Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. VI.

Název: Studium reologického chování látek

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. Y – 16 dne 25. února 2008

Odevzdal dne: ....

Hodnocení:..

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Teoretický úvod

Reologické chování látek

Při popisu kapalin se rozlišuje mezi tzv. newtonovskou a nenewtonovskou kapalinou. Newtonovská kapalina je taková kapalina u lze najít vztah, který popisuje závislost smykové napětí τ na rychlosti deformace D lineárně.

$$\tau = \eta D$$

Veličina η se nazývá dynamická viskozita. Tato veličina je pro newtonovské kapaliny nezávislá na deformační rychlosti. Zda se jedná o newtonovskou kapalinu se lze přesvědčit například pomocí rotačního viskozimetru (viz. dále).

Dynamická viskozita popisuje chování látky a je závislá na její teplotě. Tato závislost je dána následujícím vztahem

$$\eta(T) = C \exp\left(\frac{\varepsilon_A}{kT}\right)$$

Veličina C je konstanta, k je Boltzmannova konstanta, ε_A je aktivační energie a T je teplota kapaliny.

Druhou skupinou kapalin jsou nenewtonoské kapaliny. Tyto kapaliny nesplňují předepsaný lineární vztah a k popisu vztahu mezi smykovým napětím τ a rychlostí deformace D se využívá Oswaldovy–de Waeleovy rovnice toku.

$$\tau = \eta_0 D^n$$

V tomto vztahu konstanty vyjadřují η_0 a n chování kapaliny (pro $n = 1$ je $\eta_0 \equiv \eta$, neboli η_0 vyjadřuje dynamickou viskozitu).

Rotační viskozimetr

Pro měření viskozity jsem při měření využíval rotační viskozimetr (konkrétně HAAKE Viskotester 7 plus). Tento viskozimetr provádí měření viskozity pomocí měřením síly, která je potřeba pro otáčení definovaného rotoru, který je ponořen v měřeném vzorku.

U přístroje jsou k diskozici čtyři rotory, které se pro měření volí v závislosti na očekávané viskozitě vzorku a na zvolených otáčkách rotoru. Na základě nastavených otáček a nastaveného rotoru je přístroj schopen změřit kroutící moment a z něj vypočítat viskozitu kapaliny. Viskozita je měřena s přesností 1 %.

Kuličkový viskozimetr

Pro měření závislosti viskozity newtonovské látky v závislosti na teplotě jsem využíval kuličkového viskozimetru (konkrétně HAAKE B3). Zařízení umožňuje uržovat na vzorek na definované teplotě. Při dosažení požadované teploty se otočí trubice, která je naplněna zkoumanou látkou. Tím se dá do pohybu kulička. Měřením doby průchodu kuličky trubicí jsem určil viskozitu zkoumané látky.

Na kuličku působí tři síly. Tíhová síla F_G, vztlaková síla $F_v z$ a odporová hydrodynamická. Hydrodynamická síla je dána Stokesovým vzorcem

$$F_h = 6\pi\eta r v$$

kde η je hledaná dynamická viskozita, r je poloměr kuličky a v je rychlost kuličky.

Pyknometrická metoda

Pyknometrická metoda slouží k měření hustoty kapalin. Hustota ϱ_3 neznámé kapaliny se určí při změřením hmotnosti m_3 kapaliny a pyknometru. Dále je potřeba naplnit pyknometr látkou o známé hustotě určit hmotnost m_2. Po té zbývá už jen určit hmotnost prázdného pyknometru m_1. Hustotu neznámé látky získáme výpočtem ze vztahu

