Pracovní úkol

1. Určete závislost povrchového napětí σ na objemové koncentraci c roztoku etylalkoholu ve vodě odtrhávací metodou.
2. Sestrojte graf této závislosti.

Teoretická část

Povrchové napětí je definováno jako síla působící na jednotkovou délku každého myšleného řezu povrchem látky. Tato síla leží v tečné rovině k povrchu ve vyšetřovaném místě a je stejně velká ve všech směrech povrchu. Hodnota povrchového napětí pro danou kapalinu je závislá na tom, s jakým plynem je povrch kapaliny ve styku, závisí na teplotě a čistotě kapaliny. Látky způsobující snížení povrchového napětí nazýváme povrchově aktivní.

Přímou metodou měření povrchového napětí vycházející z jeho definice je metoda odtrhávací. Je založena na měření síly potřebné k vytažení tenkého drátku délky l z kapaliny.

Základní vztah pro výpočet je

$$\sigma = \frac{P_0}{2l}, \tag{1}$$

kde P_0 je síla, která působí na drátek v okamžiku odtržení od povrchu kapaliny.

Pro dobré určení síly P_0 jsou zvlátě vhodné torzní váhy, které umožňují plynulou regulaci síly působící na drátek a současné její dostatečně přesné určení.

Měření se provádí následujícím způsobem, Na výsuvný stolek se umístí kádinka se zkoumanou kapalinou. Na vahadlo se zavěsí rámeček s upevněným drátkem. Kádinka se vyzvedne do právě takové výšky, aby byl těsně podhladinou. Současně však na něj musí váhy působit silou, která vyvažuje tíhu drátku s rámečkem sníženou o vztlakovou sílu působící na ponořenou část. Tuto sílu označíme P_1, pro kterou platí $P_1 = gm_1$, kde m_1 je hodnota odečtená ze stupnice vah.

Po určení hodnoty P_1 se začne pomalu zvětšovat síla působící na rámeček snižováním polohy stolku s kádinkou za současného zvětšování síly tak, aby se rysky na váhách stále překrývaly. V okamžiku odtržení drátku od hladiny je na stupnici vah hodnota m_2, ze které se určí $P_2 = gm_2$. Síla potřebná pro odtržení drátku je rozdílem sil P_2 a P_1

$$P_0 = P_2 - P_1.$$

Pro přesnější určení povrchového napětí než (1) lze použít vztah

$$\sigma = \frac{P_2 - P_1}{2l} - \frac{d}{2}\left(\sqrt{\frac{(P_2 - P_1)\rho g}{l}} - \frac{P_2 - P_1}{l^2}\right), \tag{2}$$

kde d je průměr měřicího drátku a ρ je hustota kapaliny. Tohoto vztahu je užito i ve výpočtech tohoto měření.

Pro potřeby výpočtu jsem jej upravil do tvaru

$$\sigma = g\frac{m_2 - m_1}{2l} - g\frac{d}{2}\left(\sqrt{\frac{(m_2 - m_1)\rho}{l}} - \frac{m_2 - m_1}{l^2}\right), \tag{3}$$

Pro určení odchylky povrchového napětí jsem použil vzorec podle [3]

$$\Delta\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}, \tag{4}$$

kde jednotlivé parciální derivace jsou

$$\frac{\partial \sigma}{\partial m_1} = -\frac{g}{2l} + \frac{gd\sqrt{l}}{4\sqrt{(m_2 - m_1)\rho}} - \frac{gd}{2l^2}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial m_2} = \frac{g}{2l} - \frac{gd\sqrt{l}}{4\sqrt{(m_2 - m_1)\rho}} + \frac{gd}{2l^2}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial l} = -\frac{g(m_2 - m_1)}{2l^2} + \frac{gd}{4}\sqrt{\frac{(m_2 - m_1)\rho}{l^3}} - \frac{gd(m_2 - m_1)}{l^3}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial d} = \frac{g}{2}\left(\sqrt{\frac{(m_2 - m_1)\rho}{l}} - \frac{m_2 - m_1}{l^2} \right)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \rho} = -\frac{gd}{4}\sqrt{\frac{m_2 - m_1}{l\rho}}$$

kde x je střední hodnota dané veličiny a Δx je její odchylka. Veličinu g považuji za konstantu.

Standardní odchylka je podle [3]

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (\mu_x - x_i)^2}. \tag{5}$$

Měření

Vlastní měření probíhalo ve třech částech. Nejprve jsem měřil povrchové napětí destilované vody, potom lihu a nakonec závislost povrchového napětí na koncentraci lihu ve vodě. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1 až 3.

V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty důležitých veličin, které jsou společné pro všechna měření.

