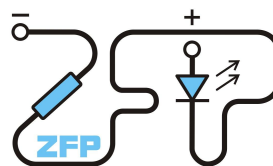


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum 1



Úloha č. VIa

Název úlohy: Reologické chování látek

Jméno: Marie Pilná

Datum měření: 20.2.2020

Připomínky opravujícího:

| | Možný počet bodů | Udělený počet bodů |
|------------------------------|------------------|--------------------|
| Teoretická část | 0 - 2 | |
| Výsledky a zpracování měření | 0 - 9 | |
| Diskuse výsledků | 0 - 4 | |
| Závěr | 0 - 1 | |
| Seznam použité literatury | 0 - 1 | |
| Celkem | max. 17 | |

Posuzoval:

dne:

Pracovní úkol

- 1) Měřením na rotačním viskozimetru Rheotest 2 zjistěte, zda tři kapaliny připravené pro měření jsou newtonovské.
- 2) Pro jednu neneutronovskou kapalinu změřte teplotní závislost dynamické viskozity η v oboru teplot od 18 °C do 30 °C.
- 3) Sestrojte grafy měřených závislostí.

Teorie

Má-li se jednat o newtonovskou kapalinu, musí být závislost smykového napětí τ_r přímo úměrná rychlosti deformace D_r . Konstantou úměrnosti, která zároveň danou látku charakterizuje, je dynamická viskozita η . Platí tedy vztah [1,2]

$$\tau_r = \eta D_r . \quad (1)$$

Pro neneutronovskou kapalinu [3] je závislost smykového napětí τ_r na rychlosti deformace D_r nelineární. Hodnota D_r je pro dané uspořádání válců rotačního viskozimetru konstantní a hodnotu τ_r určíme pomocí vztahu

$$\tau_r = \alpha z , \quad (2)$$

kde α je výchylka na stupnici galvanometru a z je pro dané uspořádání válců a daný rozsah měniče momentu síly konstanta [4].

Závislost viskozity newtonovské kapaliny na teplotě je exponenciální a můžeme ji nejlépe charakterizovat vztahem

$$\eta(T) = C \exp\left(\frac{\varepsilon_A}{kT}\right) , \quad (3)$$

kde ε_A je aktivační energie, C je konstanta, k Boltzmannova konstanta a T je termodynamická teplota.

Výsledky měření

Měření bylo provedeno pomocí rotačního viskozimetru Rheotest 2, bylo použito uspořádání válců S-S1 a rozsah měniče I, tedy platí podle [4]

$$z = 0,578 \text{ Pa/dílek}$$

V tabulce 1 jsou spočítány hodnoty τ_r dle (2) pro jednotlivé rychlosti deformace D_r a hodnoty η pro dané látky, teplota měření je uvedena v tabulce.

Tabulka 1: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace.

| glycerin | | | ricinový olej | | | škrob | | |
|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|
| $t=19,0^{\circ}\text{C}$ | | | $t=19,5^{\circ}\text{C}$ | | | $t=20^{\circ}\text{C}$ | | |
| D_r [s^{-1}] | α [dílek] | τ_r [Pa] | D_r [s^{-1}] | α [dílek] | τ_r [Pa] | D_r [s^{-1}] | α [dílek] | τ_r [Pa] |
| 27,0 | 4 | 2,31 | 4,5 | 9 | 5,20 | 13,5 | 3,5 | 2,00 |
| 40,5 | 6 | 3,47 | 5,4 | 11 | 6,36 | 16,2 | 4 | 2,30 |
| 48,6 | 7 | 4,05 | 8,1 | 17 | 9,83 | 24,3 | 5 | 2,90 |
| 72,9 | 10 | 5,78 | 9,0 | 19 | 10,98 | 27,0 | 5 | 2,90 |
| 81,0 | 11 | 6,36 | 13,5 | 28 | 16,18 | 40,5 | 6 | 3,50 |
| 122 | 16 | 9,25 | 16,2 | 35 | 20,23 | 48,6 | 7 | 4,00 |
| 146 | 19 | 10,98 | 24,3 | 53 | 30,63 | 72,9 | 9 | 5,20 |
| 219 | 28 | 16,18 | 27,0 | 61 | 35,26 | 81,0 | 9 | 5,20 |
| 243 | 31 | 17,92 | 40,5 | 91 | 52,60 | 122 | 12 | 6,90 |
| 365 | 46 | 26,59 | | | | 146 | 13,5 | 7,80 |
| 437 | 54 | 31,21 | | | | 219 | 17 | 9,80 |
| 656 | 81 | 46,82 | | | | 243 | 18,5 | 10,70 |
| 729 | 89 | 51,44 | | | | 365 | 24 | 13,90 |
| | | | | | | 437 | 27 | 15,60 |
| linregrese | | | linregrese | | | 656 | 36 | 20,80 |
| η [Pa.s] | 0,0716 | | η [Pa.s] | 1,2801 | | 729 | 37 | 21,40 |
| σ_{η} [Pa.s] | 0,0004 | | σ_{η} [Pa.s] | 0,0022 | | 1312 | 55 | 31,80 |

