1 Teoretická část

Povrchové napětí je síla, kterou působí povrch kapaliny kolmo na jednotku délky. Důsledkem tohoto jevu je vznik podtlaku pod konvexní hladinou kapaliny. V tenké kapiláře přilne hladina vody ke sklu téměř pod nulovým úhlem a podle [1] lze pro podtlak Δp odvodit

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{d}, \tag{1}$$

kde σ je povrchové napětí a d je průměr kapiláry.

Pokud kapilára ústí do kapaliny těsně pod hladinou v nádobě,[1] tak je při rovnosti hladin v kapiláře a nádobě tento podtlak roven přímo rozdílu tlaků vzduchu nad kapilárou a v nádobě. Při pomalém snižování tlaku v nádobě tento okamžik zřejmě nastane těsně před tím, než se kapilárou nasaje vzduch.

Rozdíl mezi atmosférickým a vnitřním tlakem měříme manometrem s ramenem skloněným pod úhlem 30°. Stupnice na manometru má přesnost 0.5 mm. Pro rozdíl tlaků dostáváme vztah

$$\Delta p = \frac{1}{2} h\rho g, \tag{2}$$

kde h je výška hladiny v manometru, ρ hustota vody v manometru a $g = 9.81\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ gravitační zrychlení.

Zkombinováním vztahů (1) a (2) potom pro povrchové napětí dostaneme

$$\sigma = \frac{1}{8} h\rho g d. \tag{3}$$

Budeme předpokládat kvadratickou závislost povrchového napětí na teplotě a pokusíme se určit konstanty A, B a C ze vztahu

$$\sigma = A + BT + CT^2, \tag{4}$$

kde T je teplota.

1.1 Statistické zpracování

Podle [2] je chyba veličiny $u = f(x_i^{n_i})$ rovna

$$s_u = u \sum_i n_i \frac{s_{x_i}}{x_i}, \tag{5}$$

[1] V našem případě jistě méně než 1 mm. Odpovídající hydrostatický tlak je potom více než 50krát menší než kapilární a v rámci přesnosti měření jej můžeme zanedbat.

kde x_i jsou nezávislé veličiny, n_i jejich mocniny a s_{x_i} jejich chyby.

Fitování vztahů experimentálními daty provádíme programem *Gnuplot*. Chybu určených parametrů opisujeme nezměněnou z výstupu programu. U fitu uvádíme redukovaný chí-kvadrát, který vyjadřuje kvalitu fitu. Teoreticky je roven jedné, menší hodnoty ukazují na zbytečně velké udané chyby vstupních dat, větší hodnoty na malé chyby nebo špatný model. Přesnou definici a další podrobnosti lze nalézt například v [3].

Chyby nepřepočítáváme a správná hodnota by tedy měla ve změřeném rozmezí ležet s pravděpodobností 68%.

2 Výsledky měření

Experiment probíhal při teplotě 23.6–24.6 °C. Tomu podle [4] odpovídá hustota vody v manometru $\rho = (997 \pm 1)\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$. Průměr kapiláry je podle informací k úloze $d = (0.55 \pm 0.02)\,\mathrm{mm}$.

Zaznamenané výšky hladiny v manometru jsme přepočítali vztahem (3) na povrchové napětí. Jeho chyba je podle (5) na celém rozsahu $s_\sigma = 3\,\mathrm{mN\cdot m^{-1}}$. Data jsou vynesena v Obrázku 1. Výsledky fitu s kvalitou $\chi^2 = 0.01$ shrnuje Tabulka 1.

$A/\mathrm{N\cdot m^{-1}}$	$B/\mathrm{N\cdot m^{-1}\cdot °C^{-1}}$	$C/\mathrm{N\cdot m^{-1}\cdot °C^{-2}}$
$(78.7 \pm 0.6)\cdot 10^{-3}$	$-(0.21 \pm 0.03)\cdot 10^{-3}$	$(0.1 \pm 0.3)\cdot 10^{-6}$

Tabulka 1: Fitované konstanty

3 Diskuse výsledků

Prvním pozorováním je velmi nízká hodnota χ^2. Už i pouhým pohledem na graf vidíme, že chyby jednotlivých dat jsou zbytečně velké. Vzhledem k tomu, že hlavní část chyby tvoří průměr kapiláry, je tato pravděpodobně změřena mnohem přesněji, než je uvedeno. Pro dosažení lepších výsledků by tak bylo vhodné tuto hodnotu změřit lépe. Jinak tabelovaná závislost podle [5] leží v oblasti chybových úseček a parametr A tedy není zatížen žádnou výraznou systematickou chybou.

Jinak už je tomu u parametrů B a C. Zatímco tabelovaná závislost je na měřeném úseku zřetelně kvadratická, naměřená je de facto čistě lineární. Důvodem může být fakt, že se celé měření odehrálo na 1.5 cm stupnice s rozlišením 0.5 mm. Při odčítání jednotlivých hodnot tak do jisté míry roli hrály i odhad a intuice. Člověk se ovšem podvědomě upíná k lineárním průběhu, který má konstantní odkrokování, a tím může být měření zkresleno. Řešením by mohlo být opakované měření závislosti s náhodně odkrokovanou teplotou.

