Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.XI

Název: Dynamická zkouška deformace látek v tlaku

Pracovala: Jana Ringelová stud. skup. F/1-Y/15 dne 5.5.2005

Odevzdal dne: .... vráceno: ....

Odevzdal dne: .... vráceno: ....

Odevzdal dne: ....

Posuzoval:..................................... dne .... výsledek klasifikace ....

Připomínky:

Pracovní úkoly

1. Změřte tuhost aparatury K.
2. Proveďte 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.

Teorie a popis metod měření

Při působení na vzorek pevné látky tlakem (nebo tahem) dochází k jeho deformaci. Podle [1] se definují následující veličiny:
skutečné napětí (vztaženo ke skutečnému průřezu S vzorku)

$$\sigma' = \frac{F}{S}, \tag{1}$$

kde F je působící síla. Tzv. smluvní napětí se definuje vzhledem k původnímu průřezu S_0 nedeformovaného vzorku vztahem

$$\sigma = \frac{F}{S_0}. \tag{2}$$

Pro relativní deformaci platí

$$\varepsilon_0 = \frac{l - l_0}{l_0}. \tag{3}$$

Obecně se kovové materiály chovají tak, že nejprve je relativní deformace úměrná napětí. (Chování látky popisuje Hookův zákon.) To platí až po tzv. mez úměrnosti σ_U. Až do dosažení meze pružnosti σ_E deformace vzorku po odstranění napětí klesá na nulovou hodnotu. Za touto mezí již vzorek po odtížení vykazuje trvalou deformaci (plastická deformace).
Mez pružnosti je vystižena bodem, kde plastická deformace dosahuje hodnoty 0,2%. Napětí $\sigma_{0,2}$ příslušné této hodnotě plastické deformace je označováno jako mez 0,2. Tu lze podle [1] přibližně určit přímo ze zatěžovacího diagramu , protože platí

$$|\varepsilon_0| = |\varepsilon_{el}| + |\varepsilon_{pl}|, \tag{4}$$

kde ε_{el} je hodnota elastické a ε_{pl} hodnota plastické deformace.
Dynamickou zkoušku deformace v tlaku provádíme na přístroji umožňujícím přesnou detekci působící síly při konstantním stlačování vzorku. Stlačování zajišťuje elektromotor roztáčející šroub, který působí na vzork. Stoupání závitu je s, frekvence otáčení f. Působící ísla je zaznamenávána pomocí kompenzačního zapisovače Servogor, který ji registruje na svitek papíru posunující se konstantní rychlostí v_p.Zvolenému rozsahu zapisovače odpovídá konstanta α = 10N/dilek. Při vyhodnocování tlakové zkoušky je třeba provádět korekci na tuhost apararury. Tu samozřejmě považujeme za elastickou, a proto

$$F = K \cdot |\Delta l_A|, \tag{5}$$

kde K je tuhost aparatury a l_A její délková změna. F je přenášená síla. Hodnotu konstanty K stanovíme provedení dynamické zkoušky v tlaku s kalibračním vzorkem zhotoveným z materiálu o vysoké hodnotě modulu pružnosti a s příčnými rozměry podstatně většími, než jsou rozměry zkoumaného vzorku. Pak lze kalibrační vzorek pokládat za absolutně tuhý. Výsledkem měření tuhosti aparatury je kalibrační křivka $y(x_2)$, přičemž

$$F = \alpha \cdot y. \tag{6}$$

Dále platí

$$|\Delta l_A| = \beta \cdot x_2 = \frac{sf}{v_p} \cdot x_2. \tag{7}$$

Tuhost aparatury K lze tedy stanovit lineární regresí (popsáno v [2]) pro vztah

$$y = K\frac{\beta}{\alpha}x. \tag{8}$$

Při síle, které odpovídá výchylka y, je změna délky vzorku $|\Delta l|$ úměrná rozdílu $(x_1 - x_2)$, přičemž při dynamické tlakové zkoušce prováděné na vzorku získáme zapisovačem závislost $y(x_1)$. Pro tuto závislost jsou konstanty α a β určeny stejně jako v případě $y(x_2)$.

