

7.4 Návod na laboratórne merania č.4 a č.5

Meranie hustoty látok

Pri teoretických aj praktických prácach je potrebné charakterizovať používaný materiál hmotnosťou, ktorá sa nachádza v objemovej jednotke. Túto vlastnosť môžeme vyjadriť týmito názvami: hustota (merná hmotnosť je predtým používaný názov pre hustotu) a objemová hmotnosť.

- **Hustota** – znamená hmotnosť materiálu m , vyjadrenú v kg, ktorá sa nachádza v objeme 1 m^3 . Označuje sa gréckym písmenom ρ a vypočíta sa podľa vzťahu:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Objemová hmotnosť sa používa na vyjadrenie vlastností nehomogénnych materiálov. Je to hmotnosť objemovej jednotky vyjadrená v kg.m^{-3} . Stanovenie hustoty kvapalných aj tuhých látok sa robí tiež v pyknometroch. Sú to sklené duté nádoby, ktoré majú presný objem s možnosťou uzatvárania zátkou. Pre stanovenie hustoty pevných látok sa používajú špeciálne pyknometre so širokým hrdlom.

Meranie hustoty pevných látok

Pre meranie hustoty pevných látok používame: metódu hydrostatickú, metódu pyknometrickú a metódu rovnakých hustôt.

- **Hydrostatická metóda** je založená na dvojitom vážení telesa, ktorého hustotu hľadáme. Prvé váženie robíme na vzduchu, pričom hustotu vzduchu označíme σ a hmotnosť vyvažujúceho závažia Z_1 . Druhý krát vážime v kvapaline so známou hustotou ρ_2 a hmotnosť vyvažujúceho závažia označíme Z_2 . Váženie sa robí na rovníramenných váhach, ktoré sú prispôbosené k zaveseniu váženého telesa a k ponoreniu telesa do kvapaliny. Tieto váhy sa nazývajú hydrostatické. Podmienky rovnováhy pre prvé a druhé váženie možno vyjadriť nasledovne:

$$\begin{aligned} Z_1 g - \frac{Z_1}{\delta} \sigma g &= M g - \frac{M}{g} \sigma g \\ Z_2 g - \frac{Z_2}{\delta} \sigma g &= M g - \frac{M}{g} \rho_2 g \end{aligned}$$

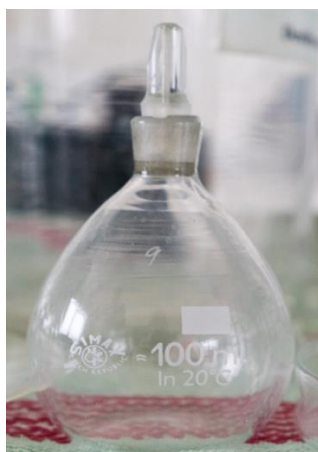
V podmienke rovnováhy formulovanej v prvom z predchádzajúcich vzťahov uvažujeme vztlak pôsobiaci na závažie s hustotou δ vo vzduchu s hustotou σ aj vztlak pôsobiaci vo vzduchu na teleso s hmotnosťou M . V podmienke formulovanej v druhom z predchádzajúcich vzťahov uvažujeme vztlak pôsobiaci na závažie vo vzduchu a na teleso s hmotnosťou M v kvapaline známej hustoty. Ak vydelíme prvú rovnicu druhou rovnicou, dostaneme po úprave pre hľadanú hustotu látky vzťah:

$$\rho = \frac{\rho_2 Z_1 - \sigma Z_2}{Z_1 - Z_2}$$

- **Pyknometrická metóda** spočíva v tom, že sa pyknometer (Obr. 57) naplní kalibračnou kvapalinou tak, aby sa meniskus dotýkal rysky. Na analytických váhach

odvážime vzorku skúšobného telesa – Z_1 , pyknometer naplnený vodou (kalibrovaná kvapalina a hustotou ρ_2) – Z_2 a pyknometer s vodou + v nej ponorenú vzorku – Z_3 . Zo vzťahu vypočítame hustotu daného skúšobného telesa. Chyby stanovenia hustoty pevných látok vznikajú najčastejšie uchytением vzduchových bublín na povrchu. Najčastejšie sa odstraňujú prídavkom zmáčadla alebo liehu k mernej kvapaline, príp. mechanicky pomocou drôtika.