4 Závěr

Kvadratický průběh závislosti jsme v rámci přesnosti neprokázali a ve výsledku tedy kvadratický člen vynecháme. Povrchové napětí vody závisí na teplotě vztahem

$$\frac{\sigma}{10^{-3}\,\mathrm{N{\cdot}m^{-1}}} = (78.7 \pm 0.6) - (0.21 \pm 0.03)\frac{T}{^{\circ}\mathrm{C}}.$$

Závislost je vynesena v Obrázku 1.

Reference

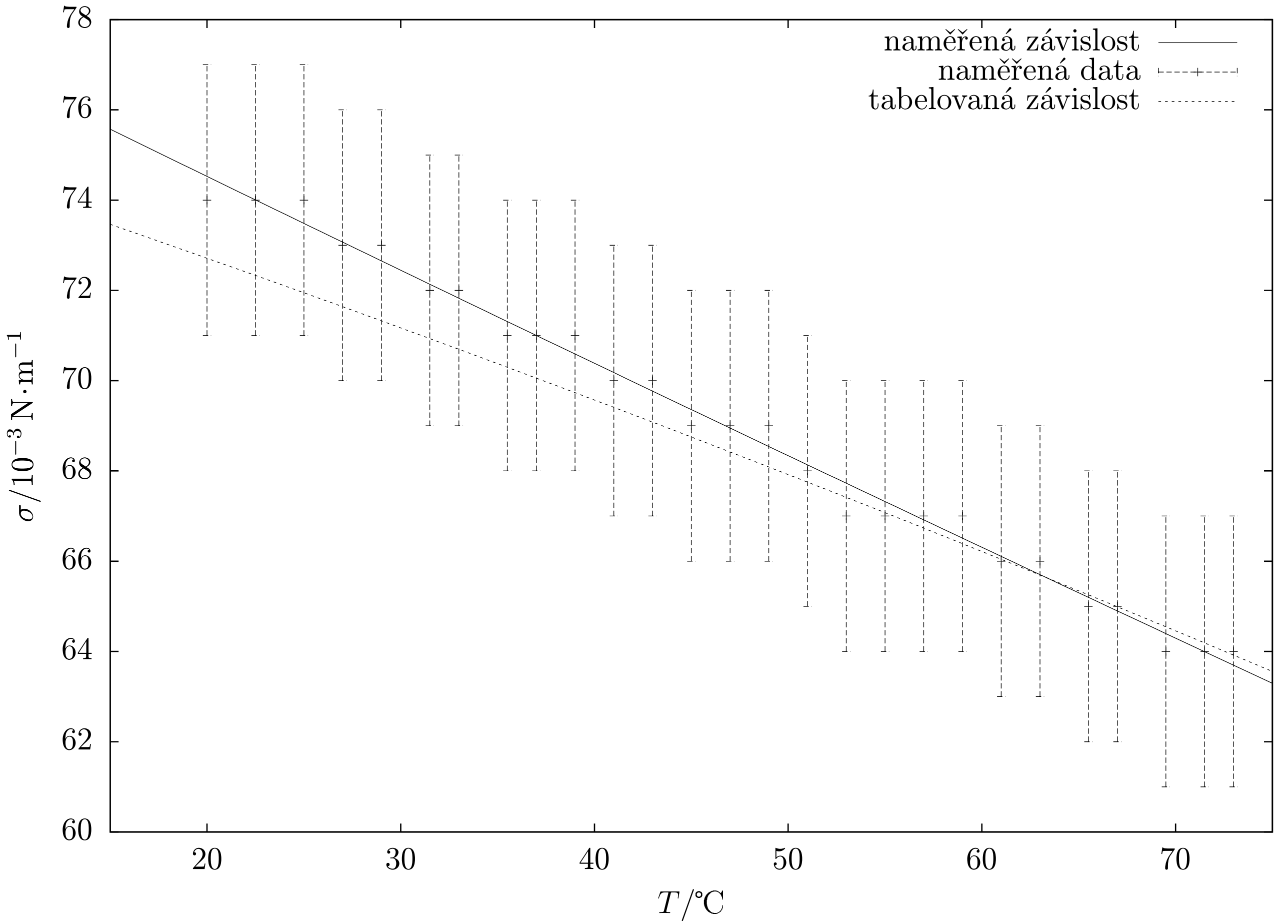
[1] `http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/`. Studijní texty Praktika I

[2] Vybíral B.: *Zpracování dat fyzikálních měření*. Studijní text FO

[3] `http://en.wikipedia.org/`. The Free Encyclopedia

[4] `http://www.csgnetwork.com/`. Water Density Calculator

[5] `http://www.engineeringtoolbox.com/`. Surface Tension of Water in contact with Air



Obrázek 1: Závislost povrchového napětí na teplotě