Naměřené hodnoty

Známe následující hodnoty:

- stoupání závitu $s = 0,75$mm
- frekvence otáčení $f = 0,6 \cdot 10^{-3}\mathrm{s}^{-1}$
- rychlost posuvu papíru v zapisovači $v_p = 0,167\mathrm{mm} \cdot \mathrm{s}^{-1}$
- konstanta úměrnosti mezi silou F působící na vzorek a výchylkou y na zapisovači $\alpha = 10$N/dilek
- konstanta vypočtená z předchozích hodnot podle vztahu (7) $\beta = 2,695$

Původní rozměry válečku

Měřeno mikrometrem. Výška válečku: $h_0 = (10,16 \pm 0,01)$mm
Průměr podstavy válečku:

d_0[mm]	6,40	6,42	6,43	6,42

$$d_0 = (6,42 \pm 0,01)\mathrm{mm}$$

Obsah podstavy válečku: $S = (32,4 \pm 0,1)\mathrm{mm}^2$

Určení tuhosti K aparatury

Ze vztahu (8) a z naměřených hodnot uvedených v tabulce 1 získáme lineární regresí koeficient $K\frac{\beta}{\alpha}$ v jednotkách N/cm. Body kalibrační křivky spolu s příslušnou regresní přímkou jsou v grafu 1. Hodnoty x_2 jsem měřila pravítkem, takže jejich chybu odhaduji na 0,1 cm. Pro odhad maximální chyby veličiny $K\frac{\beta}{\alpha}$ jsem provedla lineární regresi ještě pro dolní a horní mez hodnot x_2. Počítač zjistil následující údaje

sada hodnot	$K\frac{\beta}{\alpha}$	dolní mez $K\frac{\beta}{\alpha}$	horní mez $K\frac{\beta}{\alpha}$
x_2	4,909	4,900	4,918
dolní mez x_2	4,907	4,887	4,927
horní mez x_2	4,900	4,883	4,927

Vezmeme-li tedy maximální chybu, pak se hodnota $K\frac{\beta}{\alpha}$ pohybuje v intervalu (4,883;4,927). Zprůměrováním dostáváme

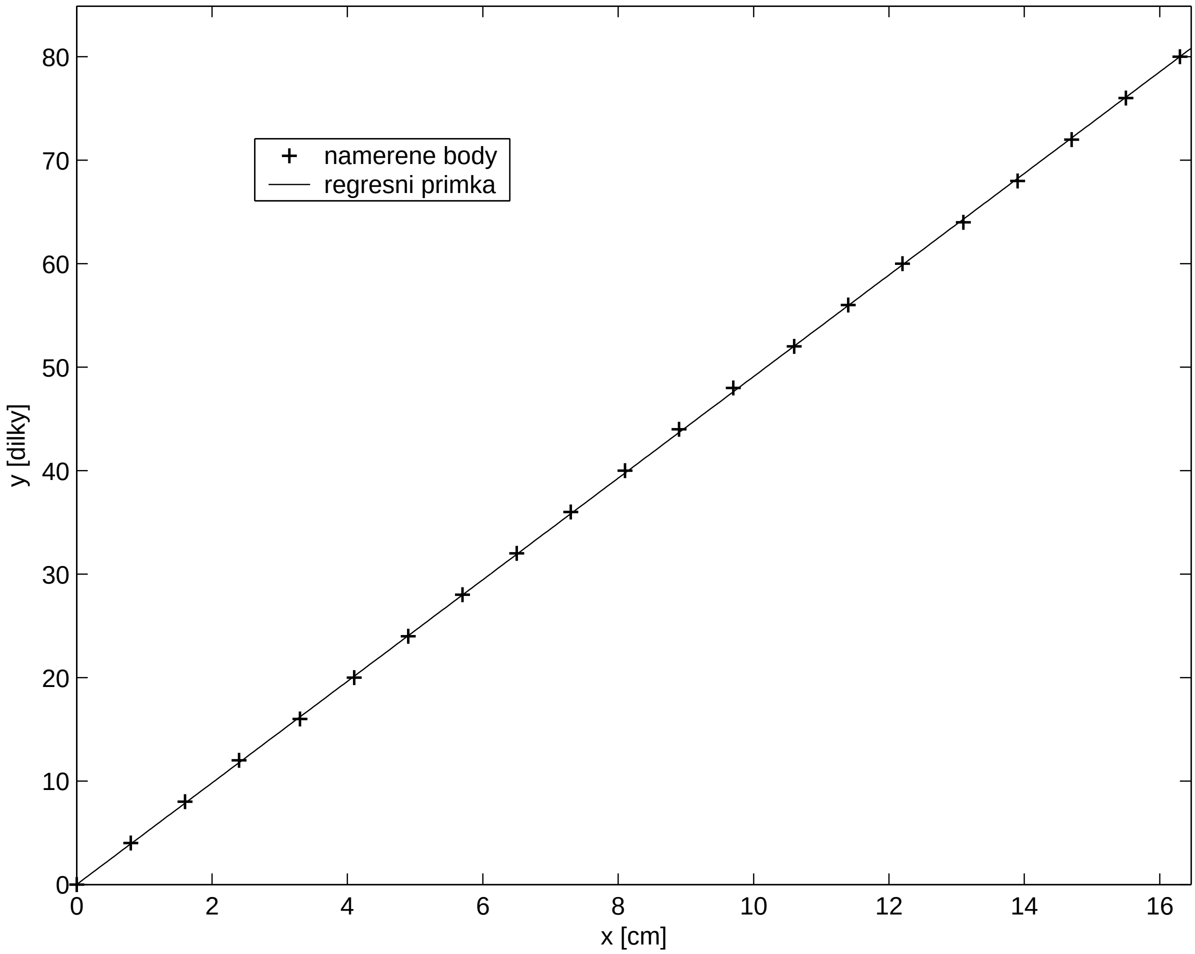
$$K\frac{\beta}{\alpha} = (4,91 \pm 0,02)\mathrm{dilek} \cdot \mathrm{cm}^{-1}.$$

