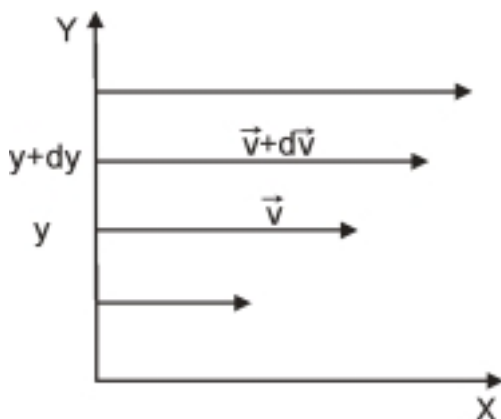


URČENIE KOEFICIENTU DYNAMICKEJ VISKOZITY TELIESKOVÝMI VISKOZIMETRAMI

doc. RNDr. Drahošlav Vajda, CSc.

Teoretický úvod:

Reálne kvapaliny sa vždy vyznačujú vnútorným trením. Vnútorné trenie alebo viskozita, je v kvapaline zapríčinené rôznymi rýchlosťami prúdenia jej častíc. Predstavme si kvapalinu prúdiacu v potrubí v smere osi X, obr. 1. Rozdeľme si kvapalinu na jednotlivé vrstvy, ktoré v závislosti od vzdialenosti od steny potrubia (od súradnice y) sa pohybujú rôznymi rýchlosťami v . Rýchlosť prúdenia kvapaliny sa zvyšuje s rastúcou vzdialenosťou od steny potrubia. Najvyššia je v strede potrubia. V dôsledku toho, že sa jednotlivé vrstvičky kvapaliny pohybujú rôznou rýchlosťou, vzniká medzi nimi tangenciálne napätie. Jeho smer leží v smere rýchlosti (v smere osi X) a jeho veľkosť je daná vzťahom



Obr. 1

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad , \quad (1)$$

kde $\frac{dv}{dy}$ je gradient (zmena) rýchlosti v smere osi Y

a η je koeficient dynamickej viskozity.

Jednotkou koeficientu dynamickej viskozity je 1Pa.s s rozmerom $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$. Často užívanou jednotkou je

pois (P) pričom $1\text{P} = 10^{-1}\text{Pa.s}$. Na vyjadrenie viskózných vlastností kvapalín sa okrem koeficienta dynamickej viskozity η zavádza aj koeficient kinematickej viskozity ν vzťahom:

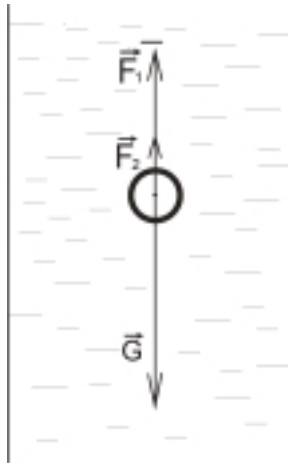
$$\nu = \eta / \rho \quad , \quad (2)$$

kde ρ je hustota danej kvapaliny. Jednotkou ν je $1\text{m}^2\text{s}^{-1}$. Okrem tejto jednotky sa užíva jednotka stok (St), pričom $1\text{St} = 10^{-4}\text{m}^2\text{s}^{-1}$.

Telieskové viskozimetre:

Vplyv vnútorného trenia (viskozity) tekutiny sa neprejavuje iba pri jej tečení, ale ovplyvňuje aj veľkosť sily odporu, ktorou pôsobí prostredie na pohybujúce sa teleso. Tohoto sa využíva na určovanie koeficienta dynamickej viskozity v tzv. telieskových viskozimetroch. Sú to zariadenia, v ktorých koeficient dynamickej viskozity sa určuje z rýchlosti pádu telieska v meranej kvapaline. Na teliesko pohybujúce sa v kvapaline pôsobia tieto sily: tiaž telieska G , vztlak F_1 a odpor prostredia F_2 . Orientácia síl je zrejmä z obr. 2. Najčastejšie sa používa teliesko guľového tvaru. Ak guľôčka má hmotnosť m a polomer r (priemer d), potom veľkosť pôsobiacich síl môžeme vyjadriť nasledovne:

$$G = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g \quad , \quad (3)$$



Obr.2

$$F_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2 g \quad (4)$$

a silu F_2 v prípade laminárneho prúdenia môžeme vyjadriť tzv. Stokesovým vzťahom:

$$F_2 = 6 \pi \eta r v, \quad (5)$$

kde ρ_1 - hustota materiálu, z ktorého je guľôčka
 ρ_2 - hustota vyšetrovanej kvapaliny
 g - tiažové zrýchlenie
 v - rýchlosť pohybu guľôčky v kvapaline

