

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I.

úloha č. 11.....

Název: Dynamická zkouška deformace látek v tlaku.....

Pracoval: Jakub Michálek..... stud. skup. 15..... dne: 24. dubna 2009.....

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
	max. 20	

Posuzoval:..... dne.....

Úkoly

1. Změřte tuhost aparatury K .
2. Proved'te dynamickou zkoušku deformace v tlaku přiloženého vzorku.
3. Výsledek dynamické zkoušky v tlaku graficky znázorněte a určete mezní napětí $\sigma_{0,2}$ a σ_U .

1 Teorie

Při tlaku silou F na vzorek pevné látky se zvyšuje jeho průřez (původně $S_0 = \pi d^2/4$, kde d značí původní průměr vzorku) a snižuje se jeho výška (původně l_0). Podle [1] definujeme smluvní napětí vztahem $\sigma = \frac{F}{S_0}$ a relativní deformaci vztahem $\varepsilon_0 = \frac{\Delta l}{l_0}$, kde Δl značí prodloužení vzorku z nezatíženého stavu.

Pro malé relativní deformace lze uvažovat přímou úměru mezi napětím a relativní deformací, což vyjadřuje Hookův zákon

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

kde E značí modul pružnosti vzorku; to platí až po mez úměrnosti σ_U .

Při vyšších relativních deformacích už úměra neplatí a při napětí větším než mez pružnosti σ_E se už vzorek po uvolnění nevrací na klidovou výšku l_0 . Takovou deformaci nazýváme plastickou a charakterizuje ji napětí $\sigma_{0,2}$, při kterém pro plastickou deformaci platí $\varepsilon_{pl} = 0,2\%$. Prakticky ji získáme jako průsečík závislosti $\sigma(\varepsilon)$ s posunutou přímkou, která je rovnoběžná s elasticou aproximací a protíná vodorovnou osu ve vzdálenosti $0,2\%$ od průsečíku elastické deformace.

Síla působící na vzorek je přímo úměrná výstupnímu napětí U na tenzometru

$$F = \alpha U, \quad (2)$$

a při stabilizovaném napájení tenzometru stejným napětím $5,5\text{ V}$ je $\alpha = 50\text{ N mV}^{-1}$. Změřená deformace bude převyšovat skutečnou deformaci vzorku, protože zahrnuje i deformaci aparatury. Musíme proto provést opravu na tuhost aparatury K , kterou získáme z předpokladu elastické deformace aparatury na zcela tuhém (nebo žádném) vzorku

$$F = K |\Delta l_A|, \quad (3)$$

měřidlo	před měřením		po měření	
	výška [cm]	průměr [cm]	výška [cm]	průměr [cm]
posuvné měřidlo	$1,005 \pm 0,005$	$0,750 \pm 0,005$	$0,960 \pm 0,005$	$0,765 \pm 0,005$
mikrometr	$1,007 \pm 0,001$	$0,748 \pm 0,001$	$0,959 \pm 0,001$	$0,765 \pm 0,001$

Tabulka 1: Rozměry vzorku před měřením a po něm

kde Δl_A značí posunutí aparatury. Posunutí aparatury je přímo úměrné času (motor se otáčí konstantní úhlovou rychlostí)

$$\Delta l = v_d t, \quad (4)$$

kde v_d značí rychlosti posuvného podstavce, kterou určíme z frekvence $f = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ a zdvihu $h = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

$$v_d = fh. \quad (5)$$

Kombinací (2) – (5) získáváme přímou úměru

$$U = C(t - t_0), \text{ kde } C = \frac{Kfh}{\alpha}. \quad (6)$$

Chyby odvozených veličin určuji podle Gaussova zákona přenosu chyb.