$$\rho = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \rho_2$$



Obrázok 57 Pyknometer s objemom 100 ml

- **Metóda rovnakých hustôt** - hustotu veľmi drobných teliesok možno dobre stanoviť, ak ich necháme vznášať v kvapaline, ktorá má s nimi rovnakú hustotu. Kvapalinu požadovanej hustoty získame zmiešaním dvoch kvapalín, jednej s väčšou a druhej s menšou hustotou ako je hustota meranej látky (Tab. 7).

Tabuľka 7 Kvapaliny vhodné pre meranie metódou rovnakých hustôt

Látka, ρ (kg.m ⁻³)	Látka, ρ (kg.m ⁻³)
Acetylentetrabromid 3 000	Chloroform 1 490
Bromoform 2 892	Benzén 881
Bromnaftalen 1 483	Toluén 890
Methyljodid 2 270	Xylén 870
Vodný roztok jodidu draselno-ortuťnatého alebo bárnatoortuťnatého až 3 200	Vodný roztok chloridu sodného alebo dusičnanu sodného až 1 148-1 420
Látky z ľavého stĺpca sa riedia zodpovedajúcimi látkami z pravého stĺpca. Hustoty kvapalín sa vzťahujú k teplote 18 °C	

Ak dosiahneme stav, kedy sa telieska práve vznášajú v kvapaline zmeriame hustotu kvapaliny a tým tiež zistíme hľadanú hustotu teliesok. Pre záverečné nastavenie okamihu vznášania možno hustotu kvapaliny meniť okrem miešania tiež zmenou teploty. Pretože hustota kvapalín závisí od teploty, je pri všetkých uvedených meraniach potrebné merať teplotu a tabuľkové hodnoty známych hustôt dosadzovať pre príslušné teploty. Pri ponorení telies do kvapaliny sa musíme presvedčiť, že sa na nich nezachytili vzduchové bubliny. Hlavne pri meraní drobných telies môžu bubliny

spôsobiť úplne chybný výsledok merania hustoty. Pri tejto metóde je potrebné voliť kvapaliny tak, aby sa v nich meraná látka nerozpúšťala, chemicky nereagovala a pod.

Meranie hustoty kvapalín

Podobne ako hustotu pevných látok možno aj hustotu kvapalín merať rôznymi spôsobmi. V ďalšom texte uvádzame najpoužívanejšie metódy určovania hustoty kvapalín:

- **Pyknometrická metóda** je založená na porovnaní hmotnosti rovnakého objemu meranej kvapaliny a kvapaliny so známou hustotou. Rovnaký objem je vymedzený pyknometrom. Najskôr zvážime prázdny suchý pyknometer Z_1 . Potom pyknometer naplnený kvapalinou so známou hustotou ρ_2 a hmotnosťou Z_2 . Po dôkladnom vymytí a vysušení naplníme pyknometer kvapalinou s neznámou hustotou ρ a zvážime, čím získame hmotnosť Z_3 . Pomer hmotností rovnakého objemu rôznych kvapalín je rovnaký ako pomer ich hustôt. Pre výslednú hustotu potom platí:

$$\rho = \frac{Z_3 - Z_1}{Z_2 - Z_1} \rho_2$$

- **Metóda ponorného telieska** - zvážime to isté teleso raz v kvapaline so známou hustotou ρ_2 a hmotnosťou Z_2 , raz v kvapaline ktorej hustotu hľadáme ρ , Z_1 a raz vo vzduchu s hmotnosťou Z_3 . Podmienky rovnováhy pre jednotlivé vážená, ak označíme M hmotnosť a δ_1 hustotu váženého telesa, δ hustotu závaží, možno vyjadriť v nasledovnom tvare:

$$\begin{aligned} Z_2 - \frac{Z_2}{\delta} \sigma &= M - \frac{M}{\delta_1} \rho_2 \\ Z_1 - \frac{Z_1}{\delta} \sigma &= M - \frac{M}{\delta_1} \rho \\ Z_3 - \frac{Z_3}{\delta} \sigma &= M - \frac{M}{\delta_1} \rho \end{aligned}$$