Sily F_1 a G sú stále, od rýchlosti guľôčky v nezávislé. Odpor prostredia F_2 rastie s rastúcou rýchlosťou a po istej dobe, od začiatku pohybu guľôčky v kvapaline, vznikne stav, že vektorový súčet síl pôsobiacich na guľôčku sa rovná nule a od tohoto okamžiku sa guľôčka pohybuje rovnomerne priamočiario rýchlosťou v_m , a platia vzťahy (6) a (7),

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{G} = 0 \quad (6)$$

$$F_1 + F_2 = G. \quad (7)$$

Po dosadení do vzťahu (7) za sily podľa vzťahov (3), (4) a (5) môžeme vypočítať koeficient dynamickej viskozity. Všeobecné riešenie (závislosť v od t) dostaneme nasledovne. Na základe druhého Newtonovho zákona môžeme napísať pohybovú rovnicu pre guľôčku pohybujúcu sa vo viskóznej kvapaline

$$m \frac{dv}{dt} = G - (F_1 + F_2). \quad (8)$$

Riešenie tejto diferenciálnej rovnice je v tvare:

$$v = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho_2) r^2 g}{\eta} [1 - \exp(-6\pi\eta r t / m)]. \quad (9)$$

Nakoľko druhý člen v zátvorke s rastúcim časom klesá k nule, rýchlosť guľôčky sa v priebehu malého časového intervalu stáva konštantnou a rovnou v_m [súčet síl rovná sa nule, platí rovnica (6)]:

$$v_m = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho_2) r^2 g}{\eta}. \quad (10)$$

Ak zmeriame čas, za ktorý guľôčka, pohybujúca sa už rovnomernou rýchlosťou, prejde dráhu L , môžeme určiť jej rýchlosť $v_m = L/t$ a po dosadení do vzťahu (10) môžeme stanoviť koeficient dynamickej viskozity η :

$$\eta = \frac{1}{18} \frac{(\rho_1 - \rho_2) d^2 g t}{L}. \quad (11)$$

Ako rýchlo guľôčka dosiahne rýchlosť v_m , to závisí od rozdielu hustôt kvapaliny a materiálu guľôčky. Ukazuje sa, že pri malom rozdiel hustôt guľôčka rýchlosť v_m dosiahne dosť rýchlo. Presnosť merania η závisí od rovnomernosti teploty vyšetrovanej kvapaliny a hlavne od toho či rýchlosť v_m určujeme na dráhe, na ktorej guľôčka už vykonáva rovnomerný pohyb alebo nie. Koeficient viskozity je silne závislý od teploty kvapaliny.

Vzťah pre koeficient dynamickej viskozity (11) platí iba vtedy, keď guľôčka padá v neohraničenom prostredí. Pri páde guľôčky o priemere d pozdĺž osi trubice s vnútorným priemerom D vypočítanú hodnotu koeficienta η podľa vzťahu (11) treba opraviť vynásobením korekčným faktorom

$$K_F = \left(1 + 2,4 \frac{d}{D}\right)^{-1}. \quad (12)$$

Metóda merania:

A. Stokesov viskozimeter (Stokesova metóda).

Stokesov viskozimeter tvorí dlhá trubica priemeru rádu cm naplnená meranou kvapalinou. Pri tejto metóde necháme guľôčku známej hustoty ρ_1 voľne padať v meranej kvapaline hustoty ρ_2 . Meriame čas t , za ktorý prejde guľôčka dráhu L medzi dvoma prstencami P_1 a P_2 . L je úsek dráhy, na ktorej sa guľôčka už pohybuje konštantnou rýchlosťou v_m . Namerané údaje priemeru d guľôčky a času t zapisujeme do tabuľky I:

Tabuľka I.

č. m.	d []	t []	v_m []	η []	$\bar{\eta} - \eta$ []	$\Delta_i^2 = (\bar{\eta} - \eta)^2$
1						
2						

$\bar{\eta} = \dots$

$\sum \Delta_i^2 = \dots$

Guľôčku púšťame do kvapaliny tak, že ju uchopíme pinzetou, ponoríme tesne pod hladinu kvapaliny a pustíme tak, aby sme jej neudelili rotáciu. Pre meranie použijeme sklenené alebo kovové guľôčky, ktoré sú dobre očistené a odmastené.

U r č e n i e L : Pri meraní viskozity touto metódou musíme poznať dráhu, na ktorej sa guľôčka už pohybuje rovnomernou rýchlosťou. Určíme ju buď výpočtom (viď metodickú pomôcku: Doc. Ing. I. Čáp, CSc.: Meranie hustoty a súčiniteľa dynamickej viskozity kvapalín) alebo nasledovným postupom.