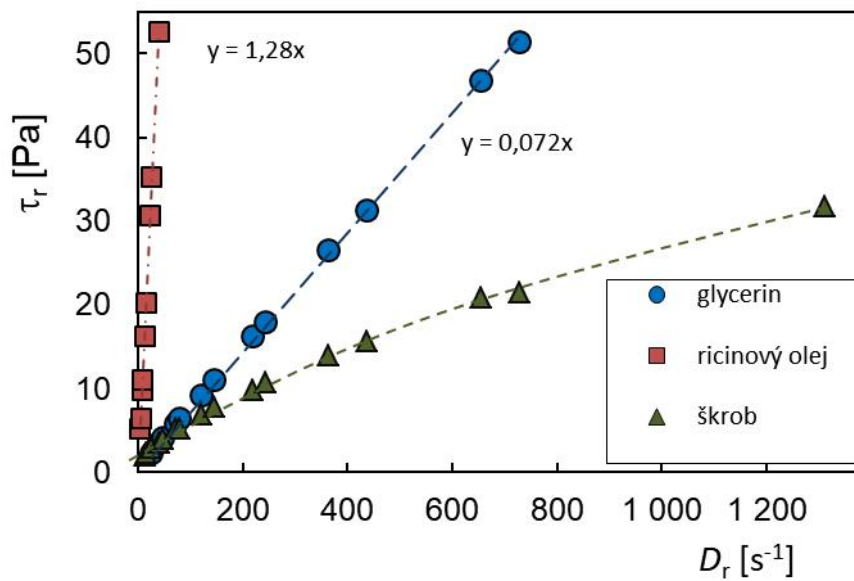
Dynamická viskozita glycerinu a ricinového oleje byla určena podle (1) pomocí lineární regrese (funkce linregrese, Excel) a je uvedena v tabulce 1 s chybou, která je stanovena jako chyba regrese. Závislost je vynesena v grafu 1 (výřez graf 2), pro glycerin a ricinový olej je závislost lineární. Chyba přístroje Rheotest činí přibližně 3% [1]; po započtení této chyby podle vztahu

$$\sigma_{\eta}^{celk} = \eta \cdot \sqrt{(\sigma_{\eta}/\eta)^2 + 0,03^2} \quad , \quad (4)$$

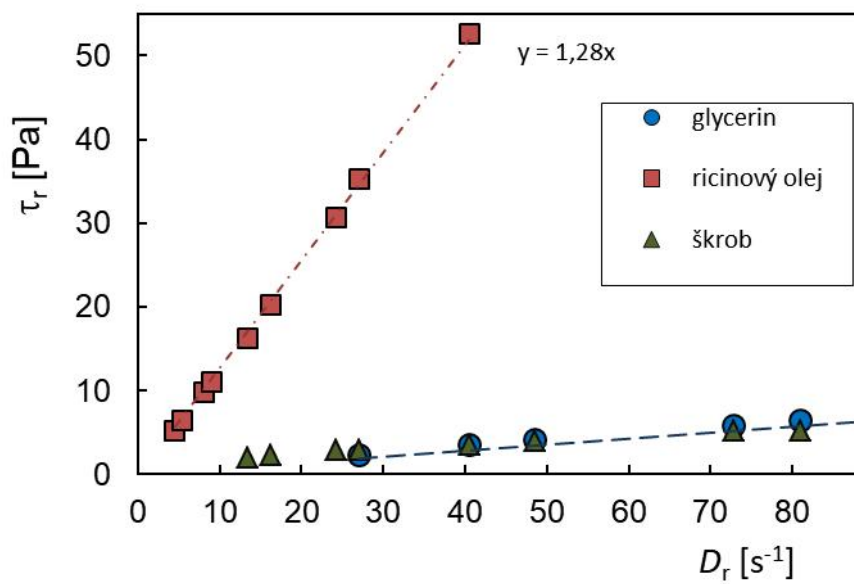
získáme celkovou chybu viskozity uvedenou v tabulce 2.