Ak odpočítame druhú rovnicu od tretej a prvú rovnicu od tretej a vzniknuté rovnice vydělíme, dostaneme nasledovné vyjadrenie:

$$\frac{Z_3 - Z_1}{Z_3 - Z_2} = \frac{\rho - \sigma}{\rho_2 - \sigma}$$

Z posledného vzťahu vyjadríme hustotu ρ :

$$\rho = \frac{Z_3 - Z_1}{Z_3 - Z_2} (\rho_2 - \sigma) + \sigma$$

Pri menej presnom meraní neprevádzame opravu na vztlak a v poslednej rovnici položíme $\sigma = 0$. Ponorné teliesko býva sklenené s teplomerom. Meranie sa prevádza na hydrostatických váhach.

- **Mohrove váhy** – princíp merania nimi je v podstate aplikáciou metódy ponorného telieska. Mohrove váhy (Obr. 58) sú z pohľadu konštrukcie pákové nerovnoramenné váhy, na ktorých dlhšom ramene je zavesené ponorné teliesko. Dlhšie rameno je

rozdelené na 10 rovnakých dielov jemnými zárezmi, na ktorých sa vešajú závažia Z v tvare jazdcov. Na zárezoch bližších osi vážok je účinok jazdcov menší a je iba toľko desatín z udanej hodnoty jazdca, na koľkom záreze je zavesený. Najväčší jazdec na desiatom záreze zodpovedá hustote 1 g.cm^{-3} , druhý má desatinu jeho hmotnosti, tretí stotinu. Pri kalibrácii vážok zavesíme ponorné teliesko na konci deleného ramena váh v mieste desiateho zárezu. Teliesko ponoríme do kvapaliny so známou hustotou a jazdce rozložíme tak, aby ich rozmiestnenie v ryhách na dlhšom ramene zodpovedalo známej hustote kvapaliny. Skrutkou nastavíme nulovú polohu vážok, vyznačenú dvojicou jazýčkov váh alebo ryskou na stupnici. Tým sú vážky pripravené na meranie. Meriame tak, že teleso ponoríme do skúmanej kvapaliny a zavesením jazdcov postupne od najťažšieho k najľahšiemu do vhodných zárezov nastavíme nulovú polohu váh. Hustotu odčítame priamo z rozloženia jazdcov.



Obrázok 58 Mohrove váhy

- **Hustomer** – je jedným z najbežnejších meradiel slúžiacich na meranie hustoty kvapalín. Hustomery slúžia k rýchlemu meraniu hustoty kvapalín (Obr. 59). Sú to zatavené sklenené trubice prispôbosené k stabilnému plávaniu vo zvislej polohe. Podľa Archimedovho zákona sa hustomer ponorí tak hlboko, až je hmotnosť kvapaliny telesom vytlačená rovná hmotnosti hustomeru. Hĺbka ponorenia hustomeru teda závisí od hustoty kvapaliny. V kvapalinách s menšou hustotou sa hustomer ponorí hlbšie ako v kvapalinách s hustotou vyššou. Možno teda na hustomere presne vyznačiť hĺbku ponoru zodpovedajúcu istej hustote a tak na ňom vytvoriť stupnicu hustôt. Pri meraní odpočítame, ktorý dielik stupnice hustomeru leží v rovine ponoru, a tak priamo zmeriame hustotu kvapaliny. Namiesto stupníc udávajúcich hustotu kvapaliny v jednotkách SI alebo v g.cm^{-3} , ktoré sú nerovnomerné, sa často u hustomerov používa rovnomerné delenie v stupňoch Bauméových.