Zvláštní pozornost si zaslouží teplota, která má na povrchové napětí významný vliv. V tabulce 4 je uvedena teplota vzduchu v místnosti. Ta je totožná s teplotou čisté destilované vody i samotného lihu, neboť obě kapaliny jsou dlouhodobě skladovány v této místnosti. Zásadní problém však nastává při mísení lihu a vody, kdy výrazně stoupá teplota roztoku. Proto uvádím teplotu i v jednotlivých měřeních závislosti na koncentraci. Pochopitelně by bylo nejlepí, kdyby se vždy roztok ochladil na příslušnou teplotu, nicméně nebylo to možné z časových důvodů.

Pro určení povrchového napětí vody a lihu samostatně jsem provedl vždy pět měření, která jsou statisticky zpracována podle vzorce (4). Při proměřování závislosti povrchového napětí na koncentraci roztoku jsem postupoval jiným způsobem. Pro každou koncentraci jsem provedl dvě měření, abych se vyvaroval hrubým chybám. Do tabulky jsem však již zapisoval jen jednu buď společnou pro obě měření, nebo jejich průměr vzhledem k tomu, že se lišily jen nepatrně. Očekávaje exponenciální závislost volil jsem příslušné koncentrace tak, abych co nejlépe vystihl charakter závislosti.

$\frac{m_1}{\mathrm{mg}}$	$\frac{m_2}{\mathrm{mg}}$
91	339
91	345
89	349
92	352
93	358

Tabulka 1.: Naměřené hmotnosti m_1 a m_2 pro destilovanou vodu

$\frac{m_1}{\mathrm{mg}}$	$\frac{m_2}{\mathrm{mg}}$
85	201
86	202
87	201
87	202
86	200

Tabulka 2.: Naměřené hmotnosti m_1 a m_2 pro líh

$\frac{m_1}{\mathrm{mg}}$	$\frac{m_2}{\mathrm{mg}}$	c	$\frac{\rho}{\mathrm{kg\cdot m^{-3}}}$	$\frac{\sigma}{\mathrm{N\cdot m^{-1}}}$	$\frac{t}{^\circ\mathrm{C}}$
84.0	214.0	0.5000	893	0.0272	27
86.5	252.5	0.2500	945	0.0356	25
89.0	303.0	0.1250	971	0.0471	25
90.0	334.0	0.0625	984	0.0544	23
90.0	375.0	0.0313	990	0.0644	23
91.5	364.5	0.0156	994	0.0614	23
90.0	371.0	0.0078	995	0.0634	23

Tabulka 3.: Závislost povrchového napětí na koncentraci

Veličina	Hodnota	Jednotka
Teplota vzduchu	(23 ± 1)	$^\circ\mathrm{C}$
Délka drátku l	(19.0 ± 2.0)	$10^{-3}\mathrm{m}$
Průměr drátku d	(0.610 ± 0.005)	$10^{-3}\mathrm{m}$
Hustota vody ρ_v [4]	997	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3}$
Hustota lihu ρ_l [4]	789	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3}$
Zrychlení g [4]	9.80665	$\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$

Tabulka 4.: Veličiny platné pro všechna měření

Diskuze

Všechny vypočítané hodnoty, jejich odchylky a závislosti jsem uvedl v tabulce 5. Pro podrobnější náhled doporučuji prostudovat přiložený výtisk spreadsheetu, ve kterém byly tyto hodnoty přímo vypočítány.

Povrchové napětí vody	$\sigma_v = (57 \pm 2) \cdot 10^{-3}\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$
Povrchové napětí lihu	$\sigma_l = (24 \pm 3) \cdot 10^{-3}\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$
Závislost povrch. napětí na c	$\sigma(c) = (0.024 + 0.040 \cdot \exp(-4.5 \cdot c)) \cdot \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$

Tabulka 5.: Shrnutí výsledků měření

Povrchové napětí vody	$\sigma_v = 72.0 \cdot 10^{-3}\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$
Povrchové napětí etylalkoholu	$\sigma_l = 22.3 \cdot 10^{-3}\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$

Tabulka 6.: Tabulkové hodnoty zkoumaných veličin

V tabulce 6 uvádím tabulkové hodnoty příslušných veličin podle [4]

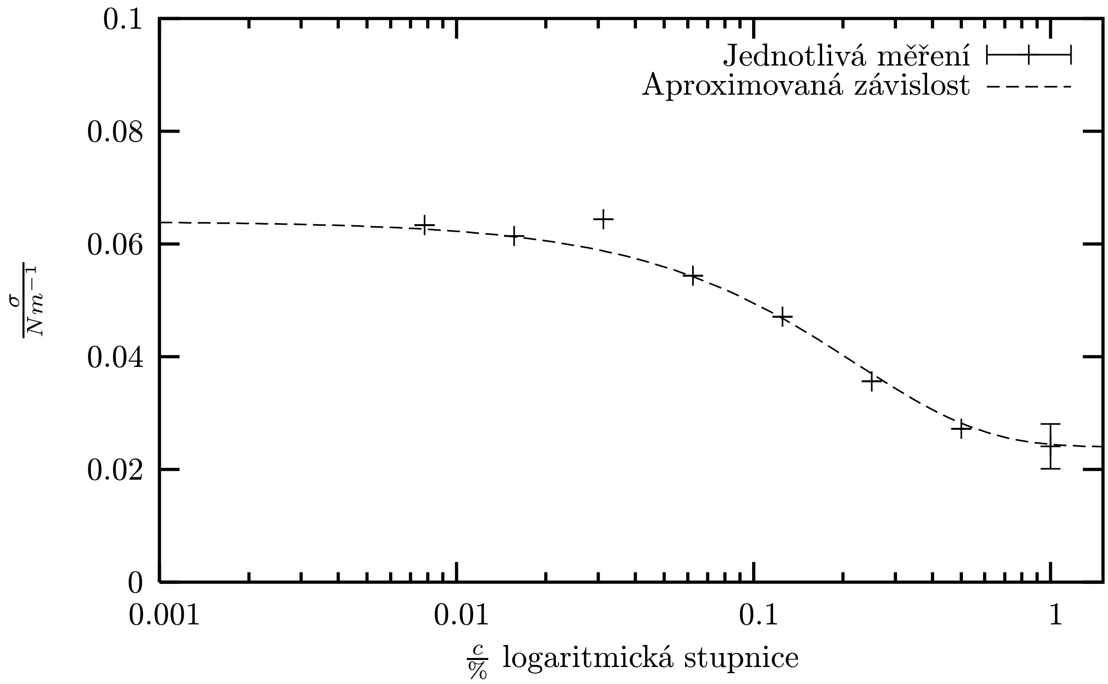
Závislost povrchového napětí na koncentraci je znázorněna na grafu 1. Pro představu přesnosti měření je uveden errorbar pro povrchové napětí lihu. Přímo z tohoto grafu je zřejmé, že exponenciální závislost výborně vystihuje povahu tohoto jevu.

Velmi dobré shody s tabulkovými hodnotami se podařilo dosáhnout u čistého lihu. Je to překvapivé, neboť se v podstatě nejedná o stejnou látku. Tabulky udávají hodnoty pro čistý líh (etylalkohol), leč pro měření byl použit technický líh, který obsahuje příměsi, které znemožňují jeho zneužití pro potravinářské účely. Možná vysvětlení jsou dvě. Buď příslušné příměsi nemají významný vliv na povrchové napětí, nebo bylo měření zatíženo systematickou chybou (podobně jako níže v případě vody)

Měření povrchového napětí vody neskončilo příliš úspěšně. Tabulková hodnota leží výrazně mimo rozsah chyby měření. Zřejmě tedy došlo k systematické chybě měření. Vysvětlení je více. Zásadní otázkou je čistota měřicího drátku. Je dobře možné, že drátek nebyl dostatečně čistý v době započetí měření vody a byl důkladněji vyčištěn až v průběhu měření neustálým máčením ve vodě, lihu a roztoku.

Negativně se rovněž projevilo samotné větší povrchové napětí vody oproti lihu, které znesnadňovalo nalezení správné rovnovážné polohy a určení hodnoty m_1.

Dalším zdrojem nepřesnosti je určení délky měřicího drátku l, neboť není přesně zřejmé, kde chápat jeho hranice v místě sváru s rámečkem.



Graf 1. Graf závislosti povrchového napětí roztoku vody a lihu na koncentraci

Závěr

Měření nemohu hodnotit jako plně úspěšné vzhledem k mnoha chybám, které jsem rozebral v diskuzi. Jsem však přesvědčen, že většinu chyb by bylo možné odstranit větší pečlivostí a opatrností při měření. Další možností je také zvětšení počtu jednotlivých měření pro snížení statistické chyby.

Postatné výsledky nalezne čtenář v tabulce 5 a v grafu 1.

Literatura

[1] Studijí texty, úloha IV. `http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/`
[2] Horák, Z., Krupka, F., Šindelář, V.: Technická fysika. SNTL, Praha 1961.
[3] Englich, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. Praha 2000.
[4] Brož, J., Roskovec, V., Valouch, M.: Fyzikální a matematické tabulky. SNTL, Praha 1980.