



# ZPRÁVA O PROVEDENÉM MĚŘENÍ

## Experimentální metody v pružnosti a pevnosti

---

### Měření deformace a napjatosti tenkostěnné stěny tlakové nádoby

5. 12. 2015

Jiří Ešpandr  
Patrick Albrecht



# Zadání

Úkolem tohoto měření bylo změřit průběh axiální a obvodové deformace tlakové nádoby při náhlé změně vnitřního tlaku (otevření nádoby). Ty přepočítat na napětí, zjistit poměr mezi obvodovým a axiálním napětím, spočítat teoretické napětí pro oba směry. Z přepočítaného obvodového napětí určit tlak v nádobě před otevřením. V tomto měření byla jako tlaková nádoba použita hliníková plechovka energetického nápoje.

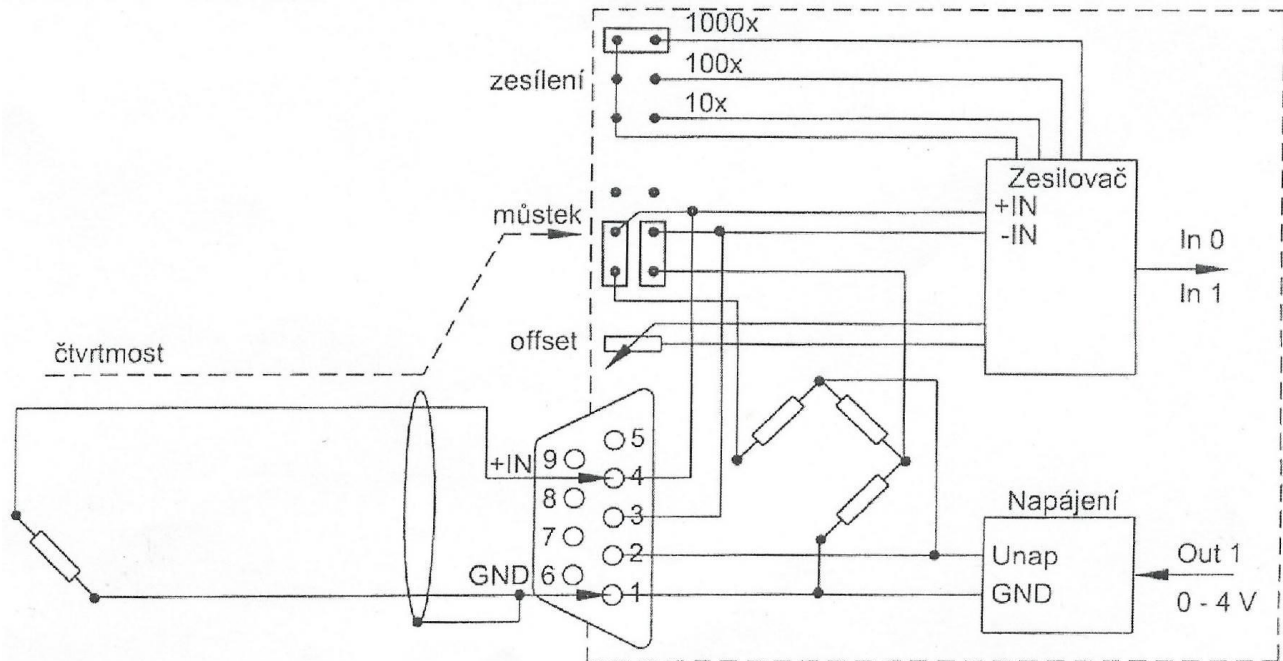
## Postup měření

Na bok plechovky jsme připevnili pomocí lepidla měřící růžici. Jedná se o typ tenzometru, kde jsou přes sebe umístěny tři tenzometry vzájemně pootočené o  $45^\circ$ . Jeho velkou výhodou je, že v jednom bodě měří axiální, radiální a šikmé (svírá úhel  $45^\circ$  mezi axiální a radiální osou) deformace. V tomto měření jsme měřili na axiálním a radiálním tenzometru, „šikmý“ tenzometr nebyl použit.