Ze známých hodnot konstant α a β, jejichž chyba je zanedbatelná, a z pravidel pro určování chyb vypočtených veličin, popsaných například v [2], určíme

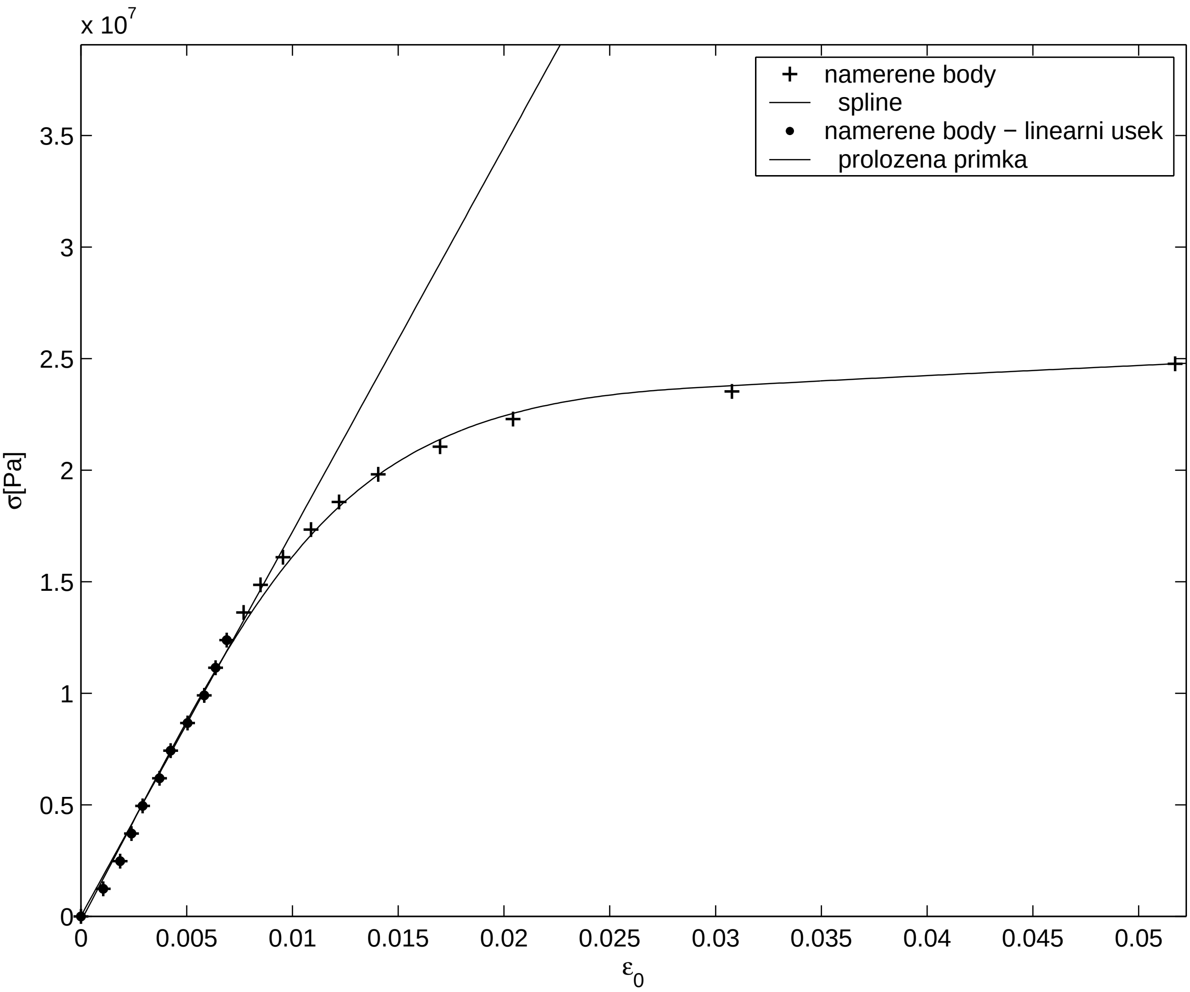
$$K = (1820 \pm 8)\mathrm{kN} \cdot \mathrm{m}^{-1}.$$