$$\varrho = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot \varrho_0$$

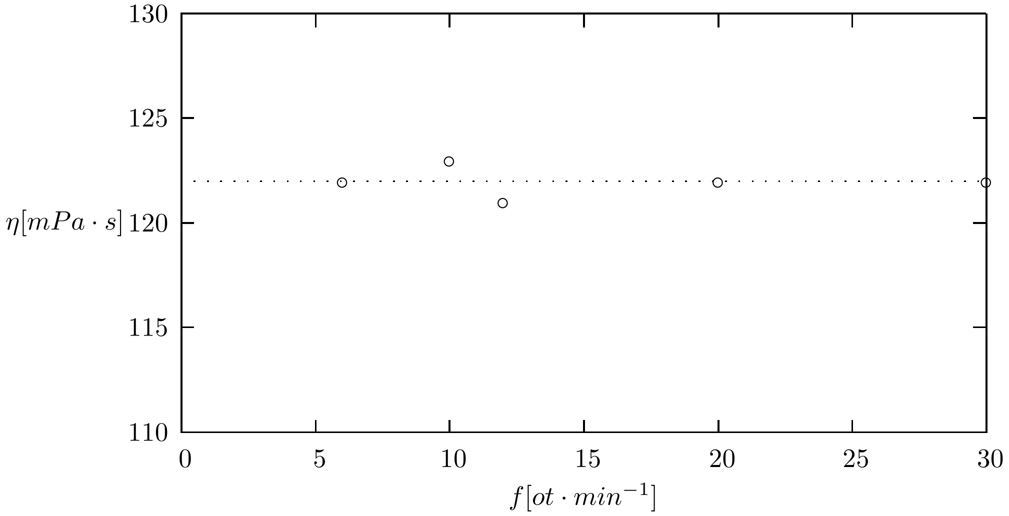
Výsledky měření

Měření hustoty glycerinu jsem prováděl při teplotě $T = 20,8°C$. Jako pomocnou látku jsem použil destilovanou vodu, která má při teplotě $T = 21°C$, podle přiložených tabulek, hustotu $\varrho_{H_2O} = 998,0 kg \cdot m^{-3}$.

Hmotnost piknometru $m_1 = (24,7451 \pm 0,0002)\, g$
Hmotnost piknometru naplněného vodou $m_2 = (49,6976 \pm 0,0002)\, g$
Hmotnost piktometru naplněného glycerinem $m_3 = (55,3630 \pm 0,0002)\, g$
Hustota glycerinu je $\varrho = (1224,45933 \pm 0,00002)\, kg \cdot m^{-3}$. Z hustoty glycerinu jsem z tabulek závislosti koncentrace roztoku na hustotě určil koncentraci. Pak pomocí tabulky závislosti viskozity na koncentraci jsem určil tabulkovou hodnotu viskozity. Tabulková hodnota glycerinu s koncentrací 86 % je $\eta = 109 mPa \cdot s$. Následující tabulky ukazují naměřené hodnoty při měření rotačním viskozimetrem. Zkoumané látky byly glycerin a škrob.

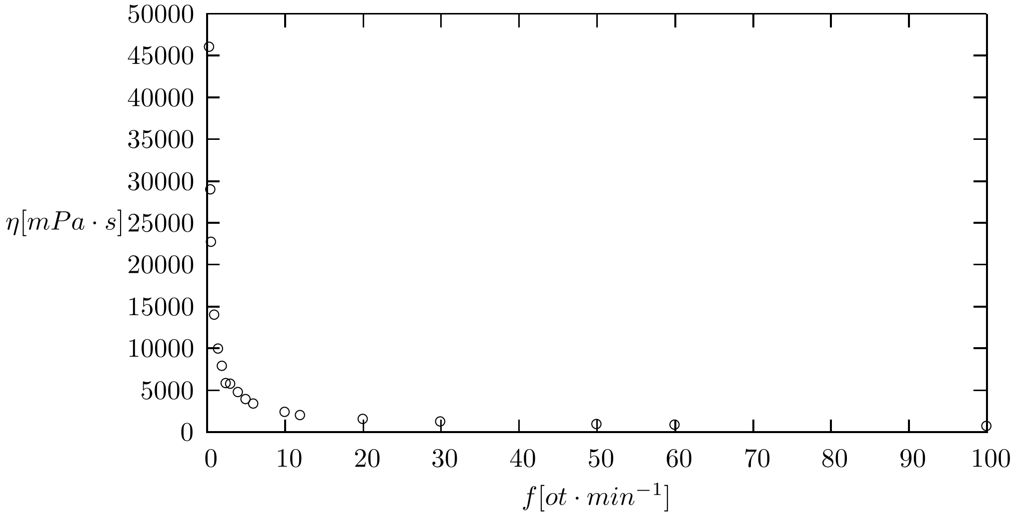
	Glycerin 86%	Škrob
Hřídel	L2	L1
Teplota	20,8C	21C
$f[ot \cdot min^{-1}]$	$\eta[mPa \cdot s]$	$\eta[mPa \cdot s]$
100		900
60		1070
50		1150
30	122	1430
20	122	1730
12	121	2250
10	123	2570
6	122	3600
5		4110
4		4940
3		5970
2,5		6020
2		8140
1,5		10140
1		14230
0,6		22960
0,5		29200
0,3		46250