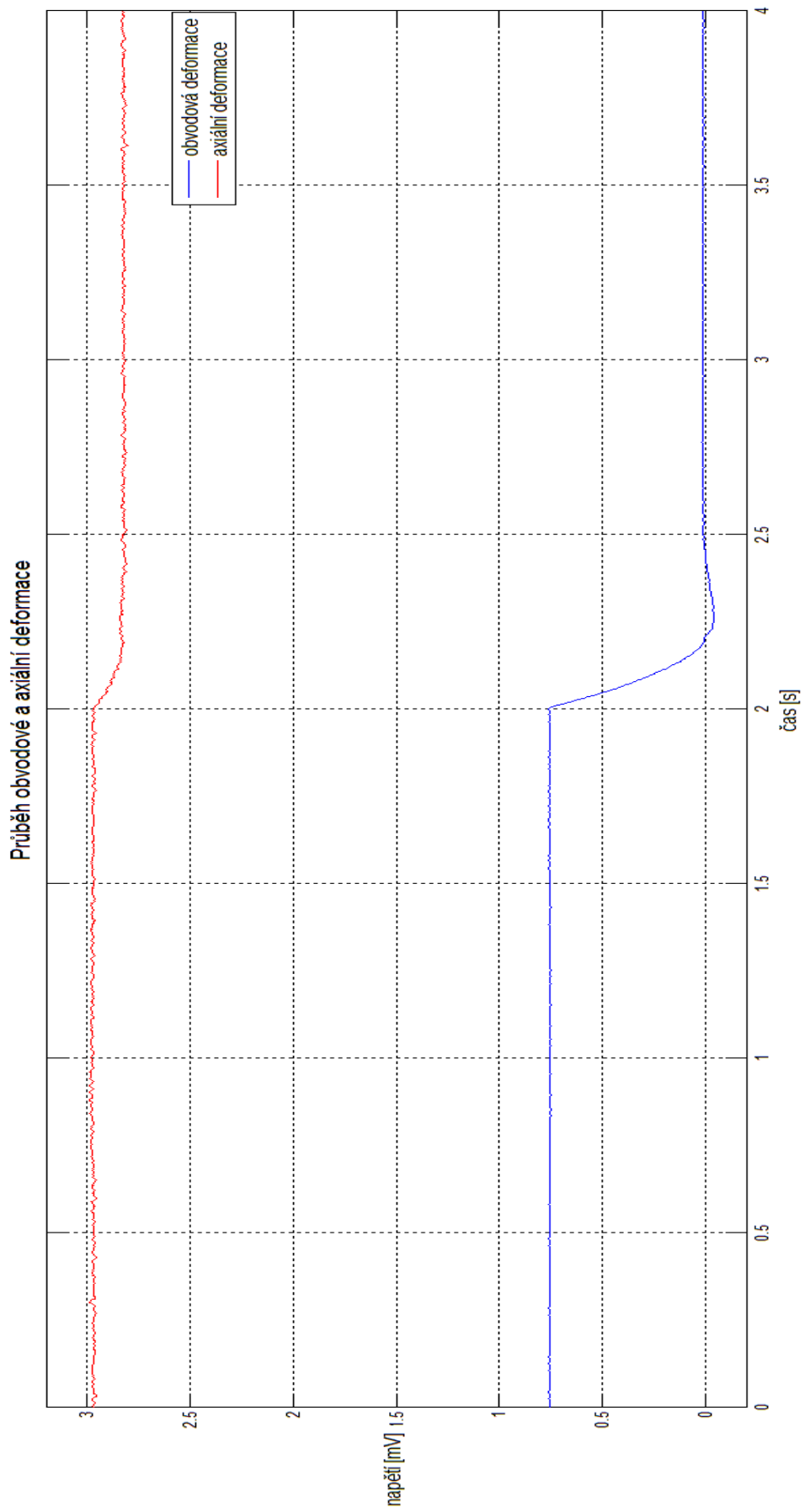
Každý z těchto tenzometrů byl zapojen do čtvrtmostu s napájecím napětím 1,5 V. Měřili jsme na dvou kanálech, každý směr měl vlastní. Signál jsme snímali se vzorkovací frekvencí 1 kHz. Naměřená data jsme zpracovávali pomocí námi vytvořeného programu v prostředí LabView, kde jsme ho před uložením do souboru filtrovali přes dolní propust s mezní frekvencí 50 Hz.

Samotné měření proběhlo rychle. Před samotným měřením jsme plechovku důkladně protřepali, aby se v ní vytvořil co možná nejvyšší tlak. Následně jsme spustili měření a otevřeli plechovku. Na grafech bylo vidět, jak se kvůli unikajícímu tlaku snižuje deformace v obou měřených směrech. Vyčkali jsme na ustálení hodnot kvůli odečtení offsetu a ukončili jsme měření.