2 Výsledky měření

Podmínky měření

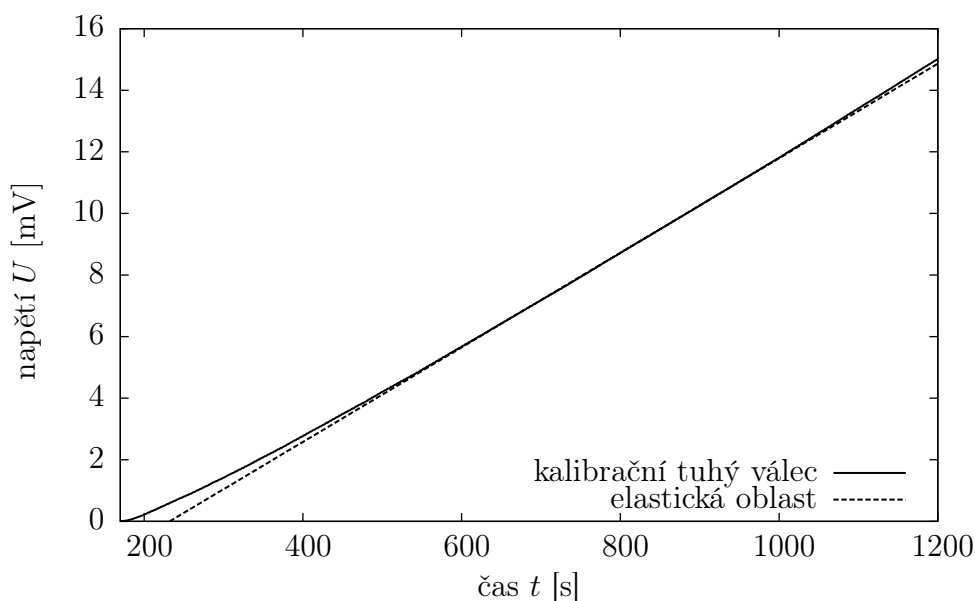
Z měřených podmínek má zde význam jenom teplota $T = (24,8 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$.

Rozměry vzorku

Měřil jsem vzorek ze směsi cín a olovo ve stejném zastoupení. Každé měření jsem opakoval třikrát, ale hodnoty se neměnily. Měřil jsem nejprve posuvným měřidlem a potom mikrometrem (tab. 1). Po deformaci měl nezatížený vzorek o $(2,3 \pm 0,2) \%$ větší průměr a o $(4,8 \pm 0,1) \%$ menší výšku.

Měření tuhosti aparatury

Na obr. 1 jsem znázornil závislost napětí na čase; směrnici přímky jsem určil graficky na $C = (1,54 \pm 0,01) 10^{-5} \text{ V s}^{-1}$. Chybu jsem odhadl s ohledem na další vlivy, které do měření mohou vstupovat, např. nepřesnost zadaných



Obrázek 1: Kalibrační tuhý válec, u něhož pozorujeme postupný náběh na elastickou oblast, prokládám ve střední oblasti přímkou se směrnici $C = (1,536 \pm 0,001) \cdot 10^{-5} \text{ V s}^{-1}$, kterou využijeme k opravě na aparaturu

konstant, teplotní závislost materiálu; pokud bychom uvažovali pouze chybu statistickou, dostali bychom nesmyslně přesný výsledek. Chyba měřeného napětí je podle návodu k přístroji řádu 10^{-3} mV a lze ji tedy zanedbat.

Tuto závislost lze dostatečně dobře považovat za lineární na měřeném rozsahu sil. Dosazením do (6) vypočteme

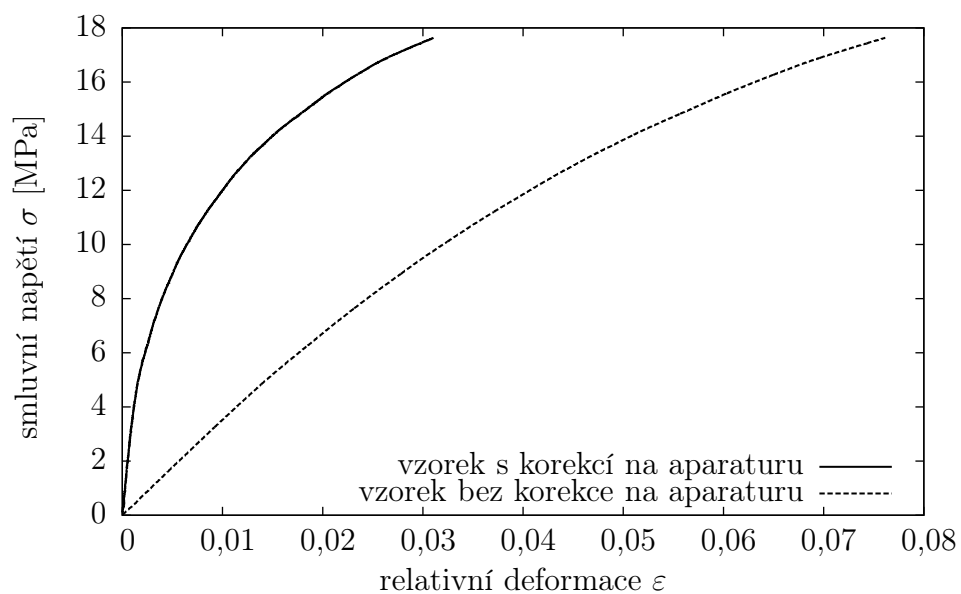
$$K = (1,71 \pm 0,01) \cdot 10^6 \text{ N m}^{-1}.$$

