

Pracovní úkol

- 1) Měřením na rotačním viskosimetru 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	4	2,312	4,5	9	5,202	13,5	3,5	2
40,5	6	3,468	5,4	11	6,358	16,2	4	2,3
48,6	7	4,046	8,1	17	9,826	24,3	5	2,9
72,9	10	5,78	9	19	10,982	27	5	2,9
81	11	6,358	13,5	28	16,184	40,5	6	3,5
121,5	16	9,248	16,2	35	20,23	48,6	7	4
145,8	19	10,982	24,3	53	30,634	72,9	9	5,2
218,7	28	16,184	27	61	35,258	81	9	5,2
243	31	17,918	40,5	91	52,598	121,5	12	6,9
364,5	46	26,588				145,8	13,5	7,8
437,4	54	31,212				218,7	17	9,8
656	81	46,818				243	18,5	10,7
729	89	51,442				364,5	24	13,9
						437,4	27	15,6
linregrese			linregrese			656	36	20,8
η [Pa.s]	0,0716		η [Pa.s]	0,0000		729	37	21,4
σ_{η} [Pa.s]	0,0004		σ_{η} [Pa.s]	0,0022		1312	55	31,8

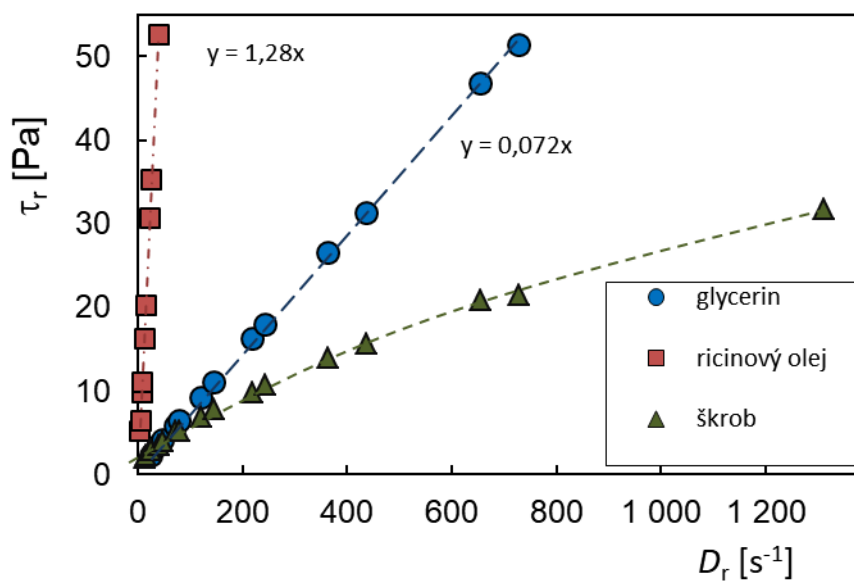
Dynamická viskozita glycerinu a ricinového oleje byla určena podle (1) pomocí lineární regrese (funkce linregrese, Excel) a je uvedena v tabulce 1 s chybou, která je stanovena jako chyba regrese. Závislost je vynesena v grafu 1 (výřez graf 2), pro glycerin a ricinový olej je závislost lineární. Chyba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

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

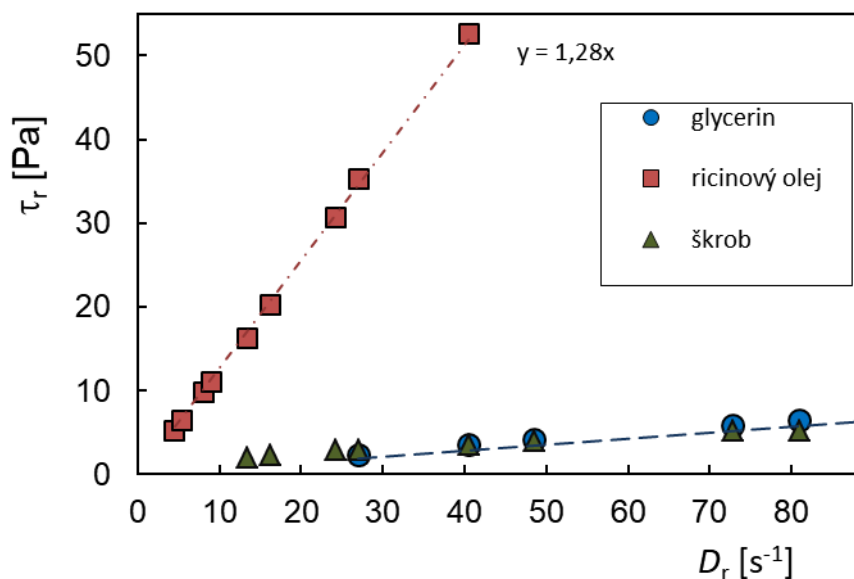
získáme celkovou chybu viskozity uvedenou v tabulce 2.

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.

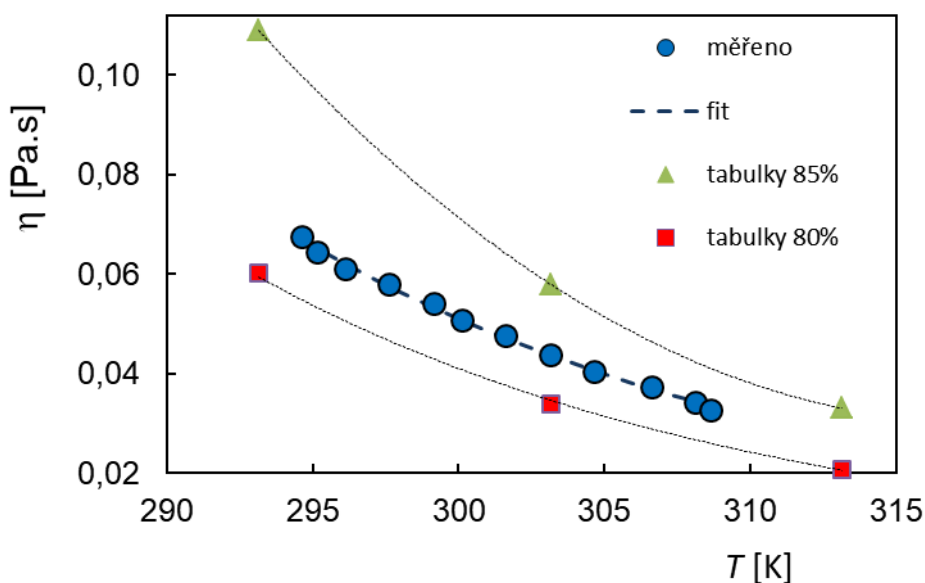


Graf 2: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro glycerol, ricinový olej a škrob – výřez (malé rychlosti deformace).

Závislost dynamické viskozity na teplotě byla měřena pro glycerol, naměřené hodnoty η pro $D_r = 729 \text{ s}^{-1}$ 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	295,2	81	46,8	64,2
23	296,2	77	44,5	61,1
24,5	297,7	73	42,2	57,9
26	299,2	68	39,3	53,9
27	300,2	64	37,0	50,7
28,5	301,7	60	34,7	47,6
30	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	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

Newtonské 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. 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