y [dilky]	x_1 [cm]	x_2 [cm]	$\varepsilon_0[10^{-3}]$	$\sigma[10^6\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^{-1}]$
0	0.0	0.0	0.00	0.00
4	1.2	0.8	1.06	1.24
8	2.3	1.6	1.86	2.48
12	3.3	2.4	2.39	3.72
16	4.4	3.3	2.92	4.95
20	5.5	4.1	3.71	6.19
24	6.5	4.9	4.24	7.43
28	7.6	5.7	5.04	8.67
32	8.7	6.5	5.84	9.91
36	9.7	7.3	6.37	11.15
40	10.7	8.1	6.90	12.38
44	11.8	8.9	7.69	13.62
48	12.9	9.7	8.49	14.86
52	14.2	10.6	9.55	16.10
56	15.5	11.4	10.88	17.34
60	16.8	12.2	12.20	18.58
64	18.4	13.1	14.06	19.81
68	20.3	13.9	16.98	21.05
72	22.4	14.7	20.42	22.29
76	27.1	15.5	30.77	23.53
80	35.8	16.3	51.72	24.77

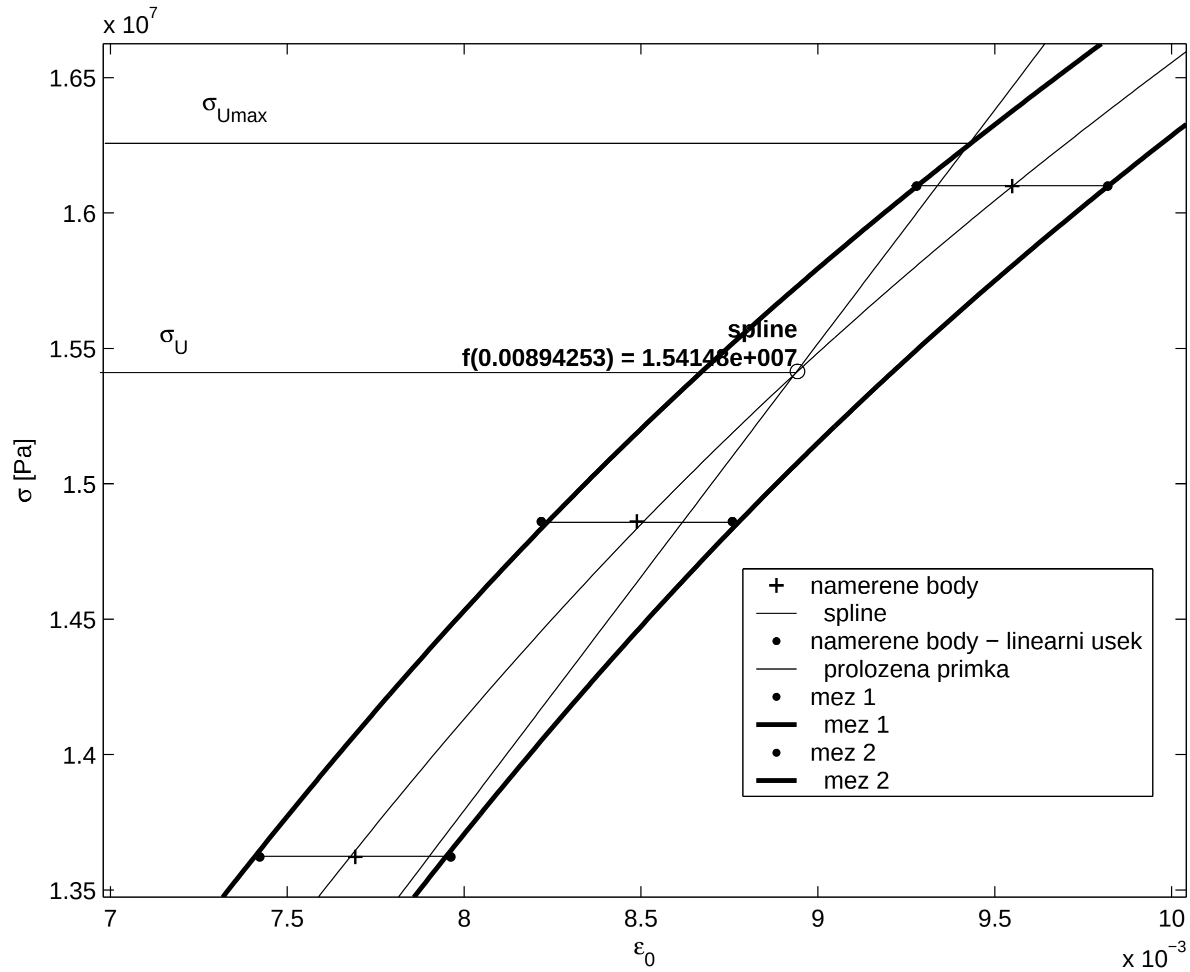
Tabulka 1: Naměřené hodnoty y, x_1, x_2 a vypočtené ε_0, σ.



