

## Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:  2	Název úlohy:  Měření objemu, vážení a stanovení hustoty
----------------------	---

### Úkol měření

Určete hustotu pevné látky ze změřeného objemu tělesa a jeho hmotnosti. Vypočtete chybu stanovení hustoty.

Určete hustotu neznámé kapaliny výpočtem ze změřeného objemu a hmotnosti a výsledek porovnejte s hodnotou naměřenou Mohrovými vahami a hustoměrem.

### Obecná část

Hmotnost je fyzikální veličina, jejíž základní jednotka je kilogram [kg]. Na určení hmotnosti používáme rovnoramenné anebo analytické váhy. Náročnější vážení se vykonává v uzavřené skřínce, aby se vyloučil vliv proudu vzduchu. Rovnoramenné pákové váhy jsou jednoduché a velmi citlivé; nevýhodou je citlivost na ořesy a potřeba sady závaží.

Objem je fyzikální veličina, jejíž základní jednotka je kubický metr [m<sup>3</sup>]. V praxi se používají menší jednotky - litr [l, dm<sup>3</sup>], případně mililitr [ml, cm<sup>3</sup>]. Na měření objemu kapalin používáme odměrné nádoby.

Hustota  $\rho$  homogenní látky je definována jako podíl její hmotnosti  $m$  a jejího objemu  $V$ :

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

### Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami

Metoda měření hustoty kapalin podle Mohrových vah je vlastně hydrostatická metoda založená na Archimédově zákoně a nazýváme ji metodou ponorného tělíska. Tato metoda spočívá ve vážení tělíska v kapalině známé hustoty a následovně vážení v kapalině neznámé hustoty, jejíž hustotu chceme určit. Mohrovy váhy tudíž slouží k rychlému měření hustoty kapalin.

Mohrovy vážky jsou nerovnoramenné pákové váhy (viz obr. 1), jejichž delší rameno **R** je rozděleno na 9 kratších úseků s možností zavěšení závaží **Z** o různých hmotnostech. Na konci tohoto ramene je pak háček na zavěšení tzv. měrného tělíska **T**. Kratší rameno nese vyvažovací závaží **V**, jehož vzdálenost od osy páky je možno v menším rozmezí měnit. Před zahájením měření se upraví poměry na vážkách tak, aby byla dosažena rovnováha, je-li tělísko zavěšené na vzduchu. Při ponoření tělíska do měřené kapaliny se vyrovná vztlaková síla pomocí závaží (jezdců) vhodně rozmístěných na děleném rameni. Závaží mají hmotnost 10 g, 1 g, 0,1 g a 0,01 g. Závaží o hmotnosti 10 g při umístění na prvním a devátém dílku vyrovná právě vztlak působící na tělísko ponořené v kapalině hustoty  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , neboli  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Podle návodu k Mohrovým vážkám se hustota vypočítá podle rovnice:

$$\rho = 0,1 \cdot m + 0,1 \cdot m \cdot e + 0,0012 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (2)$$

kde  $m$  je výsledná hmotnost, která je dána počtem jednotlivých závaží a jejich polohou na rameni

$$e = 0,0002$$

*Příklad výpočtu:*

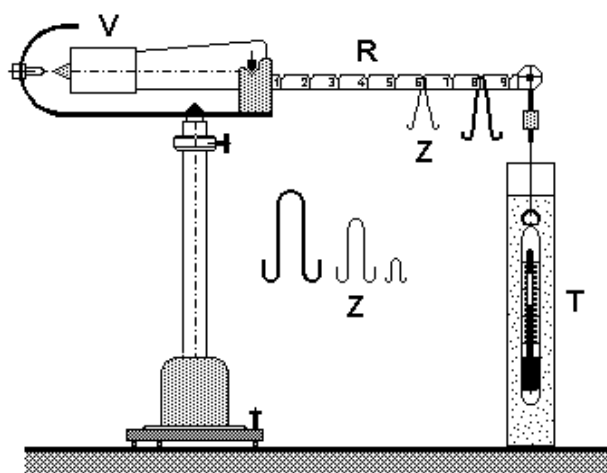
Závaží o hmotnosti 10 g umístěné na 9. dílku	$m_1 = 9 \text{ g}$
Závaží o hmotnosti 10 g umístěné na 2. dílku	$m_2 = 2 \text{ g}$
Závaží o hmotnosti 1 g umístěné na 4. dílku	$m_3 = 0,4 \text{ g}$
Závaží o hmotnosti 0,1 g umístěné na 2. dílku	$m_4 = 0,02 \text{ g}$
Závaží o hmotnosti 0,01 g umístěné na 5. dílku	$m_5 = 0,005 \text{ g}$
	$\Sigma m = m = 11,425 \text{ g}$

