

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:

2

Název úlohy:

Měření objemu, vážení a stanovení hustoty

Úkol měření

- Vypočítejte hustotu pevné látky (tělesa) ze změřeného objemu tělesa a jeho hmotnosti. Stanovte nejistotu výsledku.
- Vypočítejte hustotu neznámé kapaliny z objemu a hmotnosti pomocí pyknometrické metody, dále stanovte hustotu neznámé kapaliny pomocí Mohrových vah; a hustoměru. Výsledky hustoty získané pomocí tří různých metod vzájemně porovnejte.

Obecná část

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

Objem je fyzikální veličina, jejíž základní jednotka je kubický metr [m³]. V praxi se používají menší jednotky - litr [l, dm³], případně mililitr [ml, cm³]. Na měření objemu kapalin používáme odměrné nádoby.

Hustota ρ homogenní látky je definována jako podíl její hmotnosti m a jejího objemu V :

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

Pyknometrické stanovení hustoty

Pyknometr je nádobka určená ke stanovování hustoty kapalin (viz Obrázek 1). Jeho funkce je založena na tom, že při úplném naplnění a uzavření zátkou s kapilárou pojme vždy stejný, snadno reprodukovatelný objem V kapaliny. Hustota ρ kapaliny se pak určuje podle vzorce (1) z její hmotnosti m (určeno vážením) a objemu V .



Obrázek 1 Pyknometr

Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami

Metoda měření hustoty kapalin podle Mohrových vah (viz Obrázek 2) 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 váhy jsou nerovnoramenné pákové váhy (viz Obrázek 2), 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 tělíčko zavěšené na vzduchu. Při ponoření tělíčka do měřené kapaliny se vyrovná vztlková 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 tělíčko 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

$$e = 0,0002$$

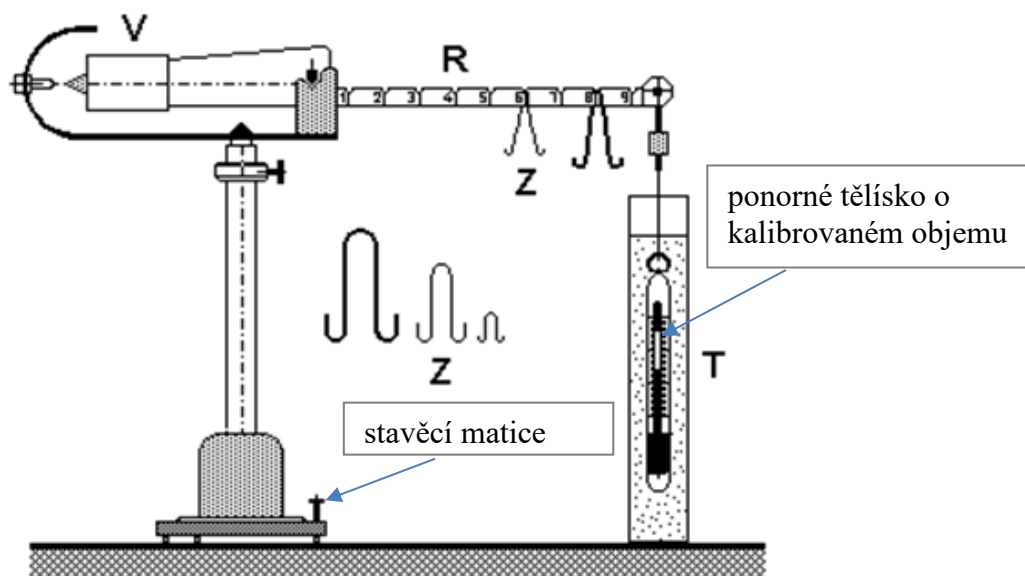
Příklad výpočtu:

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 tělíčka, která je dána jednak výrobou a jednak vlivem teplotní roztažnosti. Pro přesnější určování hustoty se vážky kontrolují ponořením ponorného tělíčka do kapaliny známé hustoty, v našem případě do destilované vody (přesná hustota ρ_v v závislosti na teplotě měření je uvedena v tabulkách). Jestliže byla z rozložení jezdců zjištěna hustota destilované vody ρ'_v a její tabulková hodnota při dané teplotě je ρ_v , zavádí se opravný koeficient k :

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



Obrázek 2 Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami

Měření hustoměrem

Hustoměr je ponorné těleso většinou ve tvaru baňky s vystupující stopkou, ve které je umístěna stupnice udávající hustotu kapaliny (viz Obrázek 3). Hustoměry slouží k měření hustoty kapalin na základě Archimedova zákona. Vyrábějí se v různých měřících rozsazích.



