

Struktura a vlastnosti pevných látek

Trhací zkouška vlasů

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje průběh deformace pružných těles v konkrétní situaci

Klíčová slova: síla, deformace, pevnost, pevné látky, modul pružnosti, relativní prodloužení, normálové napětí

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

- Úkol**
- Získejte od dvou osob celkem 10 vlasů.
 - Určete průměr vlasů d , maximální relativní prodloužení ε a mez pevnosti v tahu σ_p .
 - Diskutujte výsledky pro jednotlivé vlasy dvou různých osob a porovnejte je s hodnotami meze pevnosti různých materiálů uvedenými v tabulkách.
 - Odhadněte, jak těžké závaží by unesl cop spletený z vlasů, které má průměrný mladý Evropan na hlavě.

Pomůcky Dvakrát pět vlasů délky alespoň 20 cm od dvou různých osob, mikrometrické měřidlo přesnosti alespoň 0,01 mm, siloměr Vernier s rozsahem 10 N, samolepky, izolepa, pinzeta, tmavý a bílý papír formátu A4, pravítko.

Teoretický úvod Při měření využíváme základní vztahy pro deformaci pevného tělesa tahem. Normálové napětí je definováno vztahem $\sigma_n = \frac{F}{S}$ a relativní prodloužení pak $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$.

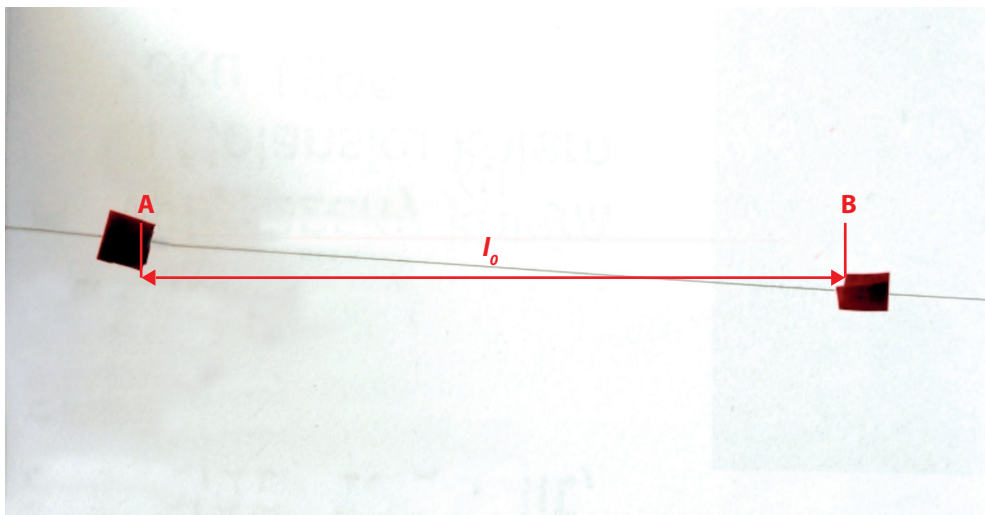
Za předpokladu zachování objemu vlasu při deformaci můžeme odvodit

$$\text{hledaný vztah: } \sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon).$$

Vypracování Nejprve změříme průměr vlasu. Při určování průměru vlasu nelze vlas sevřít mezi čelisti mikrometru, protože by se rozdrtil a při trhací zkoušce praskl v místě poškození. Seřídíme tedy nulu mikrometru, nastavíme vzdálenost 0,05 mm a polohu zafixujeme. Zkusíme, jestli vlas mezi čelistmi projde. Pokud ne, zvětšíme mezeru na 0,06 mm a pokračujeme tak dlouho, dokud vlas neprovlékne. Tak určíme průměr d s určitou nepřesností, např. $0,05 \text{ mm} \leq d \leq 0,06 \text{ mm}$. Za průměr vlasu budeme tedy brát střední hodnotu 0,055 mm.