Obrázok 59 Hustomer na určovanie hustoty kvapalín

Meranie hustoty kvapalín mohrovými váhami a hustomerom (Laboratórna úloha č. 4)

Dátum merania	Meno a priezvisko	Študijný odbor	Hodnotenie	
Meranie hustoty kvapalín mohrovými váhami a hustomerom			Teplota	
			Tlak	
			Vlhkosť	

➤ Teória k meraniu:

Hustota kvapaliny alebo látky ρ je veličina definovaná ako podiel hmotnosti m a objemu V určitého množstva kvapaliny vzťahom:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Jednotkou hustoty látky v sústave SI je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, praxi sa však väčšinou používa tisíckrát väčšia jednotka $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Hustota látky závisí od teploty a tlaku.

Stanovenie hustoty kvapalín možno robiť viacerými spôsobmi. Metódy merania vychádzajú buď z definície veličiny (priame metódy) alebo z vyšetřovania vztlaku v kvapaline (nepriame metódy).

Určíme hustotu destilovanej vody Mohrovými váškami (Obr. 60). Nameraná hodnota nech je ρ_V' . V tabuľkách nájdeme hodnotu hustoty vody ρ_V pre danú teplotu. Pre konštantu C platí:

$$C = \frac{\rho_V}{\rho_V'}$$

kde ρ_V je hustota vody v daných podmienkach podľa tabuliek a ρ_V' je hustota vody nameraná Mohrovými váhami.

Namerané hodnoty skúmaných kvapalín násobíme konštantou C a dostaneme skutočnú hustotu kvapaliny ρ

$$\rho = C\rho'$$

- **Úloha:** Zistite hustotu troch rôznych kvapalín pomocou Mohrovch váh a hustomera.
- **Pomôcky:** Mohrove váhy s jazdcami a ponorným telieskom, valcové nádoby, roztok cukrovej vody, roztok modrej skalice, destilovaná voda, hustomer a teplomer.
- **Postup:**
 1. Pred samotným určovaním hustoty zistíme pomocou teplomera teplotu všetkých kvapalín a pre destilovanú vodu k príslušnej teplote nájdeme vo fyzikálno-chemických tabuľkách jej hustotu ρ_V .
 2. Hustotu skúmaných kvapalín meriame najskôr hustomerom. Hustomer je dutá sklená trubica, uzatvorená na oboch koncoch a na jednom konci zaťažená ortuťou alebo olovenými guľôčkami, takže v kvapaline pláva v kolmej (zvislej) polohe. Pri meraní sa hustomer musí voľne vznášať v kvapaline. Pri meraní hustomerom dbáme na to, aby hustomer nedopadol na dno a nerozbiť sa (je vhodné hustomer pri ponáraní do kvapaliny držať až dovtedy, kým nie je ponorený do polovice stupnice). Hustomer by

sa po ustálení nemal dotýkať steny odmerného valca (mal by byť uprostred), ak to tak nie je, tak hustomer presunieme do stredu odmerného valca, pridržíme ho a počkáme, kým sa ustáli. Predtým ako odčítame hodnotu hustoty, určíme veľkosť 1 dielika na stupnici hustomera. Na stupnici odčítavame hodnotu dolnej časti menisku meranej kvapaliny, tam kde sa hladina kvapaliny prekrýva s dielikom stupnice. Stanovenie je rýchle a jednoduché, presnosť je v mnohých prípadoch dostačujúca. Výsledky meraní zapíšeme do tabuľky A). Treba poznamenať, že meranie hustomerom je vzhľadom na veľkosť 1 dielika považované za orientačné. Pre presnejšie určenie hustoty kvapalín použijeme Mohrove váhy.



