

FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH STUDIÍ
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



Experimentální metody v pružnosti a pevnosti

Protokol z měření

Lab.1: Ohyb přímého prizmatického nosníku

Martin Lipčej, Tomáš Jakubík
Skupina 4

Studijní obor: Mechatronika/Mechatronics
Zimní semestr 2014/2015

Měřeno v Liberci dne 9.10. 2014

Úvod

V úloze č.1 bylo cílem zhotovit hustoměr kapalin založený na principu odporové tenzometrie, výsledky ověřit teoretickými vztahy a srovnat výsledné hodnoty hustoty kapalin s tabulkovými hodnotami. Měření bylo založeno na sledování změny osového napětí ohybu tenkého prizmatického nosníku. S tímto nosníkem bylo v určité vzdálenosti (l_0) od středu tenzometru pevně upevněno těleso známého objemu (míček). Těleso bylo následně zcela ponořeno do kapaliny. Vzniklá vztlková síla způsobila deformaci nosníku, která byla nepřímo měřena pomocí změny odporu půlmůstkového zapojení páru odporových tenzometrů přilepených na horní a spodní ploše nosníku.

Elektrická odporová tenzometrie

Tenzometr slouží k elektrickému měření neelektrických veličin, jako je mechanické napětí na povrchu deformovaného předmětu. Používá se například analýza namáhání konstrukčních prvků, součástí i celých konstrukcí. Jedná se o pasivní čidla nalepená na povrchu součásti (páskové tenzometry) nebo pevně spojená s měřeným tělesem, která převádějí mechanickou deformaci na změnu elektrického odporu. Pro lepší teplotní kompenzaci se zpravidla zapojují do Wheatstoneova můstku, nebo alespoň do polomostu.

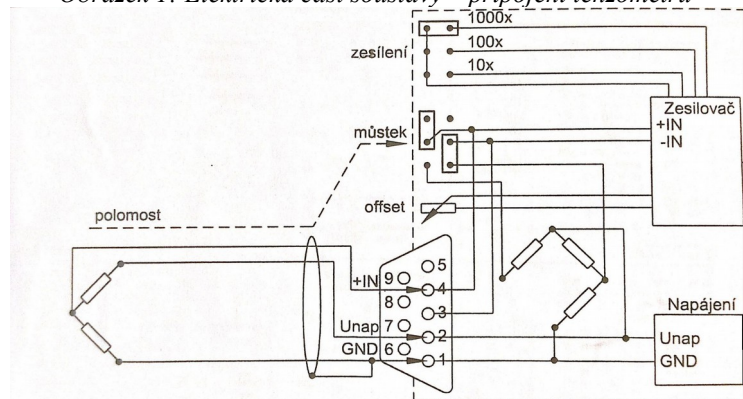
Popis měření

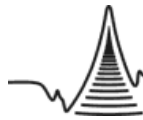
Pro výběr správného typu tenzometru byl před začátkem měření byl zjištěn materiál nosníku (tj. ocel). Další určené parametry měřicího řetězce a dané mechanické konstanty jsou uvedeny v Tabulce 1. Tenzometry byly umístěny podélně, rovnoběžně s osou nosníku blízko bodu vetknutí, kde dochází k největší deformaci, viz Obrázek 2. Přípravek byl připojen sériovým rozhraním k měřicí kartě pracující se stolním počítačem. Při ponoření míčku připevněného k nosníku do kapaliny odpovídalo změřené vstupní napětí po ustálení právě vychýlení tenzometrového polomostu a tedy nepřímo hustotě dané tekutiny.

