

MERANIE OBJEMOVEJ HMOTNOSTI KVAPALNÝCH LÁTOK

RNDr. Jaroslav Kovár

Teoretický úvod:

Objemová hmotnosť (ďalej aj OH) kvapaliny je veličina definovaná ako podiel hmotnosti m a objemu V určitého množstva kvapaliny vzt'ahom

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Jednotkou objemovej hmotnosti je 1 kg.m^{-3} .

Objemová hmotnosť kvapalín závisí od teploty a tlaku (zmena objemu). Preto pri presných meraniach je potrebné uviesť i podmienky merania.

Metóda merania:

Stanovenie objemovej hmotnosti kvapalín možno robiť viacerými spôsobmi. Metódy merania vychádzajú buď z definície veličiny podľa (1) (priame metódy) alebo z vyšetrovania vztlaku v kvapaline (nepriame metódy).

A. PRIAME METÓDY MERANIA OBJEMOVEJ HMOTNOSTI

Dané metódy merania OH možno zadeliť do dvoch skupín:

- OH kvapalín možno priamo merať zariadením, ktoré nazývame *hustomer*, čo je sklenená trubica na oboch koncoch zatavená a vhodne zaťažaná tak, že po vložení do kvapaliny vzpriamene pláva. Dĺžka ponorenej časti závisí od veľkosti vztlakovej sily úmernej objemovej hmotnosti kvapaliny. Stupnica je očiachovaná tak, že na úrovni hladiny kvapaliny priamo čítame objemovú hmotnosť kvapaliny. Hustomery sa používajú na rýchle a menej presné merania.
- Podobne, pri nižších nárokoch na presnosť môžeme určiť objemovú hmotnosť kvapaliny na základe vzt'ahu (1) tým, že určíme hmotnosť daného objemu kvapaliny vážením a príslušný objem stanovíme pomocou odmerného valca. Nepresnosť metódy súvisí s chybou merania polohy hladiny, spôsobenou povrchovým napätím kvapaliny.

Úlohy:

- Určiť objemovú hmotnosť danej kvapaliny pomocou hustomeru.
- Stanoviť OH tej istej kvapaliny podľa vzt'ahu (1) určením hmotnosti a objemu kvapaliny.
- Posúdiť presnosť merania na základe stanovenia chyby merania.

Postup merania:

- Zvážíme prázdny odmerný valec a zapíšeme daný údaj.
- Naplníme odmerný valec kvapalinou, odčítame príslušný objem kvapaliny.
- Valec s kvapalinou znova zvážíme a určíme hmotnosť kvapaliny.
- Do odmerného valca s kvapalinou ponoríme hustomer a odčítame priamo OH kvapaliny.

Spracovanie a vyhodnotenie výsledkov.

- Z nameraných údajov pre hmotnosť a objem vypočítame podľa (1) OH kvapaliny.
- Ponorením do kvapaliny v odmernom valci odčítame na hustomeri OH danej kvapaliny.
- Chybu merania určíme na základe parciálnych príspevkov chýb merania hmotnosti a objemu podľa vzt'ahu

$$\bar{\delta}_\rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\delta_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta_V}{V}\right)^2},$$

kde δ_m a δ_V určíme odhadom. Pri meraní objemovej hmotnosti kvapaliny hustomerom chybu δ_p stanovíme tiež odhadom.

4. Porovnáme objemovú hmotnosť kvapaliny odčítanú na hustomeri s vypočítanou objemovou hmotnosťou získanou z meraní objemu a hmotnosti.

B. NEPRIAME METÓDY MERANIA

a) STANOVENIE OBJEMOVEJ HMOTNOSTI KVAPALÍN POMOCOU PONORNÉHO TELIESKA (S VYUŽITÍM ARCHIMEDOVHO ZÁKONA).

Táto metóda vychádza z porovnávania tiaže telesa ponoreného do vyšetrovanej kvapaliny známej OH s jeho tiažou vo vzduchu, resp. vo vákuu. Na meranie použijeme vhodné teliesko, ktoré kvapalina nenarušuje. Veľkosť telieska volíme s ohľadom na použité meracie prístroje a množstvo kvapaliny tak, aby sa minimalizovala chyba merania (so zmenšovaním telieska chyba rastie).

Postup merania:

Urobíme tri merania tiaže telieska.