Tabulka 2: Dynamická viskozita newtonovských kapalin (tabelované hodnoty jsou pro 20 °C [6]).

| | η [Pa.s] | σ_{η}^{celk} [Pa.s] | t [°C] | η^{tab} [Pa.s] (100 %) | η^{tab} [Pa.s] (85 %) | η^{tab} [Pa.s] (80 %) |
|---------------|---------------|-------------------------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| glycerin | 0,072 | 0,002 | 19,0 | 1,41 | 0,109 | 0,06 |
| ricinový olej | 1,28 | 0,04 | 19,5 | 0,99 | | |



Graf 1: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro glycerol, ricinový olej a škrob.

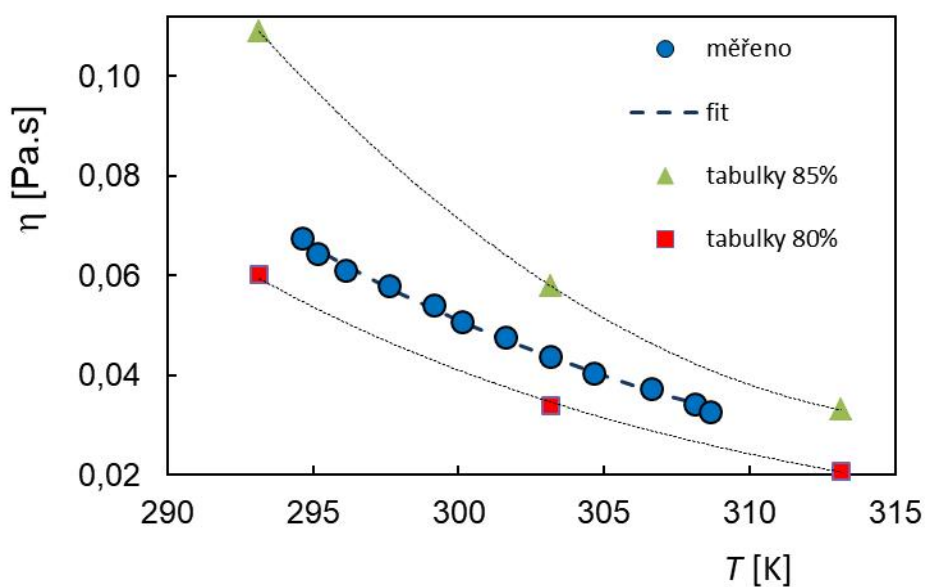


Graf 2: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro glycerol, ricinový olej a škrob – výřez (malé rychlosti deformace).

Závislost dynamické viskozity na teplotě byla měřena pro glycerol, naměřené hodnoty η pro $D_r = 729 s^{-1}$ jsou v tabulce 3 a znázorněna v grafu 3.