Obrázok 60 Mohrove váhy s ponorným telieskom ponoreným v kvapaline

3. Najskôr zostavíme Mohrove váhy podľa obrázka, pričom ponorné teliesko je vo vzduchu. Potom Mohrove váhy vyvážíme na vzduchu, pričom používame špeciálne vyvažovacie skrutky na ramene Mohrových váh a na stojane váh. Váhy sú vyvážené, ak ručička Mohrových váh smeruje do stredu ich stupnice.
4. Po vyvážení ponoríme ponorné teliesko do kvapaliny. V odmernom valci musí byť toľko kvapaliny, aby dĺžka ponoreného drôtu, na ktorom visí ponorené teliesko, bola 1 cm. Keďže pri ponorení telieska došlo k porušeniu rovnováhy snažíme sa obnoviť stav rovnováhy.
5. Zabezpečenie rovnováhy robíme pomocou jazdcov. Najväčší jazdec umiestnený na i-tom dieliku znamená stonásobok jednotiek hustoty. Stredný jazdec na j-tom dieliku znamená desaťnásobok jednotiek a najmenší na k-tom dieliky znamená jeden násobok. Z polôh jazdcov určíme ρ' nasledovne $\rho' = 100 i + 10 j + 1 k$. Hodnotu hustoty ρ' zapíšeme do tabuľky B)
6. Rozoberieme sústavu, opláchneme ponorné teliesko a odstránime z nádoby roztok. Opakujeme celý postup merania pre ďalšie kvapaliny. Výsledky merania zapíšeme do tabuľky B).
7. Prvé meranie uskutočníme pre destilovanú vodu, aby sme mohli podľa vzťahu $C = \frac{\rho_V}{\rho_V'}$ určiť hodnotu konštanty C. Vo vzťahu pre C je ρ_V hustota destilovanej vody určená

z tabuliek a ρ_V' je hodnota hustoty destilovanej vody určená merním pomocou Mohrových váh.

8. Nakoniec vypočítame hodnoty hustoty ρ ako súčin konštanty C a hustoty určenej Mohrovými váhami ρ' - výsledok zapíšeme do tabuľky B).
9. Porovnáme výsledky oboch metód pre jednotlivé skúmané kvapaliny a ohodnotíme ich príslušnou chybou merania, tak že stanovíme jej veľkosť ako polovicu najmenšieho dielika stupnice hustomera a aj Mohrových váh.

➤ **Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:**

A)

Kvapalina	Hustota ρ (kg m ⁻³)	Teplota t (°C)
Destilovaná voda		
Roztok cukru		
Modrá skalica		

B)

Kvapalina	Poloha jazdca			ρ' (kg m ⁻³)	ρ (kg m ⁻³)	t (°C)
	100	10	1			
Destilovaná voda						
Roztok cukru						
Modrá skalica						

➤ **Spracovanie nameraných hodnôt:**

Výpočet konštanty C pre destilovanú vodu:

$$C = \frac{\rho_V}{\rho_V'} \dots\dots\dots$$

.....

Výpočet hustoty kvapaliny pre destilovanú vodu:

$$\rho = C\rho' \dots\dots\dots$$

.....

Výpočet hustoty kvapaliny pre roztok cukru:

$$\rho = C\rho' \dots\dots\dots$$

.....

Výpočet hustoty kvapaliny pre roztok modrej skalice:

$$\rho = C\rho' \dots\dots\dots$$

.....

.....

Výpočet chyby merania z najmenšieho dielika stupnice hustomera a Mohrových váh:

.....

.....

➤ **Záver:**

1. Zapíšte výsledky merania v tvare skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny pre meranie hustomerom a potom pre meranie Mohrovými váhami.
-
-

2. Porovnajte hodnotu hustoty destilovanej vody zistenú z fyzikálno-chemických tabuliek s hodnotou hustoty zistenou hustomerom a Mohrovými váhami:
-
-

3. Charakterizujte presnosť merania Mohrovými váhami a hustomerom a napíšte, aké sú možné zdroje chýb pri uvedených meracích metódach:
-
-

4. Vysvetlite aký fyzikálny zákon sa uplatňuje pri meraní Mohrovými váhami a uveďte jeho presné znenie.
-
-

5. Napíšte, ako by ste využili definičný vzťah pre hustotu pri určovaní hustoty kvapalín, ak by ste mali k dispozícii váhy a odmerný valec.
-
-
-
-
-
-
-
-