Vlas je třeba uchytit na obou koncích natolik pevně, aby neprokluzoval a zároveň nedošlo k jeho zlomení či uskřípnutí. Uvedeným požadavkům vyhovuje např. přilepení konců vlasu ke dvěma kouskům papíru izolepou nebo jejich přilepení na pásku a následné omotání kolem špejlí. Mezi uchycenými konci by měla zůstat délka vlasu nejméně 10 cm. Při práci se světlými vlasy napomáhá viditelnosti tmavý papír jako podložka, pro tmavé vlasy pak bílý papír.

**Označení
původní
délky vlasu**



Trhací zkouška vlasů

Před vlastním měřením na vlas nalepíme pomocí pinzety dvě maličké samolepky (asi 10 cm od sebe), na nich můžeme tužkou vyznačit rysky, a tak při experimentu dobře uvidíme prodlužování. Jeden konec vlasu držíme rukou, ke druhému připojíme siloměr (zachytíme do kousku papíru či za špejli) a ve vodorovném směru na stole lehce napneme. Ze vzdálenosti samolepek určíme počáteční délku l_0 . Pomalu napínáme vlas siloměrem, sílu F zobrazujeme na počítači (nastavte délku měření cca 20 s). Délku vlasu l při přetržení určíme přímým pozorováním (vhodná je spolupráce dvou studentů). Zjištěné hodnoty délky a síly při přetržení dovolí vypočítat pevnost vlasu.

Nezapomeneme nastavit siloměr na nižší rozsah (10 N). K trhání vlasů není zapotřebí velké síly.

Úloha pro zvídavé Dokažte, že pro mez pevnosti v tahu platí $\sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon)$, kde S_0 je průřez vlasu před natáhováním, F je síla při přetržení a ε je relativní prodloužení.

Struktura a vlastnosti pevných látek

Trhací zkouška vlasů

Mirek Kubera

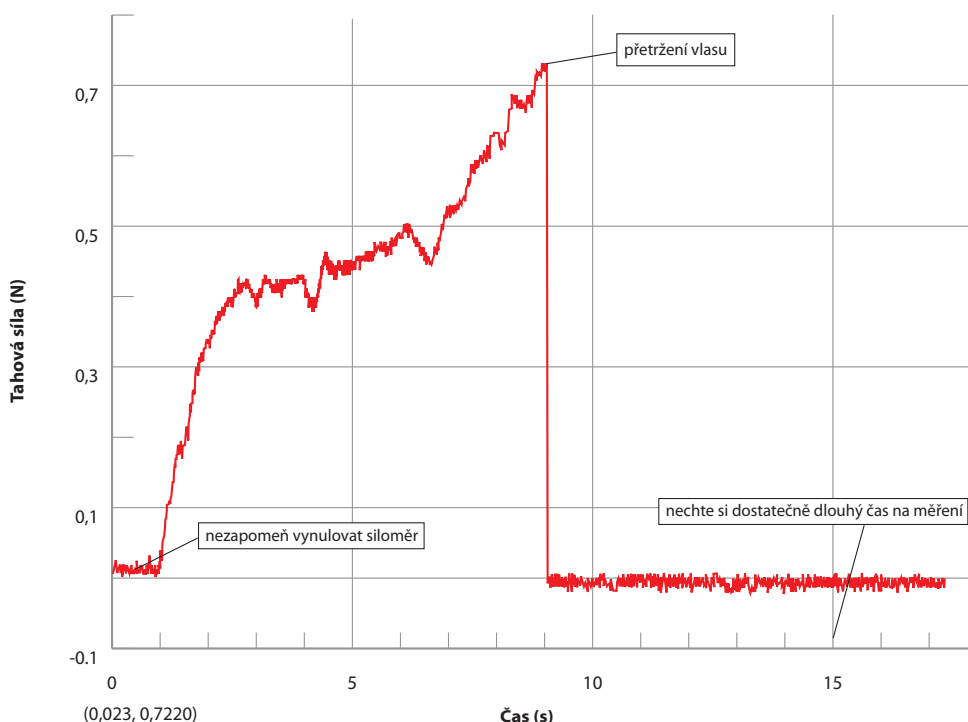
Výsledky Použitý vlas má průměr přibližně $d = 75 \mu\text{m}$.

a výpočty Jak můžeme vidět v přiloženém grafu, vlas se přetrhl při síle 0,72 N a jeho délka těsně před přetržením byla $l = 10,7 \text{ cm}$, zatímco původní délka $l_0 = 7,8 \text{ cm}$. Dosazením do níže odvozeného vztahu (4) dostáváme výsledek $\sigma_p = 223 \text{ MPa} = 233 \text{ N/mm}^2$.

