

## 4 Určovanie dynamickej viskozity oleja Hopplerovou metódou

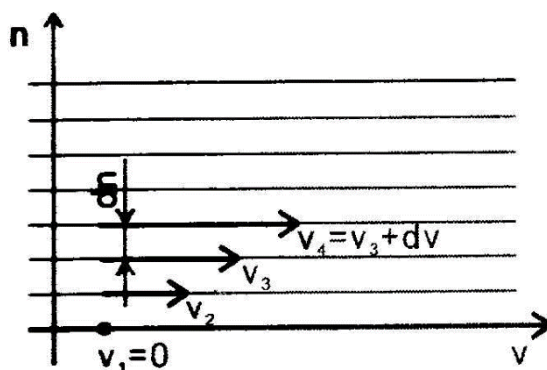
### **Teória:**

Pri laminárnom prúdení skutočných kvapalín sa nepohybujú častice kvapaliny v celom priereze trubice rovnakou rýchlosťou. Pri prúdení skutočných kvapalín sa uplatňujú kohézne sily, ktoré treba prekonať, ak sa majú navzájom posunúť dve blízke vrstvy kvapaliny. Preto dve susedné vrstvy, pohybujúce sa rôznymi rýchlosťami, pôsobia na seba na stykovej ploche tangenciálnym napätím  $\tau$ , ktoré je úmerné gradientu rýchlosti v smere kolmom na vektor rýchlosti (obr. 1.1).

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dn} \quad (1.1)$$

Konštanta úmernosti v tejto rovnici, charakteristická pre danú kvapalinu, sa nazýva **dynamická viskozita kvapaliny**. Dynamická viskozita  $\eta$  závisí od teploty kvapaliny a s rastúcou teplotou sa znižuje.

Jednotkou dynamickej viskozity v sústave SI je Pa.s (pascal sekunda).



Obr. 1.1 Pohyb jednotlivých vrstiev skutočnej kvapaliny

Na meranie dynamickej viskozity možno využiť laminárne prúdenie kvapaliny (viskozimetre výtokové) alebo poznatok, že kvapaliny kladú v dôsledku vnútorného trenia odpor proti pohybu pevných telies (viskozimetre telieskové).

### **Cieľ:**

Cieľom úlohy je pochopiť proces trenia vo vnútri kvapalín a zákony, ktorým podlieha.

### **Meranie dynamickej viskozity Höpplerovou metódou**

#### **Pomôcky:**

Höpplerov viskozimeter, stopky, transformátorový olej.

### **Teória:**

Na meranie viskozity je vytvorených niekoľko postupov. Jedným z najznámejších je meranie Stokesovou metódou. Stokesov viskozimeter tvorí priehľadná nádoba naplnená skúmanou kvapalinou. Do kvapaliny sa vloží vhodne zvolená guľôčka a meria sa čas pádu guľôčky v kvapaline medzi dvomi značkami so známou vzdialenosťou. Podmienkou je, že pohyb guľôčky musí byť medzi značkami

rovnomerný a guľôčka sa nesmie pohybovať v blízkosti steny, takže rozmer nádoby musí byť výrazne väčší ako rozmer guľôčky.

Meranie viskozity Höpplerovým viskozimetrom je založené na podobnom princípe ako meranie viskozity Stokesovou metódou. Je tu však odstránený problém so zabezpečením rovnomerného pohybu guľôčky v kvapaline a problém, že rozmer guľôčky musí byť malý vzhľadom k polomeru nádoby s kvapalinou, v ktorej guľôčka padá. Höpplerov viskozimeter je schematicky znázornený na obr. 1.2. Pozostáva z presne vybrúsenej sklenenej rúrky sklonenej proti vertikále pod uhlom 10 stupňov. Do nej sa naleje meraná kvapalina a v nej meriame čas pádu kalibrovanej guľičky. Rúrka je vložená vo valci, ktorý je vyplnený vodou, ktorej účelom je udržať viskozimeter na konštantnej teplote.