Určenie hustoty drobných predmetov pyknometrickou metódou
(Laboratórna úloha č. 5)

Dátum merania	Meno a priezvisko	Študijný odbor	Hodnotenie	
Určenie hustoty drobných predmetov pyknometrickou metódou			Teplota	
			Tlak	
			Vlhkosť	

Pri meraní hustoty tuhých a kvapalných látok berieme do úvahy len vplyv teploty, lebo vplyv tlaku je vzhľadom na ich nízku stlačiteľnosť minimálny. Preto pri údajoch o hustote sa musí uvádzať teplota. Pre výpočet hustoty určitej látky potrebujeme zistiť jej hmotnosť a objem. Hmotnosť určíme vážením na analytických váhach, spôsob určenia objemu závisí najmä od druhu látky a od pomôcok, ktoré máme k dispozícii. Objem telies s jednoduchými geometrickými tvarmi môžeme vypočítať z rozmerov. V prípade kvapalín a nepravidelných telies určíme objem nepriamo – napr. vážením, alebo odmeraním objemu telesom vytlačenej kvapaliny. Pri malých rozmeroch fragmentov pevných materiálov sa používa pyknometrická metóda stanovenia hustoty.

Podstatou merania je zistenie hmotnosti a objemu vzorky bez pórov, preto treba v prípade pórovitej látky vzorku vysušiť a rozdrviť na zrná menšie ako 0,063 mm. Metóda nie je vhodná pre povrchovo aktívne látky, treba použiť kvapalinu inertnú k meranej látke a málo prchavú.

Objem vzorky sa stanoví v pyknometri tak, že pyknometer s naváženou vzorkou sa doplní kvapalinou známej hustoty a znova sa odváži. Presný objem, tzv. vodná hodnota pyknometra, sa zistí stanovením hmotnosti destilovanej vody potrebnej na vyplnenie prázdneho pyknometra.

Po naplnení pyknometra vzorkou a kvapalinou treba zo vzorky odstrániť všetok vzduch: krúživými pohybmi sa obsah pyknometra premiešava, mierne sa pyknometrom poklepáva, prípadne sa vzduch odsáva. Základnou požiadavkou pri meraní je dôsledné temperovanie pred každým vážením. Na meranie sa najčastejšie používa destilovaná voda, xylén, petrolej a pod. Skutočná hustota vzorky sa vypočíta zo vzťahu:

$$\rho = \frac{m_1}{m_3 - (m_2 - m_1)} \rho_k$$

kde: m_1 je hmotnosť vysušenej vzorky (kg),
 m_2 je hmotnosť pyknometra so vzorkou a s meracou kvapalinou (kg),
 m_3 je hmotnosť pyknometra s meracou kvapalinou (kg),
 ρ_k je hustota meracej kvapaliny pri aktuálnej teplote (kg.m⁻³).

Ako meraciu kvapalinu používame destilovanú vodu.



Obrázok 59 *Laboratórne pomôcky pre pyknometrickú metódu – pyknometer, hodinové sklíčko, misky, váhy a zrná*

➤ **Teória k meraniu:**

- a) Hustotou telies geometricky pravidelného tvaru možno určiť priamo delením hmotnosti (ktorú určíme vážením) objemom (vypočítaným z rozmerov získaných meraním). Avšak objem telies nepravidelného tvaru nemožno vypočítať z rozmerov. V takomto prípade sa objem určuje na základe Archimedovho zákona (nepriama metóda). Hustotu môžeme určiť tiež pomocou pomeru meranej hustoty látky k hustote vody (alebo inej kvapaliny známej hustoty). Hustota materiálu je dôležitým fyzikálnym parametrom, ktorý má význam aj pri technických aplikáciách. Hustota ρ homogénnej látky je definovaná podielom hmotnosti m a objemu V danej látky, teda:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Pretože objem meriame v m^3 a hmotnosť v kg, hustota má jednotku $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

V prípade kvapalín a nepravidelných telies ide teda o látku, ktorá nemá pravidelný geometrický tvar a objem sa nezisťuje z rozmerov pomocou výpočtu, ale objem určujeme nepriamou metódou – napr. vážením (pyknometrické stanovenie – Obr. 59), alebo odmeraním objemu telesom vytlačenej kvapaliny.