Dynamická zkouška vzorku

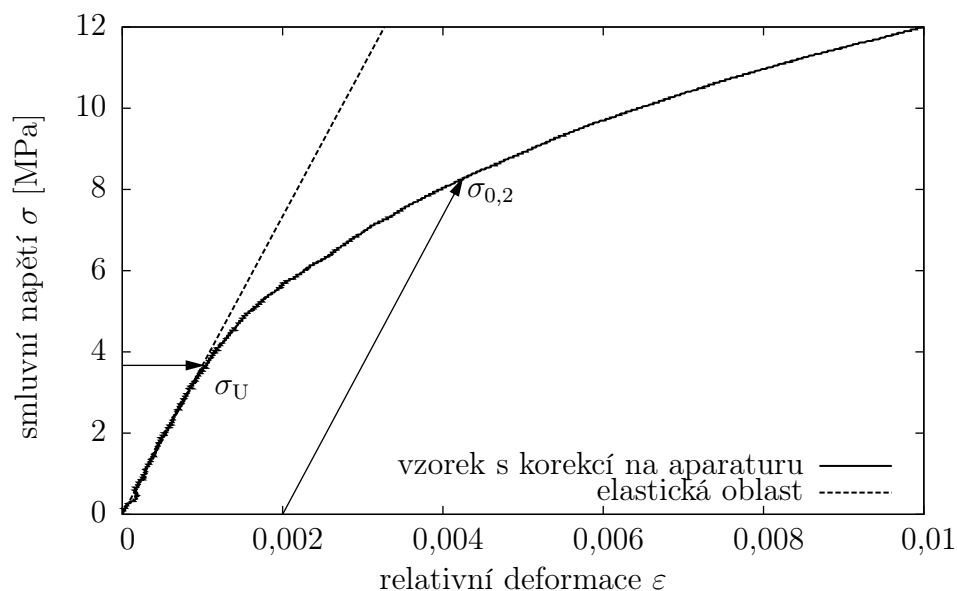
Od naměřené deformace musíme odečíst deformaci aparatury, kterou budeme předpokládat úměrnou síle, jak popisuje teorie.

Obr. 2 ukazuje, že oprava na aparaturu má velký význam; nelze se také divit, protože aparatura je vyrobená z (možná jen o něco) tužšího materiálu s větším průřezem, ale zato má větší výšku.

Na obr. 3 jsem znázornil závislost smluvního napětí na relativní deformaci. Pro malé relativní deformace dostáváme přibližnou úměru jak předpovídá Hookův zákon. Mez úměrnosti jsem stanovil odhadem z grafu na $\sigma_U = (3,6 \pm 0,4) \text{ MPa}$. Velkou chybou vystihuji fakt, že jsem prováděl jenom jedno měření vzorku a že pro σ_U nepoužívám přesnou definici.



Obrázek 2: Porovnání křivky bez opravy a s opravou na aparaturu ukazuje na nezbytnost opravy



Obrázek 3: Závislost smluvního napětí na relativní deformaci, která je v elastické oblasti proložena přímkou (viz text); pomocí rovnoběžky jsem určil mez $\sigma_{0,2}$ a σ_U jsem odhadl z grafu.