Graf 1: Závislost viskozity glycerinu na rychlosti



Z naměřených výsledků je zřejmé, že glycerin je newtonovská kapalina, neboť její viskozita není závislá na frekvenci otáčení rotorem. Proto jsem z naměřených dat určil hodnotu viskozity pomocí metody nejmenšich čtverců a určil jsem statictickou chybu měření. Naměřená viskozita je $\eta = (122 \pm 0,32) mPa \cdot s$.

Graf 2: Závislost viskozity škrobu na rychlosti



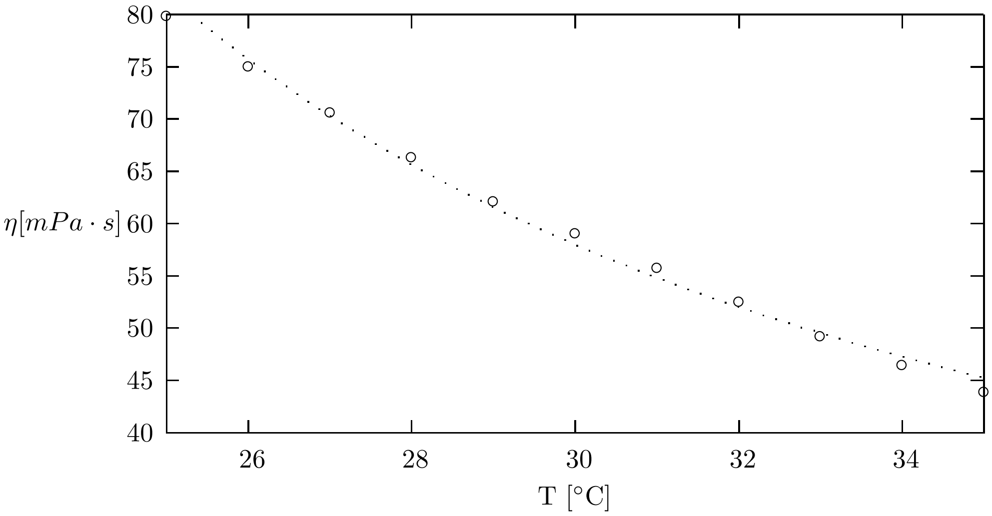
Z grafu je zřejmé, že se jedná o nenewtonovskou kapalinu.

Při měření závislosti viskozity glycerinu na teplotě jsme měřil časy průletu kuliček. Z nich jsem dále vypočetl hodnotu vizkozity a tak získal závislost vizkozity na teplotě.

T [C]	t [s]	$\eta [mPa \cdot s]$
25	129,25	79,98
26	121,50	75,18
27	114,40	70,79
28	107,44	66,48
29	100,66	62,29
30	95,69	59,21
31	90,32	55,89
32	85,15	52,69
33	79,75	49,35
34	75,29	46,59
35	71,18	44,05

Z naměřených dat jsem podle upraveného vztahu $ln\eta = lnC + \frac{\varepsilon_A}{k} \cdot \frac{1}{T}$ určil metodou nejmenších čtverců veličiny C a aktivační energii ε_A a jejich statictické chyby. Konstanta C mi vyšla $C = 10,23 \pm 0,20$ a aktivační energie mi vyšla $\varepsilon_A = (6,800 \pm 0,188) \cdot 10^{-22} J$. Tyto veličiny jsem vložil do předepsaného vztahu a zobrazil v grafu.

Graf 3: Závisnost viskozity glycerinu na teplotě



Diskuse výsledků

Při určování chyby měření hustoty glycerinu jsem použil metodu odhadu maximální nejistoty nepřímých měření, neboť jsem provedl pouze jeno měření této veličiny. Přesnost použitých vah byla $\pm 0,002g$.