- a) Určíme tiaž telieska vo vzduchu, ktorého objemová hmotnosť je ρ_V

$$F_1 = mg - \rho_V Vg$$

- b) Určíme tiaž telieska v kvapaline známej objemovej hmotnosti ρ_0

$$F_2 = mg - \rho_0 Vg$$

- c) Určíme tiaž telieska v kvapaline neznámej objemovej hmotnosti

$$F_3 = mg - \rho Vg$$

Ak urobíme rozdiel tretej a prvej rovnice, potom druhej a tretej a takto získané dve rovnice vzájomne vydělíme, pre objemovú hmotnosť kvapaliny dostávame vzťah (2)

$$\rho = \frac{F_1 - F_3}{F_1 - F_2} (\rho_0 - \rho_V) + \rho_V. \quad (2)$$

Sily tiaže F_1, F_2, F_3 určíme buď pomocou silomeru alebo laboratórnymi váhami, umožňujúcimi zavesenie telieska pomocou vlákna na rameno s miskou pre vážené predmety tak, že vyvážíme závaží m_1 zavesené teliesko vo vzduchu, závaží m_2 zavesené teliesko ponorené v známej kvapaline a závaží m_3 zavesené teliesko ponorené v kvapaline neznámej OH. Hľadanú objemovú hmotnosť v oboch prípadoch určíme zo vzťahu (2), v ktorom pri použití váh, sily F_1, F_2, F_3 nahradíme hmotnosťami m_1, m_2, m_3 .

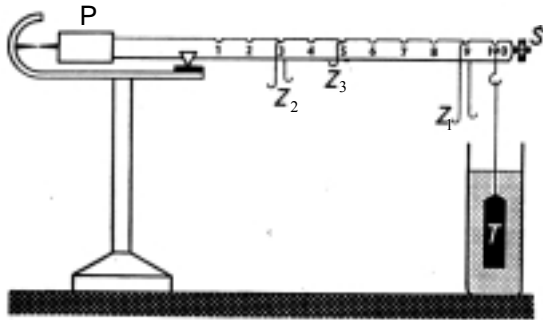
Chybu merania určíme na základe parciálnych príspevkov chýb jednotlivých meraných veličín (F_1, F_2, F_3 resp. m_1, m_2, m_3) a prípadných chýb vstupných hodnôt ρ_0, ρ_V . Za predpokladu, že chyba merania jednotlivých síl resp. hmotností je rovnaká δ_F, δ_m a chyby vstupných hodnôt sú $\delta_{\rho_0}, \delta_{\rho_V}$, pre výslednú chybu dostaneme vzťah

$$\delta_\rho^2 = \frac{(\rho - \rho_V)^2}{(\rho_0 - \rho_V)^2} \left\{ \left[\left(\frac{F_3 - F_2}{F_1 - F_2} \right)^2 + \left(\frac{F_1 - F_3}{F_1 - F_2} \right)^2 + 1 \right] \frac{(\rho_0 - \rho_V)^2}{(F_1 - F_3)^2} \delta_F^2 + \delta_{\rho_0}^2 + \left(\frac{F_3 - F_2}{F_1 - F_3} \right)^2 \delta_{\rho_V}^2 \right\}. \quad (3)$$

b) STANOVENIE OBJEMOVEJ HMOTNOSTI POMOCOU MOHROVÝCH VÁH.

Mohrové váhy pracujú na metóde ponorného telieska. Ide o nerovnoramenné váhy (pozri obr. 1), ktoré majú dlhšie rameno rozdelené zárezmi na desať rovnakých dielov. V poslednom záreze je zavesené sklenené teliesko, ktoré je na vzduchu vyvážené protizávaží P a jemne skrutkou S. Keď

podložíme nádobku s meranou kvapalinou tak, aby bolo teliesko ponorené, poruší sa rovnováha v dôsledku pôsobenia vztlakovej sily. Rovnováhu obnovíme tak, že do vhodných zárezov ramena



Obr. 1

zavesíme závažia Z_1 , Z_2 , Z_3 . Najväčšie závažie Z_1 má takú hmotnosť, že umiestnené na desiatom záreze svojou tiažou vyváži vztlakovú silu v kvapaline OH $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (na siedmom záreze by vyvážilo vztlak v kvapaline OH $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pod.). Závažie Z_2 má hmotnosť desaťkrát a Z_3 stokrát menšiu ako má Z_1 (ich pozície na ramene určujú desiatky a jednotky číselnej hodnoty OH). Po vyvážení váh určujú pozície troch závaží priamo číselnú hodnotu objemovej hmotnosti kvapaliny (príklad na obrázku predstavuje objemovú hmotnosť kvapaliny $935 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Mohrove vážky umožňujú meranie OH s presnosťou $\pm 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Úlohy:

1. Stanovte objemovú hmotnosť danej kvapaliny metódou ponorného telieska s použitím silomerov a laboratórnych váh.
2. Stanovte chybu merania danej objemovej hmotnosti kvapaliny.
3. Pomocou Mohrových váh zistíte objemovú hmotnosť neznámej kvapaliny a porovnajte ju s výsledkami získanými podľa bodu 1.

Spracovanie výsledkov:

1. Zistíme objemovú hmotnosť neznámej kvapaliny pomocou vztlakových síl F_1 , F_2 , F_3 alebo pri použití laboratórnych váh tieto vyjadríme pomocou hmotnosti m_1 , m_2 , m_3 . Objemovú hmotnosť vypočítame podľa vzťahu (2).
2. Vypočítajte chybu merania podľa vzťahu (3) a výsledok uvádzajte v tvare $\rho = \bar{\rho} \pm \text{chyba merania}$
3. Výsledky merania objemovej hmotnosti získané v bode 1. porovnajte s hodnotou stanovenou pomocou Mohrových váh.

c) MERANIE OBJEMOVEJ HMOTNOSTI KVAPALINY PYKNOMETROM.