Obrázek 3 Hustoměry

Použité přístroje

Laboratorní analytické váhy, odměrné válce, pyknometr, Mohrovy váhy, hustoměry, teploměry

Postup práce**Ad a) hustota pevné látky**

1. Před vážením na analytických vahách se přesvědčte, že jsou ustaveny ve vodorovné poloze (bublínka vodováhy je uprostřed kružnice).
2. Zvažte zadané těleso.
3. Vyberte vhodný odměrný válec, aby jím pevné těleso volně prošlo a přitom byla správnost odečtu co nejpřesnější (válec s nejmenším možným dělením).
4. Do odměrného válce nalijte kapalinu – vodu.
5. Odměřte objem nalité kapaliny: V_1
6. Zadané 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 vypočítejte jako rozdíl objemů V_2 a V_1 : $V = V_2 - V_1$ (4)
8. Měření (vážení a stanovení objemu) proveďte minimálně 5 x; a v případě potřeby více krát.
9. Naměřené hodnoty запиšte do připravené tabulky, vypočítejte hustoty jednotlivých měření.
10. Hustotu tělesa určete ze vztahu (1) a výslednou hodnotu hustoty pevného tělesa uveďte ve tvaru $\rho = (\bar{\rho} \pm \bar{s}_\rho) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, kde $\bar{\rho}$ je průměrná hodnota hustoty a \bar{s}_ρ je nejistota výsledku.

Ad b) hustota neznámé kapalinyPyknetrické stanovení hustoty

1. Poznamenejte si objem pyknometru V .
2. Zvažte prázdný suchý pyknometr i se zátkou (hmotnost m_1).
3. Pyknometr naplňte až po okraj neznámou kapalinou a zázátkujte, přičemž přebytečná kapalina vyteče otvorem v zátku.
4. Pyknometr velice pečlivě osušte papírovou utěrkou a zvažte (hmotnost m_2).
5. Hmotnost neznámé kapaliny určíme jako rozdíl hmotností: $m = m_2 - m_1$ (5)
6. Pyknometr vylijte a vysušte.
7. Měření hmotnosti (postup 2–5) proveďte minimálně 5 x; a v případě potřeby více krát.
8. Naměřené hodnoty запиšte do připravené tabulky, vypočítejte hustoty jednotlivých měření.
9. Hustotu neznámé kapaliny určete ze vztahu (1) a výslednou hodnotu uveďte ve tvaru $\rho = (\bar{\rho} \pm \bar{s}_\rho) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, kde $\bar{\rho}$ je průměrná hodnota hustoty a \bar{s}_ρ je nejistota výsledku.

Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami

1. Na háček umístěný na konci ramene zavěste opatrně ponorné tělísko o kalibrovaném objemu, které je uloženo v dřevěné krabičce.
2. Nastavte nulovou polohu vah pomocí stavěcí matice (tak, aby se jezdeck rovňaly) při tělísku zavěšeném na vzduchu.
3. Do odměrného válce k vahám nalijte destilovanou vodu. Změřte teplotu vzorku.
4. Ponorné tělísko do něj umístěte tak, aby bylo **celé ponořené** (viz Obrázek 2) a aby se nedotýkalo stěn ani dna odměrného válce.
5. Váhy poté za pomoci závaží vyvažte tak, aby se obnovila rovnováha
6. Z pořadí obsazených háčků a hmotností na nich zavěšených závaží (viz příklad v obecné části) spočítejte celkovou hmotnost Σm .
7. Výpočtem podle rovnice 2 určete hustotu ρ_v zkoumané kapaliny.
8. Potom vypočtenou hodnotu porovnejte s tabulkovou hodnotou hustoty vody ρ při zjištěné teplotě (možno využít Tabulky fyzikálních konstant/Tabulka 1/Teplotní závislost hustoty destilované vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]) a vypočtete opravný koeficient k podle rovnice 3.
9. Sundejte závaží a vyměňte vodu za neznámou kapalinu.
10. Postupujte stejně jako při měření s destilovanou vodou (opakujte postup 4–7).
11. Zjištěnou hodnotu hustoty neznámé kapaliny upravte tak, aby odpovídala správné hodnotě hustoty neznámé kapaliny, tj. vynásobte opravným koeficientem k
($\rho_v = \rho_v' \cdot k$)

Měření hustoty pomocí hustoměru

1. Vyberte hustoměr o vhodném rozsahu.
2. Neznámou kapalinu nalijte do vhodného válce a vložte do ní hustoměr tak., aby v kapalině plaval; a nedotýkal se stěn nebo dna válce.
3. Odečtete na stupnici hodnotu hustoty v místě, kde hladina kapaliny protíná stupnici hustoměru.
4. Hodnoty hustoty neznámé kapaliny zjištěné různými metodami porovnejte a okomentujte.

Výsledky – tabulky naměřených hodnot