Obrázek 1: Graf 1:Kalibrační křivka



Obrázek 2: Graf 2: Zatěžovací diagram



Obrázek 3: Určení meze úměrnosti

Grafické znázornění dynamické zkoušky v tlaku a určení σ_U a $\sigma_{0,2}$

Zápis dynamické tlakové zkoušky je na registračním papíře v příloze. Závislost $\sigma(\varepsilon))$ jsem vynesla do grafu 2. Všemi body grafu jsem proložila křivku. Několik prvních bodů leží na přímce. Mez úměrnosti σ_U jsem určila pomocí počítače, jak je znázorněno na obrázku 3. Chybu určení ε_0 jsem odhadla jako $s_{\varepsilon_0} = \frac{\beta}{h_0} \cdot s_x$. (Chybu určení h_0 oproti chybě s_x určení $x = x_1 - x_2$ zanedbávám.) Křivky mez 1 a mez 2 v obrázku zobrazují zatěžovací křivku posunutou o chybu s_{ε_0} veličiny ε_0 na obě strany. Z obrázku 3 je rovněž vidět způsob určení horní meze σ_{Umax} pro mez úměrnosti. Dolní mez meze úměrnosti není tak snadné určit, proto ji budu považovat za symetrickou.

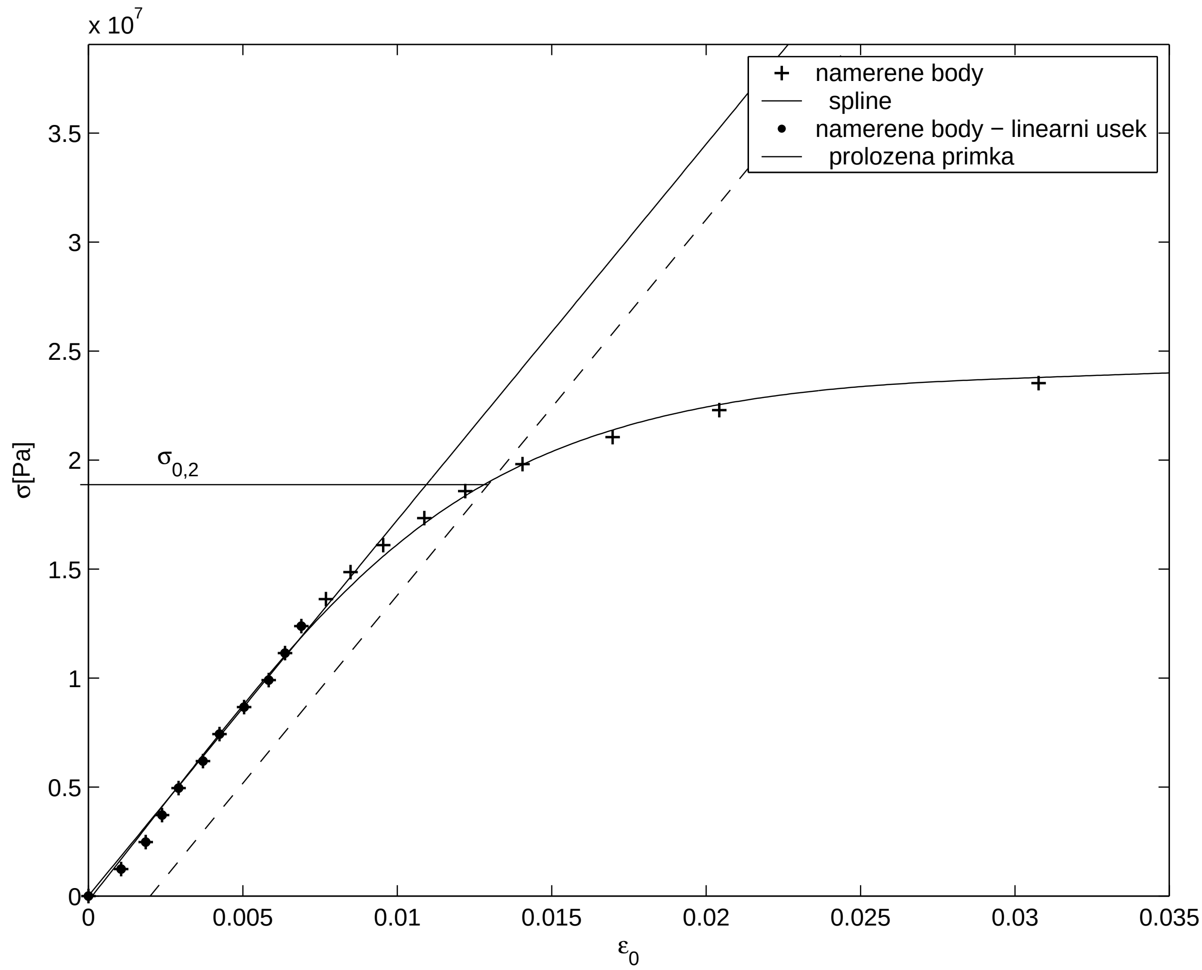
$$\sigma_U = (15,4 \pm 0,9)\mathrm{MPa}$$

Určení meze 0,2 je naznačeno na obrázku 4. Určení chyby meze 0,2 naznačuje obrázek 5.