Metóda vychádza z možnosti, ktorú poskytuje pyknometer, t.j. vymedziť rovnaký objem V známej a neznámej kvapaliny. Porovnaním hmotností oboch kvapalín môžeme určiť objemovú hmotnosť neznámej kvapaliny. Pyknometer je sklenená nádoba so zabrušeným hrdlom a zabrušenou zátkou s pozdĺžnym kapilárnym otvorom. Pyknometer sa plní kvapalinou tak, aby po zasunutí zátky prebytočná kvapalina vytiekla kapilárou von.

Metóda a postup merania:

Pri meraní je treba urobiť tri váženia.

- a) Zvážíme prázdny pyknometer tiaže G na laboratórnych váhach. Pri rovnováhe platí

$$G = m_1 g - \frac{m_1}{\rho_z} \rho_v g = m_1 \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_z} \right) g,$$

kde m_1 je hmotnosť vyvažujúceho závažia, ρ_z jeho OH, ρ_v objemová hmotnosť vzduchu.

- b) Naplníme pyknometer kvapalinou známej objemovej hmotnosti ρ_0 (napr. destilovanou vodou) a znova vyvážíme. Podmienka rovnováhy bude:

$$V\rho_0g - V\rho_Vg + G = m_2 \left(1 - \frac{\rho_V}{\rho_Z} \right) g,$$

kde m_2 je hmotnosť vyvažujúceho závažia, $V\rho_0g$ – tiaž kvapaliny nachádzajúcej sa v pyknometri, $V\rho_Vg$ – vztlak vzduchu na kvapalinu o objeme V .

- c) Naplníme pyknometer skúmanou kvapalinou a znovu vyvážíme. Pre podmienku rovnováhy dostaneme

$$V\rho g - V\rho_Vg + G = m_3 \left(1 - \frac{\rho_V}{\rho_Z} \right) g,$$

kde m_3 je hmotnosť vyvažujúceho závažia, $V\rho g$ – tiaž neznámej kvapaliny o objeme V .

Odčítaním prvej rovnice od druhej, potom prvej od tretej dostávame dve rovnice, ktoré keď podelíme a po malej úprave získame vzťah pre výpočet OH neznámej kvapaliny

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} (\rho_0 - \rho_V) + \rho_V. \quad (4)$$

Vidíme, že vzťah (4) je formálne zhodný zo vzťahom (2), preto pre výpočet chyby možno písať analogický vzťah ako je (3) t.j.:

$$\delta_\rho^2 = \frac{(\rho - \rho_V)^2}{(\rho_0 - \rho_V)^2} \left\{ \left[\left(\frac{m_3 - m_2}{m_1 - m_2} \right)^2 + \left(\frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \right)^2 + 1 \right] \frac{(\rho_0 - \rho_V)^2}{(m_1 - m_3)^2} \delta_m^2 + \delta_{\rho_0}^2 + \left(\frac{m_3 - m_2}{m_1 - m_3} \right)^2 \delta_{\rho_V}^2 \right\}, \quad (5)$$

kde (δ_m) je chyba merania hmotnosti a δ_{ρ_0} , δ_{ρ_V} sú chyby vstupných údajov ρ_0 , ρ_V .

Úlohy:

1. Určte objemovú hmotnosť neznámej kvapaliny pyknometrickou metódou.
2. Daný výsledok porovnajte s výsledkami získanými v predchádzajúcich metódach.
3. Na základe vzťahu (5) stanovte chybu meranej veličiny.

Spracovanie výsledkov:

1. Zistíme OH neznámej kvapaliny pomocou kvapaliny známej OH pyknometrickou metódou určením jednotlivých hmotností m_1 , m_2 a m_3 . OH vypočítame podľa vzťahu (4).
2. Vypočítajte chybu merania podľa (5) a výsledok uvádzajte v tvare $\rho = \bar{\rho} \pm \delta_\rho$.
3. Daný výsledok porovnajte s hodnotami získanými pomocou predošlých metód.

Kontrolné otázky:

1. Čo je to objemová hmotnosť látky? Uveďte jednotku.
2. Popíšte hustomer.
3. Popíšte hydrostatickú metódu merania objemovej hmotnosti.
4. Popíšte Móhrove váhy.
5. Popíšte pyknometer.
6. Popíšte pyknometrickú metódu merania objemovej hmotnosti.

Úloha je prevzatá, doplnená a opravená, zo skrípt:

Doc. RNDr. Drahoslav Vajda, CSc., Doc. Ing. Július Štelina, CSc., RNDr. Jaroslav Kovár, Ing. Ctibor Musil, CSc., RNDr. Ivan Bellan, Doc. Ing. Igor Jamnický, CSc. „Návody k laboratorným cvičeniam z fyziky“, vydala Žilinská univerzita vo vydavateľstve EDIS, 2. nezmenené vydanie, rok 2003.