Tabulka 3: Teplotní závislost viskozity glycerinu.

| t [°C] | T [K] | α [Pa] | τ_r [Pa] | η [mPa.s] |
|--------|-------|---------------|---------------|----------------|
| 21,5 | 294,7 | 85 | 49,1 | 67,4 |
| 22,0 | 295,2 | 81 | 46,8 | 64,2 |
| 23,0 | 296,2 | 77 | 44,5 | 61,1 |
| 24,5 | 297,7 | 73 | 42,2 | 57,9 |
| 26,0 | 299,2 | 68 | 39,3 | 53,9 |
| 27,0 | 300,2 | 64 | 37,0 | 50,7 |
| 28,5 | 301,7 | 60 | 34,7 | 47,6 |
| 30,0 | 303,2 | 55 | 31,8 | 43,6 |
| 31,5 | 304,7 | 51 | 29,5 | 40,4 |
| 33,5 | 306,7 | 47 | 27,2 | 37,3 |
| 35,0 | 308,2 | 43 | 24,9 | 34,1 |
| 35,5 | 308,7 | 41 | 23,7 | 32,5 |



Graf 3: Teplotní závislost viskozity glycerinu, tabulkové hodnoty [6] jsou pro uvedené koncentrace glycerinu ve vodě.

Závislost viskozity na teplotě byla proložena exponenciála ve tvaru $\eta(T) = C \exp(B/T)$, vyjdou konstanty $C = 1,62 \cdot 10^{-8}$ Pa.s, $B = 4490$ K. Z konstanty B po vynásobení Boltzmannovou konstantou $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ JK⁻¹ [5] dostaneme aktivační energii $\varepsilon_A = 6,2 \cdot 10^{-20}$ J.

Diskuse

Newtonovské kapaliny. Závislost smykového napětí na deformaci je lineární pro glycerin a ricinový olej, kapaliny jsou newtonovské. Pro škrob je tato závislost nelineární, jedná se o kapalinu neneutronovskou.

Srovnání viskozity glycerinu s tabulkovými hodnotami. V praktiku jsme měřili směs glycerinu s vodou, podle údaje na lahvi 85 % glycerinu. Měřená viskozita při 19 °C je 72 mPa.s, tabulka dostupná v praktiku [6] uvádí 109 mPa.s pro 85% (při 20 °C) a 60 mPa.s pro 80 % při stejné teplotě. Tabulkové hodnoty pro 80 % a 85% vodný roztok glycerinu jsou vyneseny v grafu teplotní závislosti (Graf 3), měřený glycerin měl koncentraci mezi těmito hodnotami.

Srovnání viskozity ricinového oleje s tabulkovými hodnotami. Změřená dynamická viskozita ricinového oleje je vyšší než hodnota v tabulkách [5], přibližně o 30 %. Ricinový olej je přírodní látka, která se získává lisováním semen [7] a viskozita pravděpodobně závisí na kvalitě výchozí suroviny.

Teplotní závislost viskozity glycerinu je klesající a dobře odpovídá teoretickému vztahu (3). Z měřených dat lze určit fitováním aktivační energii děje, která je uvedena ve výsledcích měření. V grafu teplotní závislosti jsou vyneseny tabulkové hodnoty pro dvě různé koncentrace glycerinu, z grafu lze odhadnout, že koncentrace glycerinu byla přibližně 82 %.

Přesnost měření teploty byla 0,5 °C, viskozita byla stanovena s chybou 3 %, která odpovídá chybě přístroje udávané výrobcem [2].

Závěr

Pomocí experimentu se podařilo zjistit, že glycerol a ricinový olej lze považovat za newtonovské kapaliny. Zjistili jsme též, že škrob se newtonovsky nechová. Byla určena viskozita glycerinu při 19 °C (72±2) mPa.s a viskozita ricinového oleje při 19,5 °C (1280±40) mPa.s. Pro glycerol byla ověřena exponenciální závislost dynamické viskozity na termodynamické teplotě, viskozita s rostoucí teplotou klesá.

Literatura

- [1] SLAVÍNSKÁ, D., I. STULÍKOVÁ a P. VOSTRÝ. *Fyzikální praktikum I: Mechanika a molekulová fyzika*. Praha: SPN, 1989.
- [2] *Studium reologického chování látek* [online]. [cit. 2011-02-20]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/106>
- [3] *Non-Newtonian fluid* [online]. [cit. 2011-02-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian_fluid
- [4] tabulka u přístroje

- [5] BROŽ, J., V. ROSKOVEC a M. VALOUCH. *Fyzikální a matematické tabulky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980, 305 s.
- [6] *Viscosity of Aqueous Glycerine Solutions* [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/glyc_viscosity.pdf
- [7] *Ricinový olej* [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ricinov%C3%BD_olej