1. Nastavíme horný prstenec P_1 asi do polovice výšky trubice a prstenec P_2 umiestnime ku spodnej časti trubice.
2. Horepopísaným spôsobom pustíme guľôčku do kvapaliny a zmeriame čas, za ktorý guľôčka prejde vzdialenosť medzi prstencami P_1 a P_2 a z týchto údajov vypočítame rýchlosť pádu guľôčky.
3. Posunieme prstenec P_1 asi do 2/3 výšky valca a opäť určíme rýchlosť pádu guľôčky ako v bode 2. Ak táto rýchlosť sa od predchádzajúcej značne nelíši (len v rámci presnosti merania), opakujeme meranie 10-15krát. Údaje zapisujeme do tabuľky.

4. Ak rýchlosť guľôčky zmeraná v bode 3 bude menšia než v bode 2, opakujeme postup určenia rýchlosti pre dve nižšie polohy prstenca P_1 . Ak ani potom nedosiahneme rovnakých rýchlostí volíme menšiu guľôčku a opakujeme postup.

Úlohy:

1. Určte dráhu L pre daný typ guľôčky, t. j. stanovte umiestnenie prstenca P_1 .
2. Zmerajte čas pádu guľôčky na dráhe L .
3. Určte koeficient vnútorného trenia η danej kvapaliny použitím dvoch druhov guľôčiek.

Spracovanie výsledkov:

1. Zistíte hustotu guľôčky a kvapaliny.
2. Pomocou vzťahu (11) a údajov v tabuľke I. vypočítajte koeficient dynamickej viskozity.
3. Vypočítajte chybu merania a výsledok uvádzajte v tvare:

$$\eta = \bar{\eta} \pm \text{chyba merania.}$$
4. Vypočítajte koeficient kinematickej viskozity, vzťah (2).
5. Vypočítajte koeficient dynamickej viskozity korigovaný na pohyb v konečnom prostredí [vzťah (12)] ($K = \eta K_F$) a porovnajte (v %).

B. Hoepplerov viskozimeter.

Je to komerčne vyrábané zariadenie. Podstatnú časť tvorí trubica, do ktorej nalejeme vyšetřovanú kvapalinu. Túto trubicu môžeme pootočiť o 180° . K viskozimetru je dodávané sada guľôčiek rôzneho polomeru. Meriame dobu t pádu guľôčky medzi dvomi značkami na trubici a koeficient dynamickej viskozity vypočítame podľa vzťahu [porovnaj so vzťahom (11)].

$$\eta = t (\rho_1 - \rho) K \quad (13)$$

- kde
- η - dynamická viskozita v Pas
 - t - čas v sekundách
 - ρ_1 - hustota guľôčky v kg/m^3 (udaná výrobcom)
 - ρ - hustota kvapaliny v kg/m^3
 - K - konštanta guľôčky udaná výrobcom v $\text{Pa m}^3/\text{kg}$

Postup merania:

1. Zvolenú guľôčku pustíme pomocou pinzety do trubice naplnenej vyšetřovanou kvapalinou a zmeriame dobu pádu t guľôčky medzi dvomi značkami na trubici. Údaje zapíšete do tabuľky II.

Tabuľka II.

č. m	$T [\]$	$\eta [\]$	$\bar{\eta} - \eta [\]$	$\Delta_i^2 = (\bar{\eta} - \eta)^2$
1				
2				

$$\bar{\eta} = \dots \quad \sum \Delta_i^2 = \dots$$

2. Postup opakujte 10-15 krát tak, že trubicu prekládate o 180° , t. j. meriame vždy s tou istou guľôčkou.
3. Opakujte meranie podľa bodu 1. a 2. s guľôčkou odlišnej konštanty K . Tieto hodnoty zapisujte do tabuľky typu II.

Úlohy:

1. Zmerajte dobu pádu t guľôčky v Hoeplerovom viskozimetri.
2. Meranie opakujte s odlišnou konštantou K .

Spracovanie výsledkov:

1. Zistite hustotu vyšetrovanej kvapaliny.
2. Z nameraných údajov v tab. II. vypočítajte koeficient dynamickej viskozity podľa vzťahu (13).
3. Vypočítajte chybu merania a výsledok uvádzajte v tvare:

$$\eta = \bar{\eta} \pm \text{chyba merania.}$$

4. Vypočítajte koeficient kinematickej viskozity kvapaliny podľa vzťahu (2).

Kontrolné otázky:

1. Čo je viskozita kvapaliny a v akých jednotkách sa meria?
2. Ktoré sily pôsobia na teleso padajúce v kvapaline?
3. Prečo a kedy sa guľôčka v kvapaline môže pohybovať rovnomerným pohybom?
4. Vypočítajte vzťah pre koeficient dynamickej viskozity kvapaliny.

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 laboratórnym cvičeniam z fyziky“, vydala Žilinská univerzita vo vydavateľstve EDIS, 2. nezmenené vydanie, rok 2003.