Tabulka 1: Parametry měřicího řetězce

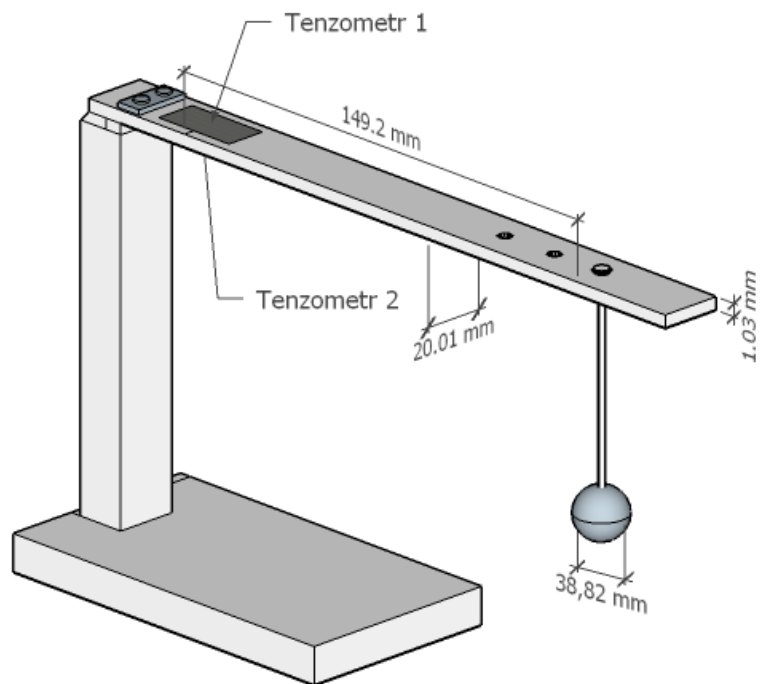
Elektrická část	
Napájecí napětí:	$U_N = 4 \text{ V}$
Zesílení signálu:	$\alpha = 1000$
Vzorkovací frekvence:	$f_{vz} = 1 \text{ kHz}$
Filtrace vstup. sig.:	$f_{filtr} = 5 \text{ Hz}$
Mechanická část	
Materiál nosníku:	Ocel
Young. mod. pruž.:	$E_{ocel} = 210 \text{ GPa}$
Výška nosníku:	$b = 1,03 \text{ mm}$
Šířka nosníku:	$h = 20,01 \text{ mm}$
Průměr míčku:	$d = 38,82 \text{ mm}$
Umístění míčku:	$l_0 = 149,2 \text{ mm}$
Typ tenzometrů:	1LY11-6/120
Gauge factor:	$k = 2,08$

