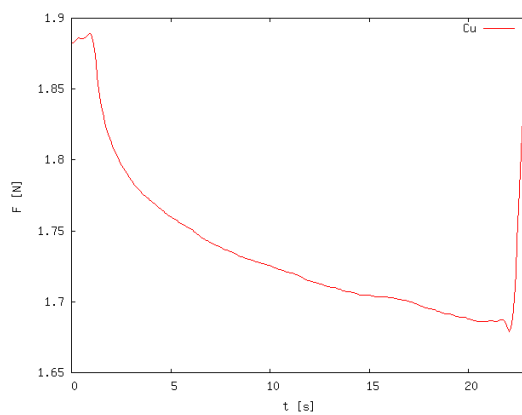
Pro měď se udává Youngův modul pružnosti  $123\text{GPa}$ , pro vlas asi  $130\text{MPa}$ .

♡IA<sub>TeX</sub>

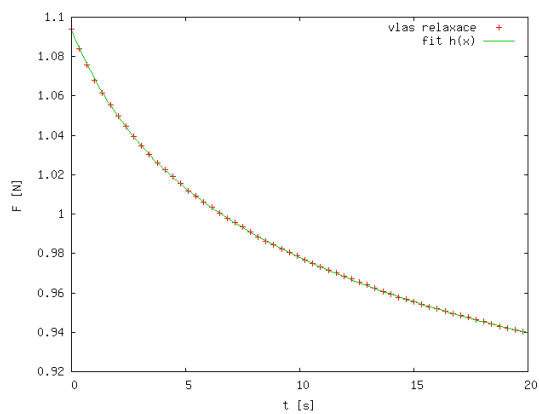
Obrázek 5: Relaxace vlasu v plastické oblasti.



Obrázek 6: Relaxace mědi v plastické oblasti.



Obrázek 7: Relaxace vlasu v plastické oblasti.



Obrázek 8: Relaxace mědi v plastické oblasti.