## Schéma zapojení tenzometrů (čtvrťmost)



# Graf průběhu deformace



## Naměřená data

Tabulka 1 - změřené a dané hodnoty

Značka parametru a základní jednotky	Popis parametru	Hodnota
$U_{cc}$ [V]	Napájecí napětí pro čtvrtmost	1,5 V
$E$ [Pa]	Youngův modul pružnosti (hliník)	70 GPa
$\mu$ [1]	Poissonovo číslo	0,33
$K_o$ [1]	Gauge faktor pro obvodový tenzometr	2,03
$K_a$ [1]	Gauge faktor pro axiální tenzometr	2,08
$R_{out}$ [m]	Vnější průměr plechovky	52,85 mm
$T$ [m]	Tloušťka stěny plechovky	0,08 mm
$R_{in}$ [m]	Vnitřní průměr plechovky	52,05 mm
$\Delta U_a$ [V]	Rozdíl napětí v axiálním směru (axiální tenzometr)	0,144 mV
$\Delta U_o$ [V]	Rozdíl napětí radiálního (obvodového) tenzometru	0,744 mV

## Výpočty

Obvodová deformace:

$$\varepsilon_o = 4 \cdot \frac{\Delta U_o}{U_n \cdot k_o} = 4 \cdot \frac{0,000744}{1,5 \cdot 2,03} = 0,000977$$

Axiální deformace:

$$\varepsilon_a = 4 \cdot \frac{\Delta U_a}{U_n \cdot k_a} = 4 \cdot \frac{0,000144}{1,5 \cdot 2,08} = 0,000185$$

Obvodové napětí:

$$\sigma_o = \frac{E \cdot (\varepsilon_o + \mu \cdot \varepsilon_a)}{1 - \mu^2} = \frac{70 \cdot 10^9 \cdot (0,000977 + 0,33 \cdot 0,000185)}{1 - 0,33^2} = 81,54 \text{ MPa}$$

Axiální napětí:

$$\sigma_a = \frac{E \cdot (\varepsilon_a + \mu \cdot \varepsilon_o)}{1 - \mu^2} = \frac{70 \cdot 10^9 \cdot (0,000185 + 0,33 \cdot 0,000977)}{1 - 0,33^2} = 39,86 \text{ MPa}$$

Tlak v nádobě:

$$p = \frac{\sigma_o \cdot t}{R} = \frac{39,86 \cdot 10^6 \cdot 0,00008}{\frac{0,05285}{2}} = 120,67 \text{ kPa}$$

Poměr napětí:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma_a} = \frac{81,54 \cdot 10^6}{39,86 \cdot 10^6} = 2,05$$

Poměr deformace:

$$\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_a} = \frac{0,000977}{0,000185} = 5,28$$

Teoretický poměr napětí:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma_a} = \frac{\frac{p \cdot R}{t}}{\frac{p \cdot R}{2 \cdot t}} = 2,00$$

Teoretický poměr napětí:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma_a} = \frac{\frac{1}{E} \cdot (\sigma_o - \mu \cdot \sigma_a)}{\frac{1}{E} \cdot (\sigma_a - \mu \cdot \sigma_o)} = \frac{\frac{p \cdot R}{t} - \mu \cdot \frac{p \cdot R}{2 \cdot t}}{\frac{p \cdot R}{2 \cdot t} - \mu \cdot \frac{p \cdot R}{t}} = \frac{1 - \mu \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{2} - \mu \cdot 1} = 4,91$$

## Závěr

Poměr mezi obvodovým a axiálním napětím vyšel 2,05, podle teoretického odvození měl vyjít 2,00. Odchylka je 0,05, to může být způsobeno zaokrouhlováním při výpočtech. Poměr obvodové a axiální deformace vyšel 5,28. Při srovnání s teoretickým odvozením, kde vyšlo 4,91, se jedná o odchylku 0,37, je tedy vyšší než odchylka u napětí. Ta může být způsobena opět zaokrouhlováním nebo tím, že jsme měřící rúžici při lepení mírně pootočili. Měření může být ovlivněno nepřesným měřením rozměrů plechovky, zejména tloušťkou stěny. Jako nejméně pravděpodobná se jeví možnost, že Poissonovo číslo použité při výpočtu teoretické hodnoty přesně nepopisuje vlastnosti námi použité plechovky (koupený energetický nápoj byl velmi levný cca 7 Kč).

Graf, který jsme z tohoto měření zhotovili, znázorňuje průběh deformací v plechovce před otevřením, přechodový děj při otevření a ustálení děje. Je na něm dobře vidět, jak tlak z plechovky při otevření uniká. Tlak v plechovce před otevřením, tedy v natlakovaném stavu vyšel 120,67 kPa což je přibližně 1,2 atmosférického tlaku. Tato hodnota se jeví jako věrohodná.