Obrázek 1: Elektrická část soustavy – připojení tenzometrů





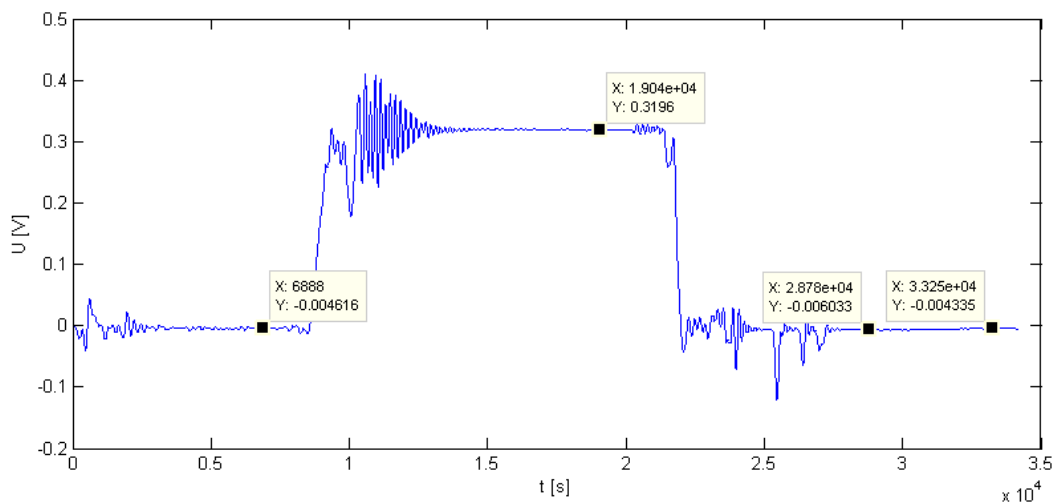
3D nákres experimentu



Obrázek 2: Upevnění tenzometrů a objektu známého objemu (míčku) k nosníku

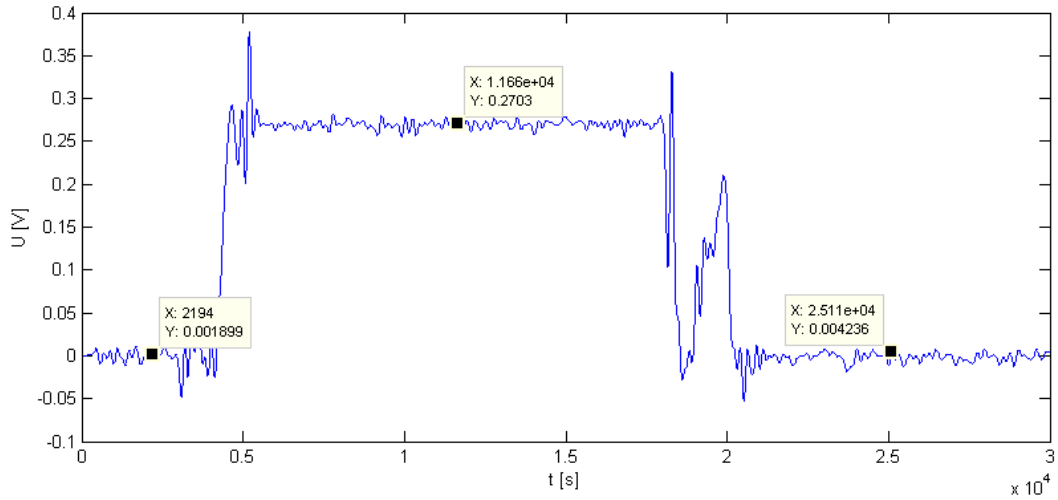
Naměřené hodnoty

1) Destilovaná voda



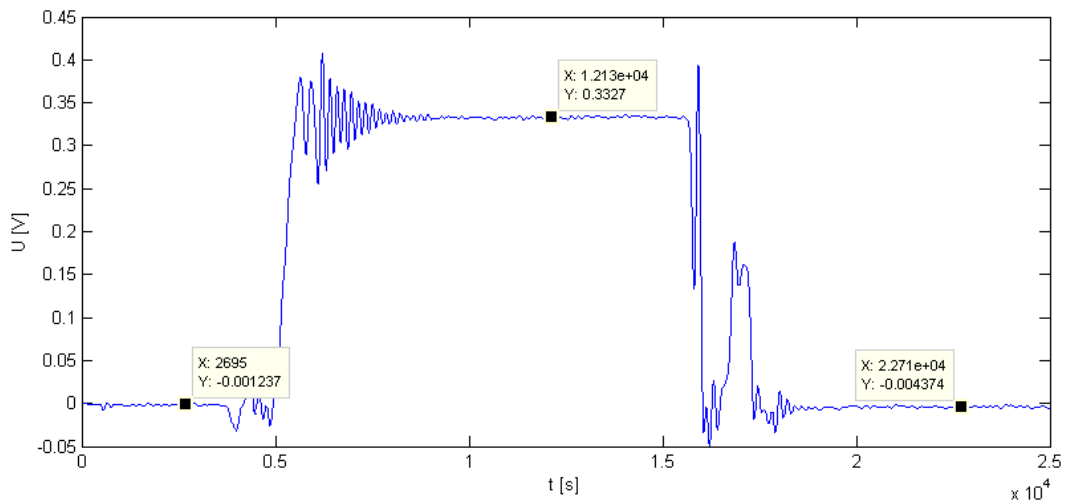
Obrázek 3: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase - Destilovaná voda

2) Technický líh



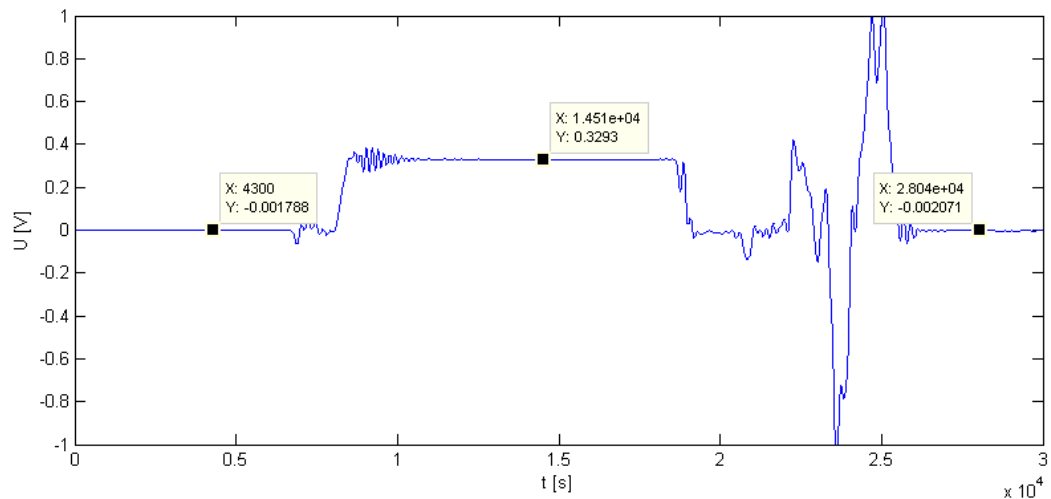
Obrázek 4: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase - Technický líh