Ak daná látka má hmotnosť m_1 a rovnaký objem destilovanej vody má hmotnosť m' platia rovnice:

$$m_1 = V\rho \qquad m' = V\rho'$$

kde ρ je hustota vyšetrovanej látky a ρ' je hustota destilovanej vody pri danej teplote. Hustota látky závisí aj od teploty, pri ktorej sa meranie uskutočnilo, pretože zo zmenou teploty nastáva aj zmena objemu. Preto musíme uviesť teplotu, pri ktorej sme merali.

Delením vyššie uvedených rovníc dostaneme:

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{m_1}{m'}$$

Potom neznámu hustotu látky ρ určíme zo vzťahu:

$$\rho = \frac{m_1}{m'} \rho'$$

Pri tomto meraní zanedbávame vztlak vzduchu.

Meranie sa uskutoční pomocou pyknometra. Pyknometer je nádoba, ktorá má presne určený objem. Pyknometrická nádoba umožňuje zistiť objem, ktorý zrná zaujmú v pyknometri. Postup pri meraní možno charakterizovať nasledovne:

Najprv zistíme hmotnosť určitého množstva zrn a túto označíme m_1 . Ďalej zistíme hmotnosť pyknometra naplneného destilovanou vodou a označíme ju m_2 . Potom nasypeme odvážené množstvo zrn do pyknometra. Zrná vytlačia určitý objem vody a voda z pyknometra vytečie otvorom v zátku. Opäť zistíme hmotnosť pyknometra s vodou a zrnami a označíme ju m_3 . Zrná vytlačia určitý objem, ktorý má hmotnosť m' a táto je ako vyplýva z úvahy:

$$m' = m_1 + m_2 - m_3$$

Poznámka k meraniu pyknometrom – Pyknometer je sklená odmerná nádoba uzatvorená zábrusovou sklenou zátkou, v ktorej je kapilára. Pri meraní nesmie ostať v pyknometri žiadna vzduchová bublinka, preto ich odstraňujeme napríklad dlhším drôťkom. Kvapalinu, ktorá po uzatvorení pyknometra zábrusovou zátkou vystúpi z kapiláry, starostlivo odsajeme čistým filtračným papierom alebo utrieme handričkou a po dôkladnom osušení pyknometer odvážime.

- **Úloha:** Určte hustotu zrn obilnín pyknometrickou metódou.
- **Pomôcky:** pyknometer, váhy, teplomer, destilovaná voda, zrná obilnín, hodinové sklíčko, lievik.
- **Postup:**
 1. Zistite teplotu destilovanej vody a vo fyzikálno-chemických tabuľkách vyhľadajte jej hustotu (resp. použite tabuľku nachádzajúcu sa na pracovnom stole).
 2. Pripravte si buď päťkrát po 20 kusov zrn obilnín alebo si pripravte päť verzií s rôznymi počtami (minimálne 20) zrn obilnín (napr. 20 ks, 25 ks, 30 ks, 35 ks a 40 ks). Pozor po zmáčaní zrn vodou, ich už pri ďalšom meraní nemožno použiť.
 3. Určte hmotnosť hodinového sklíčka vážením na laboratórnych váhach, potom na sklíčko položte zvolené množstvo zrn a opäť určte hmotnosť hodinového sklíčka so zrnami. Vypočítajte rozdiel nameraných hmotností a určte hmotnosť zrn m_1 . V prípade, ak je možné váhy vynulovať po položení hodinového sklíčka, tak môžete priamo určovať hmotnosti zrn m_1 .
 4. Pyknometer otvorte, opatrne naplňte destilovanou vodou až po okraj. Po naplnení pyknometra drôťkom odstráňte vzduchové bubliny, uzavrite pyknometer zátkou, tak aby zábrus zátky bol vo vnútri pyknometra, prebytočná destilovaná voda vytečie cez kapilárny otvor v zátku. Potom osušte pyknometer a určte hmotnosť pyknometra s destilovanou vodou m_2 .
 5. Pyknometer otvorte a do pyknometra naplneného destilovanou vodou vložte opatrne zrná (prvú skupinu zrn), tak aby sa zbytočne nevytvárali vzduchové bubliny v kvapaline. Bubliny znovu odstráňte drôťkom, pyknometer uzavrite zátkou a dôkladne osušte. Z pyknometra unikne kvapalina takého objemu, aký je objem zrn. Odvážte hmotnosť pyknometra s vodou a zrnami, čím dostanete m_3 .
 6. Hmotnosť vytlačenej vody m' vypočítajte podľa vzťahu $m' = m_1 + m_2 - m_3$.