Při určování koncentrace glycerinu je chyba vysoká. Je to dáno použitím tabulek, které nutí k výraznému zaokrouhlování. Stejný problém se vyskytl při určení tabulkové hodnoty glycerinu, kterou znám z tabulek pouze pro glycerin s koncentrací 85 % a teploty $20°C$ a $30°C$. $\eta_{20°C} = 109 mPa \cdot s$, $\eta_{30°C} = 58 mPa \cdot s$.

Z grafických závislostí je zřejmé, že u předložených kapalin byl glycerin newtonovskou kapalinou, neboť viskozita se neměnila v závislosti na otáčkách rotačního viskozimetru. Statistická chyba měření viskozity mi vyšla $\pm 0,32 mPa \cdot s$. Při odhadu chyby je potřeba také zohlednit relativní chybu měření viskozimetru. Otáčky viskozimetru jsem volil v rozmezí 30 až 6 $ot \cdot min^{-1}$. Pro tyto hodnoty se viskozita pohybovala v rozmezí 12,2 až 61,2 % měřícího rozsahu, čímž byla zaručena menší systematická chyba. Relativní chyba měření rotačního viskozimetru udávaná výrobcem je 0,5 %. Výsledná viskozita je potom $\eta = (122 \pm 3) mPa \cdot s$.

Při měření závislosti viskozity škrobu na rychlosti otáček jsme volil rychlosti v rozmezí 100 až 0,3 $ot \cdot min^{-1}$. Během tohoto měření se pohybovaly hodnoty v rozmezí 75 až 11,5 % rozsahu. Při měření viskozity škrobu se ukázalo, že se jedná o nenewtonovskou látku, proto bylo vhodné vždy chvíli vyčkat, než se hodnoty ustálily, což bylo při nižších rychlostech poměrně problématické, neboť používaný rotační viskozimetr vyhodnocuje viskozitu za dobu jedné otáčky rotoru, tudíž měření bylo časově náročné. Proto jsem při nižších rychlostech vyčkával pouze jednu otočku a tak tyto měření mohou být znepřesněny systematickou chybou.

Při měření kuličkovým viskozimetrem bylo vždy potřeba počkat dostatečnou dobu aby se stabilizovala telota vzorku stabilizovala. Samotné měření bylo dále znepřesňováno hrubými chybami při měření času pozorovatelem, ovšem vzhledem k měřeným časům nejsou chyby způsobené reakcemi pozorovatele tak významné. Při výpočtu se dále uplatňovala systematicá chyba, která byla dána přesností se kterou byla změřena hustota glycerinu. Při určování veličin pro modelový vztah závislosti viskozity na teplotě jsem používal hodnotu Boltzmannovy konstanty $k = (1,380658 \pm 0,000012) \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$.

Při určování veličin pro závislost viskozity newtonovské kapaliny na teplotě je opět potřeba zohlednit také systematické chyby při měření dané použitou aparaturou a přesností veličin, které byly použity při výpočtu. Konstanta C se tak rovná $C = 10 \pm 2$ a aktivační energie $\varepsilon_A = (6,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-22} J$

Závěr

Z měření vyplynulo, že škrob není newtonovskou kapalinou, neboť se viskozita mění v závislosti na zvolených otáčkách rotačního viskozimetru.

Naopak měřený glycerin, který má koncentraci 86 % je newtonovskou kapalinou. Hodnota viskozity pro teplotu $20,8°C$ je $\eta = (122 \pm 3) mPa \cdot s$. Tato viskozita závisí na teplotě podle vztahu

$$\eta(T) = 10 \cdot \exp\left(\frac{6,8 \cdot 10^{-22}}{kT}\right)$$

kde $\varepsilon_A = (6,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-22} J$ je hodnota aktivační energie.

Seznam použité literatury

Studijní materiály na stránkách fyzikálního praktika. http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp//
Kolektiv: *Matematicko fyzikální tabulky pro střední školy*, SPN Bratislava 2002
Englich, J.: *Úvod do praktické fyziky I*. Matfyzpress Praha 2006.