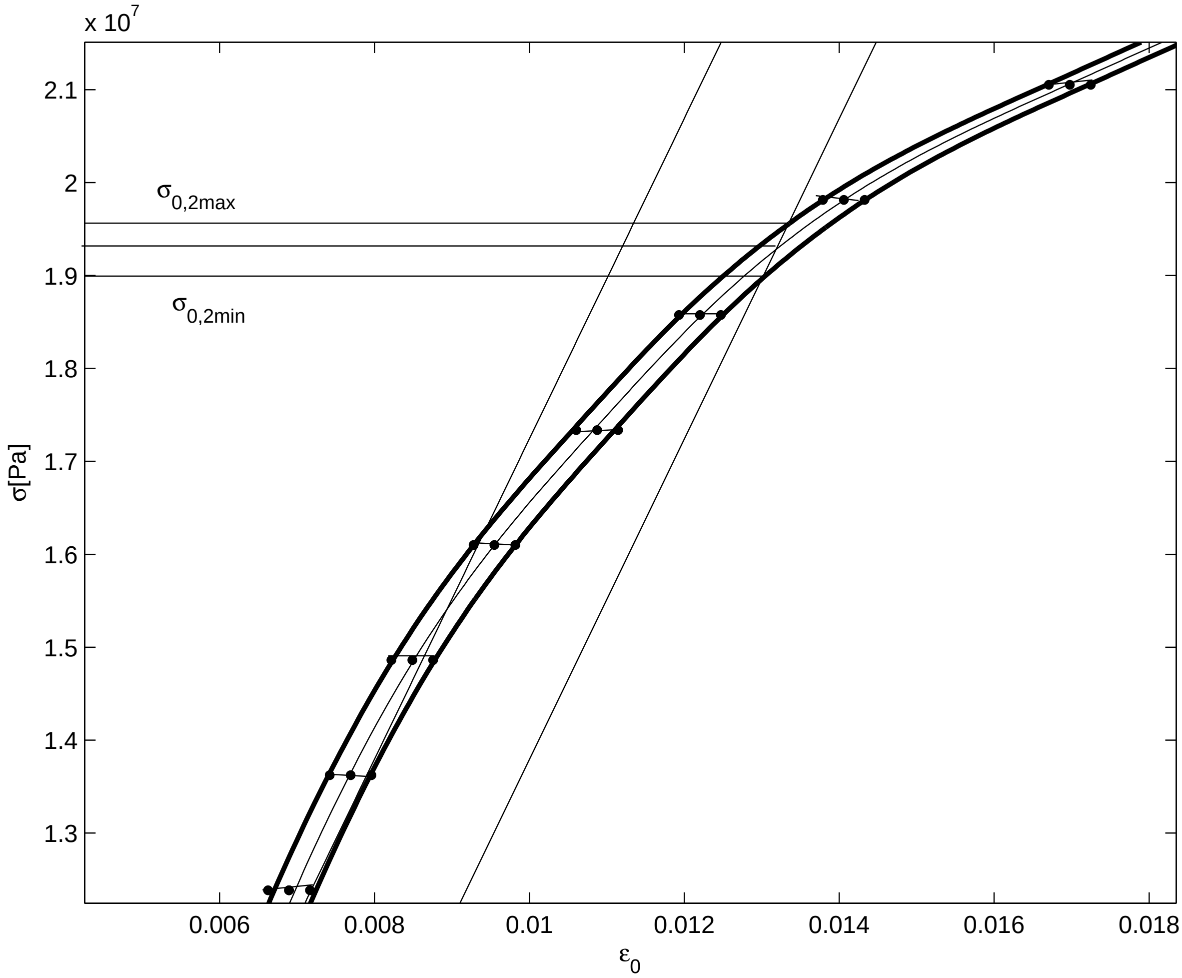
$$\sigma_{0,2} = (19,3 \pm 0,3)\mathrm{MPa}$$

Diskuse

Na zápisech tlakových zkoušek roste křivka nejprve méně strmě, až když síla dosáhne asi 200 N, je závislost lineární, jak předpovídá Hookův zákon. Je to způsobeno dosedáním



Obrázek 4: Určení meze 0,2



Obrázek 5: Určení chyby meze 0,2

ploch měřicí aparatury a dosedáním ploch vzorku na plochy podstavců. Jelikož tento jev nemá fyzikální význam, eliminovala jsem ho – lineární závislost jsem extrapolovala i pro menší hodnoty deformace, jak je naznačeno na registrační ch papírech. V tabulce 1 jsou uvedeny tyto extrapolované hodnoty.
Největší chyba je způsobena odměřováním hodnot z registračního papíru a chybou určení průměru válečku, který byl použit jako vzorek. Předpokládám, že chyba měření síly tenzometrickým odporovým snímačem je oproti nim zanedbatelná. Chyby Δl_A a σ jsou malé, naproti tomu je chyba deformace ε_0 velká, protože se v ní projevuje velká relativní chyba Δl.

Závěr

Proměřila jsem kalibrační křivku aparatury, která je znázorněna v grafu 1. Kalibrační křivka je v intervalu sil, ve kterém jsem prováděla tlakovou zkoušku, přímka. Tuhost aparatury je

$$K = (1820 \pm 8)\mathrm{kN} \cdot \mathrm{m}^{-1}.$$

Provedením tlakové dynamické zkoušky jsem ověřila platnost Hookova zákona při malých deformacích.
Zátěžový diagram jsem jako závislost $\sigma(\varepsilon_0)$ vynesla do grafu 2, ze kterého jsem odečetla mezní napětí – mez 0,2 a mez úměrnosti

$$\sigma_U = (15,4 \pm 0,9)\mathrm{MPa},$$

$$\sigma_{0,2} = (19,3 \pm 0,3)\mathrm{MPa}.$$

Reference

[1] Studijní text k Fyzikálnímu praktiku I, Úloha XII
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt111.htm

[2] J. Englich, prezentace k semináři Úvod do praktické fyziky
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni.zip