Mezní napětí jsem sestrojil podle návodu v teorii a vypočetl $\sigma_{0,2} = (8,2 \pm 0,2)$ MPa. Chybu jsem odhadl z chyby tuhosti aparatury K a přesnosti měření délek, napětí a konstant zadaných bez chyb.

Modul pružnosti E určím z grafu na obr. 3 podle vztahu (1) na

$$E = (3,67 \pm 0,05) \text{ GPa},$$

kde chyba pochází z chyby určení tuhosti aparatury K a přesnosti měření rozměrů vzorku.

3 Diskuse

Systematická i statistická chyba napětí byla zanedbatelná. Chyba určení rozměru byla značná, protože i při maximální hodnotě je rozdíl výšek válců srovnatelný s chybou určení výšky válce.

Tuhost aparatury Aparatura splňuje přibližně Hookův zákon na měřeném rozsahu sil, nicméně jak ukazuje obr. 1, závislost je konkávní a do veličin na jejím základě vypočítaných může vnést značnou chybu, a proto jsem u všech odvozených veličin chybu spíš nadhodnocoval. Korekce na aparaturu má zásadní význam, neboť aparatura se deformuje víc než samotný vzorek.

Nasedání na vzorek Pokud začínáme měření bez zatížení, nepozorujeme okamžitý přechod na lineární funkci s dobře definovanou směrnici, ale pozvolný náběh způsobený nerovnostmi na povrchu vzorku. Tuto vadu lze odstranit, pokud počáteční úsek ignorujeme.

Opakované měření Materiály se nechovají stejně, pokud je namáháme dvakrát za sebou. Jak ukázalo měření rozměrů vzorku před zatížením a po zatížení, rozměry se mění, a tak se mění i závislost napětí na relativní deformaci. Stejně tak aparatura bude mít jiný průběh závislosti napětí na deformaci při druhém měření než při kalibraci.

Dynamická zkouška Přesnost měření by se možná zlepšila, pokud bychom prováděli korekci přímo odečítáním prodloužení vypočteného ze síly podle inverze kalibrační křivky, nicméně s poukázáním na předchozí odstavec to nelze tvrdit jistě. Obzvláště důležité je uvědomit si, že systematická chyba vzniklá měřením na aparatuře převyšuje měřené prodloužení vzorku, a chyba v jejím určení pak má zásadní vliv na určení prodloužení vzorku.

Mez úměrnosti a mez 0,2 Mez úměrnosti jsem určil podle grafu odhadem, a proto její přesnost nelze považovat za příliš vysokou. Mez 0,2 jsem vypočetl stanoveným postupem a její přesnost je srovnatelná s přesností modulu pružnosti (plyne z jejího výpočtu).

Porovnání s tabelovanými hodnotami Tabulky [2] uvádějí pro mez úměrnosti hodnotu 10 MPa (cín), resp. 5 MPa pro olovo, takže moje měření mezi úměrnosti se pohybuje pod tímto rozmezím. To ještě nic nevyovídá, protože z vlastností jednotlivých kovů nelze dost dobře uvažovat na vlastnosti jednotlivých kovů. (Mez 0,2 neudávají.) Pro modul pružnosti uvádějí 20 GPa (cín), resp. 5 GPa (olovo).

Všechny tabelované hodnoty se týkají modulu pružnosti v tahu, takže porovnání hodnot je pouze přibližné.

4 Závěr

Naměřil jsem tuhost aparatury $K = (1,71 \pm 0,01) \cdot 10^6 \text{ N m}^{-1}$ a výsledek dynamické zkoušky v tlaku na vzorku po provedení korekce na aparaturu jsem znázornil na obr. 3. Naměřil jsem modul pružnosti $E = (3,67 \pm 0,05) \text{ GPa}$, mezní napětí $\sigma_{0,2} = (8,2 \pm 0,2) \text{ MPa}$ a mez úměrnosti $\sigma_U = (3,6 \pm 0,4) \text{ MPa}$.

Chyby jsou nejspíš vyšší než zjištěné pouhým statistickým zpracováním a rozumným odhadem systematických chyb, protože některé vlivy (např. opakované stlačování aparatury) odhadnout nešly a konstanty nebyly zadány s chybami.

Reference

- [1] Studijní text k úloze XI.
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
- [2] Jiří Mikulčák a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Praha: Prometheus, 2003.