Výsledky dalších měření jsou v následující tabulce:

č. m.	$d (\mu\text{m})$	$l_0 (\text{cm})$	$l (\text{cm})$	$F (\text{N})$	$\varepsilon (\%)$	$\sigma_p (\text{N/mm}^2)$
1	85	13,8	17,5	1,0	27	224
2	105	21,6	30,5	1,4	41	227
3	75	8,4	11,0	1,2	31	356
4	75	7,8	10,7	0,72	37	223
5	80	7,0	12,2	0,92	74	320
6	80	7,7	13,1	0,70	70	237

Trhací zkouška vlasu



Při porovnání s běžnými materiály použijeme následující tabulku (převzato z wikipedia.cz):

látka	mez pevnosti v tahu (MPa)
hliník	40–50
měď	210
zlato	100
železo	350
nikl	140–195
stříbro	170
tantal	200
cín	15–200
titan	240–370
wolfram	550–620
zinek	110–200
ocel	400–2000



Trhací zkouška vlasů

Porovnání s přírodními materiály přinese druhá tabulka (převzato z wikipedia.cz):

látka	mez pevnosti v tahu (MPa)
bambus	265
beton	3
karbonové vlákno	5650
hedvábí pavouka	1200
kevlar	4000
borovicové dřevo	40

Lidský vlas je oproti oceli méně pevný, srovnatelný je naopak s mědí či stříbrem.

Cop o tloušťce 2 cm má asi 60 000 vlasů, což odpovídá maximální síle 43 kN. Teoreticky je možné po copu vyšplhat do věže. Traduje se dokonce, že se dříve zvedaly do zvoníc těžké zvony na provazech upletených z lidských vlasů.

Průměrný Evropan má na hlavě přes 100 000 vlasů, jeho cop by tak mohl teoreticky unést až 10 tun.

Odvození vztahu – úloha pro zvědavé Při měření využíváme základní vztahy pro deformaci pevného tělesa tahem. Normálové napětí je definováno vztahem $\sigma_n = \frac{F}{S}$ (1) a relativní prodloužení pak $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$ (2). F je síla působící na vzorek a S jeho příčný průřez, l a l_0 jsou délky vzorku při namáhání a bez zatížení.

Při odvozování vztahu pro mez pevnosti vycházíme z předpokladu, že vlas má téměř po celé délce tvar válce, který při deformaci tahem zachovává svůj objem. Napíšeme tedy $V = V_0$, kde V_0 vyjadřuje objem vlasu před deformací. Při známém průřezu vlasu (měříme mikrometrem) pak dostáváme $S \cdot l = S_0 \cdot l_0$ (3). Vezmeme vztah pro normálové napětí a napíšeme jej pro mez pevnosti (F znamená sílu při přetržení a S průřez při přetržení). Tuto

neznámou hodnotu nahradíme z (3) výrazem $S = S_0 \cdot \frac{l_0}{l}$. Uvědomíme-li si, že $1 + \varepsilon = l/l_0$,

dostáváme hledaný vztah $\sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon)$. (4)

- Poznámky**
- upevnění pomocí papíru a izolepy je spolehlivé, lze jej však řešit i jinak (např. <http://www.vernier.cz/video/co-muze-viset-na-vlasku>),
 - je nutné měřit průměr každého trhaného vlasu (mohou se od sebe lišit i vzorky od jedné osoby – např. 85–105 μm),
 - přesnější měření tloušťky vlasu by bylo pomocí difrakce nebo interference, což může být předmětem samostatné laboratorní úlohy.
 - převodní vztah: 1 MPa = 1 N/mm²
 - obtížná manipulace s malými předměty

Další odkazy <http://21století.cz/blog/2008/05/20/veda-odhaluje-pohadkova-kouzla/>
<http://www.zbozi-vlasy.cz/Prodej-vlasu-c379.html>