3) Cola



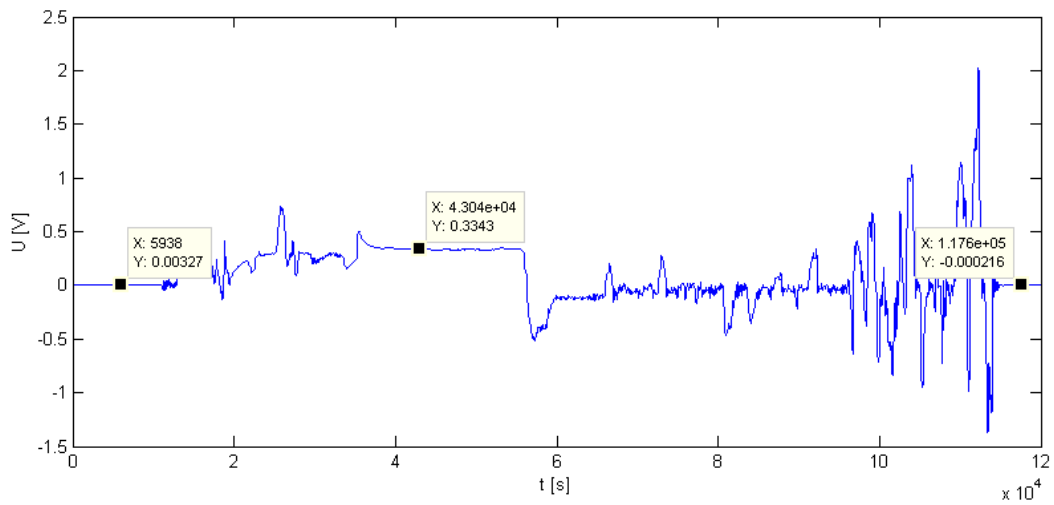
Obrázek 5: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase - Cola

4) Fridex G48



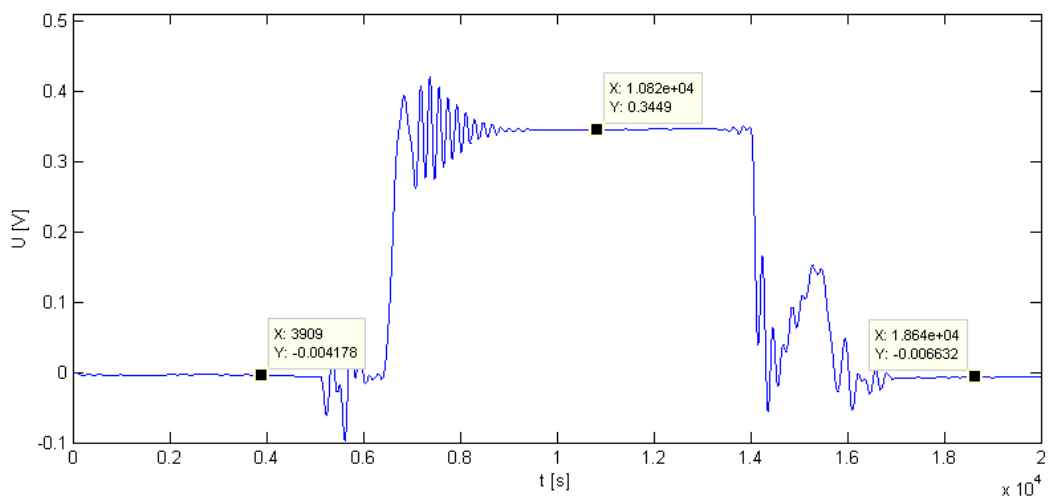
Obrázek 6: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase - Fridex G48

5) Tekuté mýdlo



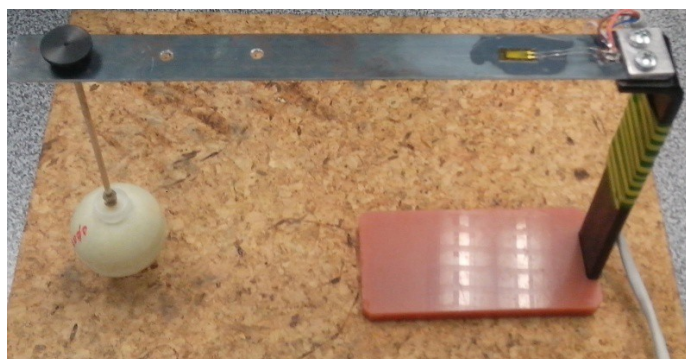
Obrázek 7: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase – Tekuté mýdlo

