

## 1 Dynamická viskozita

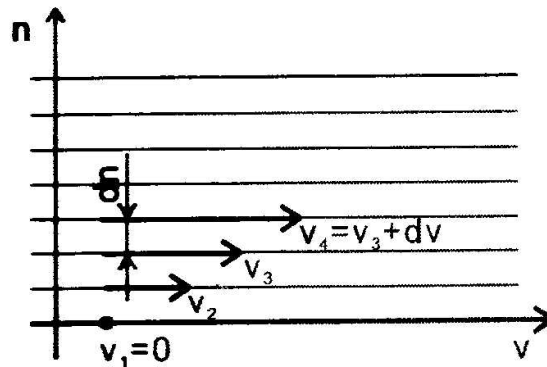
### **Teória:**

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).

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

Konštanta úmernosti v tejto rovnici, charakteristická pre danú kvapalinu, sa nazýva **dynamická viskozita kvapaliny**. Dynamická viskozita  $\mu$  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 guľôčky. 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:

$$m \cdot g - V \cdot \rho_2 \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (1.2)$$

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

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

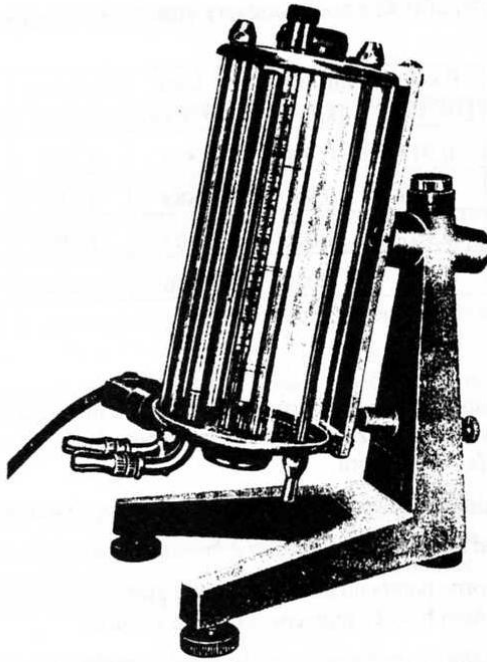
Odtiaľ

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

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  $\rho_2 = 866 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pre meranie viskozity bola v zmysle vyššie uvedeného spôsobu merania vybraná guľôčka s priemerom 15,560 mm. Konštanta  $K$  pre túto guľôčku je:

$$K = 13 \cdot 10^{-7} \text{ Pa.m}^3 \text{ kg}^{-1} \quad (1.6)$$

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 prvou a druhou 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  $\eta = 0,8 \text{ Pa.s}$ .

### 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  $\eta = 0,8$  Pa.s.

**Meranie dynamickej viskozity Englerovou metódou**

Meranie viskozity Englerovým viskozimetrom je založené na porovnávaní času prietoku oleja o objeme  $100\text{cm}^3$ , ktorej viskozitu nepoznáme, a prietoku rovnakého množstva vody.

Pri presnom meraní je samozrejme potrebné ultratermostatom udržiavať obe kvapaliny na rovnakej teplote. Výslednú hodnotu merania predstavuje tzv. Englerov stupeň E, ktorý je daný pomerom:

$$E = \frac{t}{t_{\text{voda}}} \quad (1.8)$$

kde  $t$  predstavuje priemerný (aritmetický) čas výtoku  $100\text{ cm}^3$  oleja a  $t_{\text{voda}}$  predstavuje čas výtoku  $100\text{ cm}^3$  vody. Tento nie je priamo prepočítateľný na fyzikálnu hodnotu dynamickej viskozity v Pa.s tak, ako ju môžeme odmerať napr. Stokesovou metódou. Boli však odvodené regresné závislosti, ktoré umožňujú prepočítať Englerove stupne na hodnoty kinematickej viskozity  $\nu$ . Pre výpočet kinematickej viskozity možno použiť vzťahy (1.9) a (1.10) v tvare:

$$\nu = 0,00731 \cdot E \cdot \frac{0,00631}{E} \quad (1.9)$$

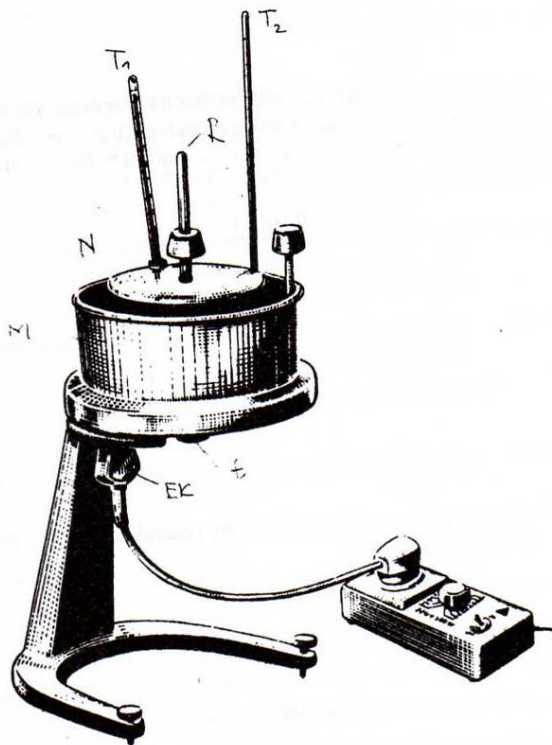
alebo

$$\nu = \frac{E}{1000} \cdot 7,6 \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^3 \quad (1.10)$$

Pre prepočet hodnôt kinematickej viskozity  $\nu$  na dynamickú viskozitu možno následne použiť vzťah (1.11)

$$\eta = \nu \cdot \rho_{\text{voda}}(T) \quad (1.11)$$

kde  $\rho_{\text{voda}}(T)$  predstavuje hustotu vody pri teplote vody  $T$  v  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho$  predstavuje hustotu oleja pri teplote  $T$  v  $^{\circ}\text{C}$  a  $\nu$  predstavuje hodnotu kinematickej viskozity.



Obr.1.3 Englerov viskozimeter

### Pracovný postup:

1. Pripravíme si viskozimeter a ostatné potreby.
2. Otvor v strede dna vnútornej nádoby zazátkujeme na to určenou paličkou.
3. Zvážíme pomocou váh hmotnosť sklennej nádoby bez vody  $m$  a následne aj s  $100\text{cm}^3$  vody  $m_{\text{nádoba+voda}}$ . Obidve hodnoty zapíšeme a z rozdielu hmotností určíme hustotu vody podľa Archimedovho zákona ( $V=100\text{ cm}^3$ ) na základe vzťahu  $\rho = \frac{m_{\text{nádoba+voda}} - m}{V}$ .
4. Určíme teplotu vody  $T$  pomocou termočlánku. Určíme hustotu vody pomocou tabuliek. Pomocou vzťahu (1.7) určíme percentuálnu odchýlku medzi hodnotou hustoty podľa Archimedovho zákona a podľa tabuliek.
5. Podložíme pod valec odmerky a odmeriame čas vytečenia  $100\text{ cm}^3$  vody. Nameraný čas si zaznačíme do tabuľky.
6. Bod 5, t.j. odmeranie času vytečenia  $100\text{ cm}^3$  vody z vnútornej nádoby viskozimetra, opakujeme 2krát.
7. Vnútornú nádobu Englerovho viskozimetra vysušíme kuchynskými utierkami.
8. Zvážíme hmotnosť sklennej nádoby a hmotnosť oleja  $m$  o objeme  $V=100\text{ cm}^3$ . Určíme hustotu oleja podľa Archimedovho zákona na základe vzťahu  $\rho = \frac{m}{V}$ .
9. Do vnútornej nádoby Englerovho viskozimetra vlejeme olej s hustotou určenou pomocou bodu 8) a 2 krát podobne ako v prípade vody odmeriame a zaznamenáme čas vytečenia  $100\text{ cm}^3$  tejto kvapaliny do odmerky postavenej pod viskozimeter.
10. Určíme strednú hodnotu času vytečenia  $100\text{ cm}^3$  vody.
11. Určíme strednú hodnotu času vytečenia  $100\text{ cm}^3$  oleja.
12. Podľa vzťahov 1.9 a 1.10 určíme strednú hodnotu kinematickej viskozity neznámej kvapaliny v Englerových stupňoch. Určíme percentuálnu odchýlku medzi uvedenými hodnotami, kde za tabulkovú hodnotu budeme brať hodnotu podľa vzťahu 1.9 a za experimentálnu hodnotu podľa vzťahu 1.10.

13. Podľa vzťahu 1.11 následne určíme hodnoty dynamickej viskozity v Pa.s.
14. Z oboch hodnôt určíme priemernú hodnotu dynamickej viskozity ktorú porovnáme s tabuľkovou hodnotou 0,12 Pa.s.

**Kontrolné otázky:**

**A.**

1. Akým typom viskozimetra je Englerov viskozimeter?
2. Čo rozumiete pod pojmom tangenciálne napätie susedných vrstiev kvapaliny? Môžete nakresliť obrázok.

**B.**

1. Ak ste pre výpočet kinematickej viskozity použili vzťah 1.9, prepočítajte kinematickú viskozitu ešte aj pomocou vzťahu 1.10 a naopak. Výsledok porovnajte.
2. Vypočítajte tak isto podľa vzťahu 1.9 a 1.10 dynamickú viskozitu vody a porovnajte ju s tabuľkovou hodnotou.