

1 Dynamická viskozita

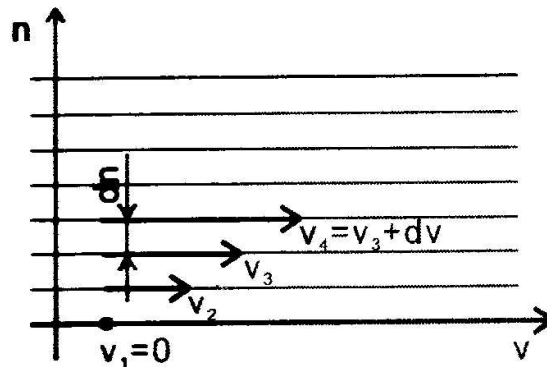
Teória:

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 τ , 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 η 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 kalibrovannej 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:

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

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

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

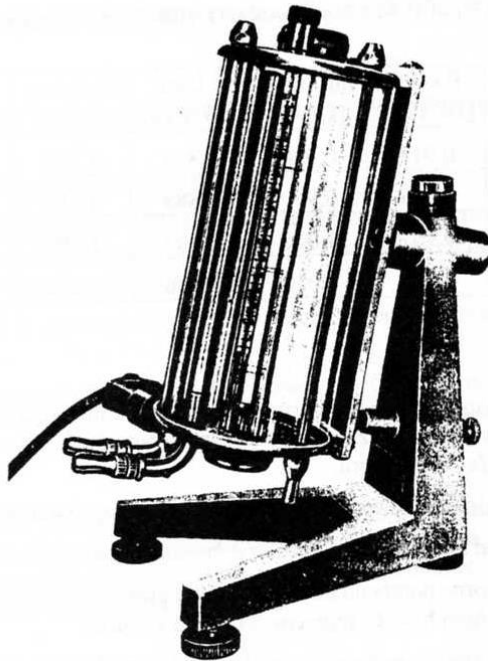
Odtiaľ

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

kde ρ_1 a ρ_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:

$$K = 13.10^{-7} \text{ Pa.m}^3 \text{ kg}^{-1} \quad (1.6)$$

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 ρ_1 a ρ_2 použijeme hodnoty 8100 kg.m^{-3} a 866 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 100cm^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 cm^3 oleja a t_{voda} predstavuje čas výtoku 100 cm^3 vody. Tento nie je priamo prepočítateľný na fyzikálnu hodnotu dynamickej viskozity ν Pa.s tak, ako ju môžeme odmerať napr. Stokesovou metódou. Boli však odvodené regresné závislosti, ktoré umožňujú prepočítať Englerove stupne na hodnoty kinematickej viskozity ν . Pre výpočet kinematickej viskozity možno použiť vzťahy (1.9) a (1.10) v tvare:

$$\nu = 0.00731 \cdot E - \frac{0.00631}{E} \quad (1.9)$$

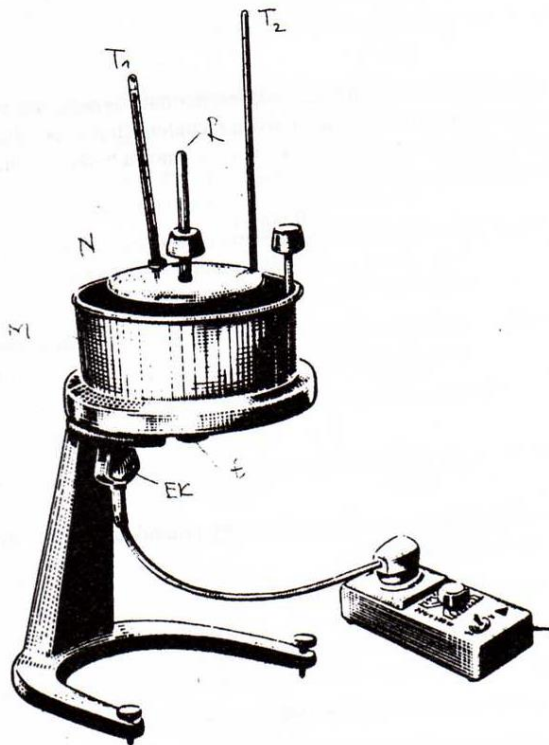
alebo

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

Pre prepočet hodnôt kinematickej viskozity ν na dynamickú viskozitu možno následne použiť vzťah (1.11)

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

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



Obr.1.3 Englerov viskozimeter

Pracovný postup:

1. Pripravíme si viskozimeter a ostatné potreby.
2. Zvážíme pomocou váh hmotnosť sklennej nádoby bez vody m .
3. Určíme teplotu vody T pomocou termočlánku. Určíme hustotu vody pomocou tabuliek.
4. Do sklennej nádoby nalejeme vodu o objeme 100ml.
5. Otvor v strede dna vnútornej nádoby zazátkujeme na to určenou paličkou zdola.
6. Celý objem vody nalejeme do vnútornej nádoby Englerovho viskozimetra.
7. Podložíme pod vnútornú nádobu Englerovho viskozimetra sklenenú nádobu, vytiahneme paličku zdola a spustíme stopky od času tečenia vody z viskozimetra do sklennej nádoby. Odmeriame čas vytečenia 100 cm³ vody t_{voda} . Nameraný čas si zaznačíme.
8. Bod 7, t.j. odmeranie času vytečenia 100 cm³ vody z vnútornej nádoby viskozimetra zopakujeme a takto získame 2 hodnoty doby výtoku 100ml vody t_{voda} .
9. Vnútornú nádobu Englerovho viskozimetra vysušíme kuchynskými utierkami.
10. Zvážíme hmotnosť sklennej nádoby spolu s 100ml oleja $m_{\text{nádoba+olej}}$. Určíme hustotu oleja podľa Archimedovho zákona na základe vzťahu $\rho = (m_{\text{nádoba+olej}} - m) / V$.
11. Do vnútornej nádoby Englerovho viskozimetra vlejeme olej s hustotou určenou pomocou bodu 10) a 2 krát podobne ako v prípade vody odmeriame a zaznamenáme čas vytečenia 100 cm³ tejto kvapaliny do odmerky postavenej pod viskozimeter.
12. Určíme strednú hodnotu času vytečenia 100 cm³ vody t_{voda} .
13. Určíme strednú hodnotu času vytečenia 100 cm³ oleja t .
14. Vypočítame hodnotu Englerovho stupňa podľa vzťahu (1.8)
15. Podľa vzťahov 1.9 a 1.10 určíme strednú hodnotu kinematickej viskozity neznámej kvapaliny v Englerových stupňoch E . Určíme percentuálnu odchýlku medzi

uvedenými hodnotami, kde za tabuľkovú hodnotu budeme brať hodnotu podľa vzťahu 1.9 a za experimentálnu hodnotu podľa vzťahu 1.10.

16. Podľa vzťahu 1.11 následne určíme hodnoty dynamickej viskozity v Pa.s.

17. Z oboch hodnôt určíme priemernú hodnotu dynamickej viskozity ktorú porovnáme s tabuľkovou hodnotou $\eta_T = 0,12 \text{ Pa.s}$.

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.