7. Hľadanú hustotu zŕn ρ vypočítajte podľa vzťahu $\rho = \frac{m_1}{m'} \rho'$, kde ρ' je hustota destilovanej vody určená z tabuliek. Hustoty uvádzame v kg.m^{-3} (pozn. obe hmotnosti vo vzťahu je možné dosadiť v jednotkách g).
8. Uvedený postup zopakujte ešte 4-krát so zvyšnými pripravenými zrnami. Hodnoty zapíšte do tabuľky:
Hodnota m_2 je vo všetkých prípadoch rovnaká.

➤ **Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt:**

n	m_1 (g)	m_3 (g)	m' (g)	ρ (kg.m^{-3})	Δ_+ (kg.m^{-3})	Δ_- (kg.m^{-3})
1						
2						
3						
4						
5						
				$\bar{\rho} =$	$\sum \Delta_+ =$	$\sum \Delta_- =$

9. Určte priemernú hodnotu hustoty zŕn a ohodnoťte ju absolútnou pravdepodobnou a absolútnou krajnou chybou aritmetického priemeru.
10. Pri veľkých odchýlkach je potrebné meranie zopakovať pre viacero skupín zŕn a extrémne veľké resp. extrémne malé hodnoty vylúčiť.

➤ **Spracovanie nameraných hodnôt:**

Priemerná hustota:

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{n} \dots\dots\dots$$

.....

.....

Odchýlky od aritmetického priemeru (vzorový výpočet pre a ... riadok tabuľky):

$$\Delta_+ = \bar{\rho} - \rho_i \dots\dots\dots$$

.....

.....

$$\Delta_- = \bar{\rho} - \rho_i \dots\dots\dots$$

.....

.....

Absolútna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\rho) = \pm \frac{5 \sum \Delta_+(\rho)}{3 n \sqrt{n-1}} \dots\dots\dots$$

.....

.....

Absolútna krajná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\kappa}(\rho) = \frac{9}{2} \bar{\vartheta}(\rho) \dots\dots\dots$$

.....

.....

Záver:

1. Zapište výsledok merania v tvare skutočnej hodnoty, pričom ohodnoťte aritmetický priemer absolútnou pravdepodobnou a absolútnou krajnou chybou aritmetického priemeru.

.....

.....

.....

.....

2. Porovnajte hodnotu hustoty zŕn meraných obilnín s hodnotami hustoty uvedenými pre obilniny v literatúre.

.....

.....

.....

3. Vymenujte a stručne charakterizujte zdroje chýb pri meraní z pohľadu pozorovateľa, meracej metódy a použitých meracích zariadení.

.....

.....

.....

4. Napíšte, kde v technickej praxi by sa dalo využiť meranie hustoty pyknometrickou metódou.

.....

.....

.....

5. Porovnajte pyknometrickú meraciu metódu s inými meracími metódami, ktoré sú prezentované v literatúre a zhodnoťte presnosť jednotlivých meracích metód.

.....

.....

.....

.....

.....

.....