Meranie viskozity Höpplerovým viskozimetrom vychádza z rovnice z rovnováhy medzi tiažovou, vztlakovou a Stokesovou silou:

$$m \cdot g = V \cdot \rho \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (1.2)$$

pri páde guľôčky polomeru  $r$ . Túto je možné upraviť na tvar:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\eta} \cdot g \cdot r^2 \quad (1.3)$$

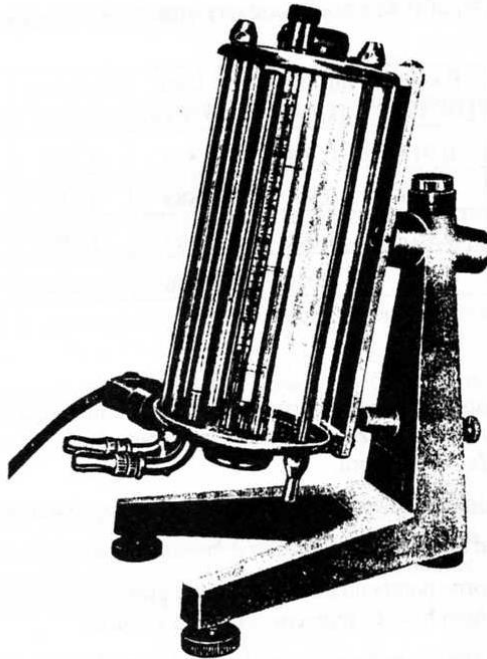
Odtiaľ

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot \frac{r^2 t}{s} \quad (1.4)$$

kde  $\rho_1$  a  $\rho_2$  sú postupne hustoty padajúcej guľôčky a meranej kvapaliny,  $v$  je rýchlosť pohybu guľôčky. Je samozrejmé, že pri meraní je potrebné vziať do úvahy ešte rozmery guľôčky, trubice a iné parametre zariadenia. Ak ale prepíšeme rovnicu (1.4) do tvaru

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t \quad (1.5)$$

kde  $K$  je konštanta, ktorá sa u toho istého kalorimetra dá pre každú guľôčku experimentálne zistiť, postup merania bude veľmi jednoduchý. S továrenskými Höpplerovými viskozimetrami je dodávaná séria vopred okalibrovaných guľôčiek, ktoré sa používajú a pre konkrétne meranie vyberajú tak, že guľôčka padá vo viskozimetri čo najrovnomernejšie, rádovo od 30 do 150 sekúnd.



Obr. 1.2 Höpplerov viskozimeter

Viskozimeter používaný v laboratórnych cvičeniach na TU vo Zvolene je vybavený oceľovou guľôčkou s hustotou  $\rho_1 = 8100 \text{ kg.m}^{-3}$  a transformátorovým olejom  $\rho_2 = 840 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pre meranie viskozity bola v zmysle vyššie uvedeného spôsobu merania vybraná guľôčka s priemerom 15,560 mm. Konštanta  $K$  pre túto guľôčku je:

$$K = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \text{ kg}^{-1} \quad (1.6)$$

Percentuálnu odchýlku PO určujeme podľa vzťahu

$$PO = 100\% \cdot \frac{|(T - E)|}{T} \quad (1.7)$$

Kde: T- tabuľková hodnota určovanej veličiny

E – experimentálne zistená hodnota určovanej veličiny

### Pracovný postup:

1. Stopkami odmeriame 10 krát čas pádu guľôčky  $t$  medzi druhou a tretou značkou na trubici viskozimetra.
2. Pre každú nameranú hodnotu času pádu guľôčky vypočítame použitím (1.5) hodnotu dynamickej viskozity trafooleja, kde za konštantu  $K$  dosadzujeme hodnotu podľa vzťahu (1.6) a za hustoty  $\rho_1$  a  $\rho_2$  použijeme hodnoty  $8100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $866 \text{ kg.m}^{-3}$  v poradí.
3. Určíme priemernú hodnotu viskozity z 10 nameraných hodnôt a jej percentuálnu odchýlku od tabuľkovej hodnoty  $\eta = 170 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ .

### Kontrolné otázky:

**A.**

1. Prečo musí guľôčka vo viskozimetri padať pomaly?
2. Prečo musí guľôčka vo viskozimetri padať rovnomerne?

**B.**

1. Vypočítajte percentuálnu odchýlku medzi dynamickou viskozitou trafooleja zistenou podľa vzťahu (1.5) a jej tabuľkovou hodnotou  $\eta = 170 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .