

# Fyzikální praktika 4 - Měření hustoty, viskozity a povrchového napětí kapalin

Petr Šafařík

8. dubna 2006

## Obsah

<b>1</b>	<b>Podmínky</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zadání</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Měření viskozity</b>	<b>2</b>
3.1	Absolutní měření pomocí Mariottovy láhve . . . . .	2
3.1.1	Zpracování dat . . . . .	2
3.1.2	Určení chyb . . . . .	2
3.1.3	Závěr . . . . .	3
3.2	Měření Englerovým viskozimetrem . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Měření hustoty</b>	<b>3</b>
4.1	Měření piktometrem . . . . .	3
4.2	Měření Mohrovými vázkami . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Měření povrchového napětí <math>\sigma</math></b>	<b>5</b>
5.1	Měření odtrhovací metodou . . . . .	5

## 1 Podmínky

Teplota: 22, 13°C

Tlak: 737, 3mm = 98298, 3Pa

Vlhkost: 46%

## 2 Zadání

Mým úkolem bylo změřit hustotu, viskozitu a povrchové napětí kapalin, přesněji vody a lihu.

## 3 Měření viskozity

### 3.1 Absolutní měření pomocí Mariottovy láhve

#### 3.1.1 Zpracování dat

Změřené veličiny:

$$R_{kapilary} = (0,000570 \pm 0,000001)mm$$

$$L_{kapilary} = (0,1650 \pm 0,5)mm$$

$$\rho_{vody} = 1000kgm^{-3}$$

$$h = (0,2570 \pm 0,0005)m$$

$$t = 64,90s$$

$$m_{voda} = 0,011119kg$$

Viskozita je dána vztahem (1)

$$\eta = \frac{\pi R^4 pt}{8VL} \quad (1)$$

Po dosazení do (1):

$$\eta = \frac{\pi \cdot R^4 pt}{8VL} = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot t \cdot \rho \cdot g \cdot h}{8\rho \cdot m_{vody} \cdot L} \quad (2)$$

Při dosazení do (2)

$$\eta = \frac{\pi \cdot 0,000570^4 \cdot 64,90 \cdot 1000 \cdot 9,8099 \cdot 0,2570}{8 \cdot 0,1650 \cdot 0,011119} \quad (3)$$

Výsledek je tedy:  $\eta = 3,69 \cdot 10^{-3} N \cdot s \cdot m^{-2}$

#### 3.1.2 Určení chyb

Chybu měření určíme ze zákona šíření chyb:

$$\delta\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial R}\right)^2 \cdot (\delta R)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial L}\right)^2 \cdot (\delta L)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial h}\right)^2 \cdot (\delta h)^2} \quad (4)$$

Dosazením dostaneme:

$$\delta\eta = \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot R^4 \cdot t \cdot \rho \cdot g \cdot h}{2\rho \cdot m_{\text{vody}} \cdot L}\right)^2 \cdot (\delta R)^2 + \left(\frac{-\pi \cdot R^4 \cdot t \cdot \rho \cdot g \cdot h}{8\rho \cdot m_{\text{vody}} \cdot L^2}\right)^2 \cdot (\delta L)^2 + \left(\frac{\pi \cdot R^4 \cdot t \cdot \rho \cdot g}{8\rho \cdot m_{\text{vody}} \cdot L}\right)^2 \cdot (\delta h)^2} \quad (5)$$

Absolutní chyba mi vychází  $\delta\eta = 0,11 \cdot 10^{-3} Nsm^{-2}$

Relativní chyba je  $\delta_r\eta = \frac{\delta\eta}{\eta} \cdot 100\% = 2,98\%$

### 3.1.3 Závěr

Absolutním měřením pomocí Mariottovy láhve jsem získal tyto výsledky:  
Viskozita je  $\eta = (3,69 \pm 0,11) \cdot 10^{-3} Nsm^{-2}$  s relativní chybou 2,98%

## 3.2 Měření Englerovým viskozimetrem

Určení dynamické hustoty v Englerových stupních.

$$E = \frac{t_{\text{kapalina}}}{t_{\text{voda}}} \quad (6)$$

kde  $t_{\text{voda}}$  je doba výtoku  $2 \cdot 10^{-4} m^3$  vody

a  $t_{\text{kapalina}}$  je čas, za který proteče stejné množství měřené kapaliny.

Naměřené hodnoty:

$$t_{\text{vody}} = 67,58s$$

$$t_{\text{kapaliny}} = 73,50s$$

přičemž dynamická viskozita se získá ze vztahu:

$$\nu = 10^{-6} \cdot E \cdot 7,6^{\left(1 - \frac{1}{E^3}\right)} \quad (7)$$

Určení E:  $E = \frac{t_{\text{kapalina}}}{t_{\text{voda}}}$

Dynamickou viskozitu získáme z kinematické vynásobením hustotou.

Vyčíslením mi tedy vychází hodnota  $\eta = 4,48 \cdot 10^{-3} Nsm^{-2}$

## 4 Měření hustoty

### 4.1 Měření piktometrem

Piktometr je skleněná nádoba se zabroušeným uzávěrem. V uzávěru je tenká kapilára, kterou může unikat při uzavírání piktometru přebytečná kapalina. Chybu určíme ze vztahů:

$$\delta_k = 3\alpha\Delta_t \quad (8)$$

kde  $\Delta t$  je rozdíl mezi teplotou, na kterou je piktometr kalibrován ( $20^\circ\text{C}$ ) a teplotou okolí  $22, 13^\circ\text{C}$

a  $\alpha$  je součinitel teplotní roztažnosti skla.

Druhý vztah, který tentokrát souvisí s nejistotou polohy hladiny v kapiláře.

$$\delta_k = \frac{V_{kap}}{V_{pyktometru}} 3\alpha\Delta t \quad (9)$$

Tato chyba je v potom asi  $\delta_k \approx 10^{-4}$

Mnou naměřené hodnoty:

$$\rho_2 = 1000 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m_1 = 37,574 \text{g}$$

$$m_2 = 41,032 \text{g}$$

$$m = 17,032 \text{g}$$

$$\rho_L = 1,275 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$\rho_1 = ? \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ... hustota hledané kapaliny. Určíme ze vztahu:

$$\rho_1 = (\rho_2 - \rho_L) \frac{m_1 - m}{m_2 - m} + \rho_L \quad (10)$$

Dosazením a dopočítáním vztahu dostaneme výsledek

$$\rho_1 = \rho_{kapaliny} = (856,1 \pm 8,3) \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (11)$$

## 4.2 Měření Mohrovými vážkami

Nejlépe je stanovit neznámou hustotu srovnávacím měřením, kdy se nejprve vyváží vážky s tělískem ponořeným do kapaliny o neznámé hustotě a pak do kapaliny o známé hustotě. Výsledná hustota neznámé kapaliny poté určíme ze vztahu:

$$\rho = \rho_z \cdot \frac{M}{M_z} \quad (12)$$

kde  $M$  a  $M_z$  jsou momenty závaží vzhledem k ose otáčení vyvažující ponorné tělísko v kapalině o známé a neznámé hustoty.

Mé hodnoty:

$$\rho_z = 1000 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \dots \text{voda}$$

$$r_z = 9 \text{ dílků}$$

$$m_z = 110 \text{ jednotek}$$

$$r = 7 \text{ dílků}$$

$$m = 107 \text{ jednotek}$$

přechemž  $M = r \cdot m$  poté tedy:  $\rho = \rho_z \cdot \frac{M}{M_z} = 1000 \cdot \frac{749}{990}$

$$\rho = 816,6 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (13)$$

## 5 Měření povrchového napětí $\sigma$

### 5.1 Měření odtrhovací metodou

Povrchové napětí je dáno vztahem:

$$\sigma = \frac{c(m_2 - m_1)}{2l} \quad (14)$$

příčemž mnou naměřené hodnoty a hodnoty udané na přístroji jsou:

$$c = 9,81m \cdot s^{-1}$$

$$l = 13,6 \pm 0,2mm$$

Pro líh:

$$m_1 = 35mg$$

$$m_2 = 113mg$$

Pro vodu:

$$m_1 = 43mg$$

$$m_2 = 275mg$$

Po dosazení a dopočítání hodnot do vztahu nám vyjdou následující hodnoty povrchových napětí:

$$\sigma_{vody} = 73,67N \cdot m^{-1}$$

$$\sigma_{lih} = 28,13N \cdot m^{-1}$$