$$\rho = 0,1 \cdot 11,425 + 0,1 \cdot 11,425 \cdot 0,0002 + 0,0012 \doteq 1,144 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Takto zjištěná hustota zkoumané kapaliny vyhovuje orientačnímu měření. Při této metodě se ale může uplatnit systematická chyba způsobená nepřesností objemu tělíska, která je dána jednak výrobou a jednak vlivem teplotní roztažnosti. Pro přesnější určování hustoty se vážky kontrolují ponořením ponorného tělíska do kapaliny známé hustoty, v našem případě do destilované vody (přesná hustota  $\rho_v$  v závislosti na teplotě měření je uvedena v tabulkách).

Jestliže byla z rozložení jezdců zjištěna hustota destilované vody  $\rho'_v$  a její tabulková hodnota při dané teplotě je  $\rho_v$ , zavádí se opravný koeficient  $k$ :

$$k = \frac{\rho_v}{\rho'_v} \quad (3)$$



Obr. 1: Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami

### Použité přístroje

Laboratorní analytické váhy, odměrné válce, Mohrovy váhy, hustoměry, teploměr

### Postup práce

1. Před vážením se přesvědčte, že váhy jsou ve vodorovné poloze. Zvažte těleso.
2. Stanovte objem tělesa pomocí odměrného válce.
3. Vyberte vhodný odměrný válec, aby jím pevné těleso volně prošlo, aniž by se dotýkalo stěn.
4. Do odměrného válce nalijte kapalinu - vodu.
5. Odměřte objem nalité kapaliny:  $V_1$
6. Těleso zavěšené na niti ponořte do kapaliny v odměrném válci. Hladina kapaliny v odměrném válci stoupne. Určete objem kapaliny s ponořeným tělesem:  $V_2$
7. Objem  $V$  tělesa potom určete jako rozdíl objemů  $V_2$  a  $V_1$ :

$$V = V_2 - V_1 \quad (4)$$

8. Měření proved'te podle potřeby 5 a více krát.
9. Naměřené hodnoty запиšte do připravené tabulky, zpracujte.
10. Hustotu tělesa určete ze vztahu (1) a uveďte ve tvaru  $\rho = (\bar{\rho} \pm \bar{s}_\rho)\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
  
11. Obdobně určete hustotu neznámé kapaliny.
12. Vyberte vhodný odměrný válec, zvažte prázdný:  $m_1$ .
13. Do odměrného válce nalijte neznámou kapalinu, odměřte objem nalité kapaliny  $V$ .
14. Zvažte odměrný válec s neznámou kapalinou:  $m_2$ .
15. Hmotnost neznámé kapaliny určíme jako rozdíl hmotností:  $m = m_2 - m_1$ . (5)
16. Měření proved'te podle potřeby 5 a více krát.
17. Naměřené hodnoty запиšte do připravené tabulky, zpracujte.
18. Hustotu neznámé kapaliny určete ze vztahu (1) a uveďte ve tvaru  $\rho = (\bar{\rho} \pm \bar{s}_\rho)\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
  
19. Dále změřte hustotu pomocí Mohrových vah: nastavte nulovou polohu vah pomocí stavěcí matice (tak, aby se jezdecky rovnaly) při tělísku zavěšeném na vzduchu.
20. Do odměrného válce k vahám nalijte destilovanou vodu. Tělísko do něj umístěte tak, aby bylo celé ponořené. Změřte teplotu vzorku.
21. Váhy poté za pomoci těžítek vyvažte a zjistěte hustotu destilované vody při zjištěné teplotě výpočtem podle rovnice 2. Potom tyto hodnoty porovnejte s hodnotami z tabulek a vypočtete opravný koeficient  $k$  podle rovnice 3.
22. Vyměňte vodu za neznámou kapalinu a postupujte stejně jako při měření s destilovanou vodou. Hustotu vypočtete ze zjištěné hmotnosti závaží vyvažující vztlakovou sílu podle rovnice 2.
23. Zjištěnou hodnotu hustoty upravte tak, aby odpovídala správné hodnotě hustoty neznámé kapaliny, tj. vynásobte opravným koeficientem  $k$ .
24. Hustotu neznámé kapaliny a destilované vody změřte ještě jednou, tentokrát za pomoci ponorných hustoměrů.
25. Hodnoty zjištěné různými metodami porovnejte a okomentujte.

### Výsledky - tabulky naměřených hodnot