6) Čokoláda

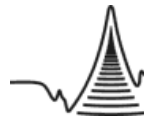


Obrázek 8: Závislost napětí vychýleného tenzometru na čase - Horká čokoláda

Fotografie přípravku



Obrázek 9: Fotografie použitého hustoměru



Zpracování naměřených dat

Výpočet deformace

$$\text{Deformace} \quad \varepsilon = \frac{6F \cdot l_0}{E \cdot b \cdot h^2} \quad \frac{\Delta U_m}{U_N} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \frac{k}{4} (2\varepsilon)$$

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \Delta U_m}{k \cdot U_N} = \frac{2 \cdot \Delta U_m}{k \cdot 4} \quad \Delta U_m \dots \text{měřené napětí}$$

Deformace nosníku pro destilovanou vodu:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \Delta U_m}{k \cdot U_N} = \frac{2 \cdot (0,3196 + 0,00462)}{1000} = \frac{2,084}{2,08 \cdot 4} = 77,9375 \mu\text{strain}$$

$$\text{Objem míčky} \quad V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi 0,01941^3 = 0,000030631 \text{ m}^3$$

$$\text{Vztlaková síla} \quad F = \frac{E \cdot \varepsilon \cdot b \cdot h^2}{6 \cdot l_0} \quad F = V \cdot \rho \cdot g = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g$$

Vztlaková síla pro destilovanou vodu:

$$F = \frac{E \cdot \varepsilon \cdot b \cdot h^2}{6 \cdot l_0} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 77,9375 \cdot 10^{-6} \cdot 20,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00103^2}{6 \cdot 0,1492} = 0,3881 \text{ N}$$

$$\text{Hustota} \quad \rho = \frac{F}{V \cdot g}$$

Hustota destilované vody:

$$\rho = \frac{F}{V \cdot g} = \frac{0,3881}{30,631 \cdot 10^{-6} \cdot 9,813} = 1291,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Korekce měření} \quad \alpha = \frac{\rho_{\text{tabulková}}}{\rho_{\text{změřená}}} = \frac{998}{1291,22} = 0,7729$$

$$\rho_{\text{korekce}} = \alpha \cdot \rho_{\text{změřená}} = 0,7729 \cdot 1291,22 = 998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Srovnání výsledků

Kapalina	ε [μstrain]	F [N]	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$] (změřeno)	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$] (korekce)	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$] (tab)	Absolutní odchylka ρ	Relativní odchylka ρ
Destilovaná voda	77,937	0,3881	1291,23	998	998	0	0%
Technický líh	64,519	0,3213	1068,91	826,17	820	6,18	1%
Cola	80,273	0,3997	1329,92	1027,91	1110	82,09	6%
Fridex G48	79,588	0,3963	1318,57	1019,14	1120	93,86	7%
Mýdlo	79,575	0,3962	1318,34	1029,07	-	-	-
Čokoláda	82,913	0,4179	1390,217	1074,51	-	-	-

Tabulka 2: Srovnání výsledků hustoty kapalin s tabulkovými hodnotami

Závěr

Na obr. 3-8 lze vidět, že po vytažení tělesa bylo snímané napětí zpravidla o několik setin voltu větší, než před ponořením, což bylo způsobené vahou kapaliny na povrchu míčku. Hustota destilované vody byla změřena na $1291,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$, tzn. s absolutní odchylkou $293,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ od předpokládané tabulkové hodnoty. Odchýlení je způsobené nepřesným měřením rozměrů nosníku a míčku, nedokonalým upevněním obou tenzometrů, nečistotami v kapalině, nebo defekty ocelového nosníku. V tab. 2 jsou proto uvedeny i výsledné hustoty kapalin při vztažení k tabulkové hodnotě destilované vody (opraveny koeficientem α). Relativní odchylka vznikla největší u Fridex G48, tj. 7%. Chyba mohla vzniknout mimo jiné například přidáním chemickými přísadami.

Také je nutné poznamenat, že měřená hustota mýdla nedopadla podle předpokladu. Nízká změřená hustota byla s největší pravděpodobností způsobena špatným nastavením offsetu před samotným měřením. Pokus byl opakován a offset napětí mohl být vynulován již při namočeném (zatíženém) míčku.

Prudké skoky znázorněné ve grafech byly způsobeny vibracemi po opětovném položení hustoměru na stůl a otíráním míčku.