

## 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  $\eta$  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  $\tau_r$  přímo úměrná rychlosti deformace  $D_r$ . Konstantou úměrnosti, která zároveň danou látku charakterizuje, je dynamická viskozita  $\eta$ . Platí tedy vztah [1,2]

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

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

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

kde  $\alpha$  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  $\varepsilon_A$  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  $\tau_r$  dle (2) pro jednotlivé rychlosti deformace  $D_r$  a hodnoty  $\eta$  pro dané látky, teplota měření je uvedena v tabulce.

Tabulka 1: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace.

glycerin			ricinový olej			škrob		
$t=19,0^{\circ}\text{C}$			$t=19,5^{\circ}\text{C}$			$t=20^{\circ}\text{C}$		
$D_r$ [ $\text{s}^{-1}$ ]	$\alpha$ [dílek]	$\tau_r$ [Pa]	$D_r$ [ $\text{s}^{-1}$ ]	$\alpha$ [dílek]	$\tau_r$ [Pa]	$D_r$ [ $\text{s}^{-1}$ ]	$\alpha$ [dílek]	$\tau_r$ [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
$\eta$ [Pa.s]	0,0716		$\eta$ [Pa.s]	1,2801		729	37	21,40
$\sigma_{\eta}$ [Pa.s]	0,0004		$\sigma_{\eta}$ [Pa.s]	0,0022		1312	55	31,80

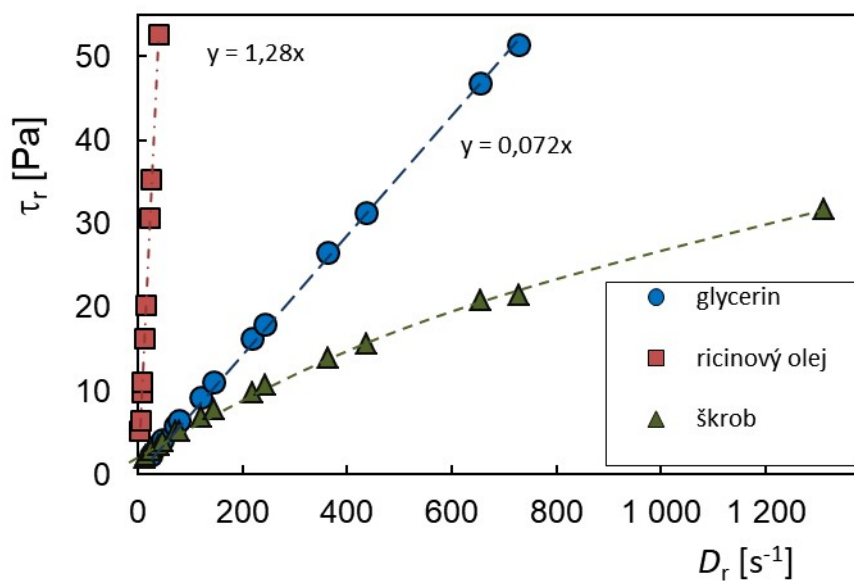
Dynamická viskozita glycerinu a ricinového oleje byla určena podle (1) pomocí lineární regrese (funkce linregrese, Excel) a je uvedena v tabulce 1 s chybou, která je stanovena jako chyba regrese. Závislost je vynesena v grafu 1 (výřez graf 2), pro glycerin a ricinový olej je závislost lineární. Chyba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

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

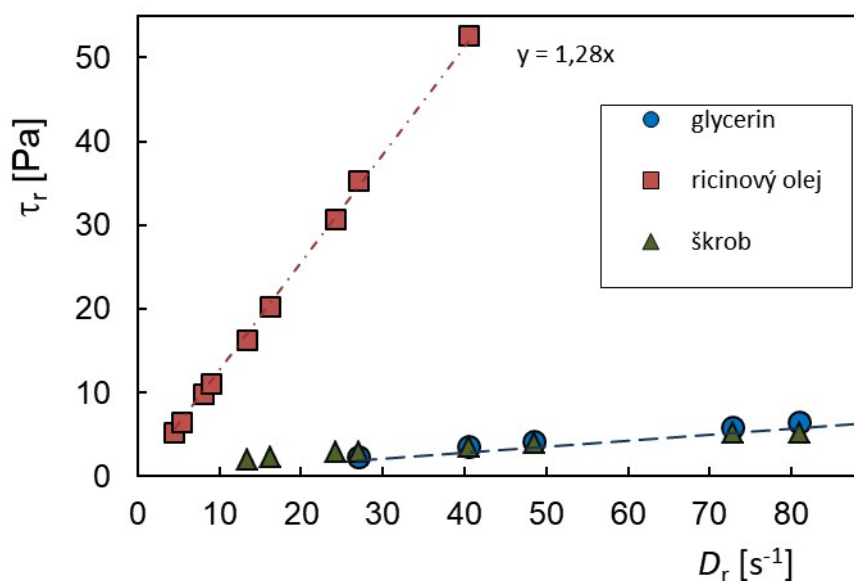
získáme celkovou chybu viskozity uvedenou v tabulce 2.

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

	$\eta$ [Pa.s]	$\sigma_{\eta}^{celk}$ [Pa.s]	$t$ [°C]	$\eta^{tab}$ [Pa.s] (100 %)	$\eta^{tab}$ [Pa.s] (85 %)	$\eta^{tab}$ [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.

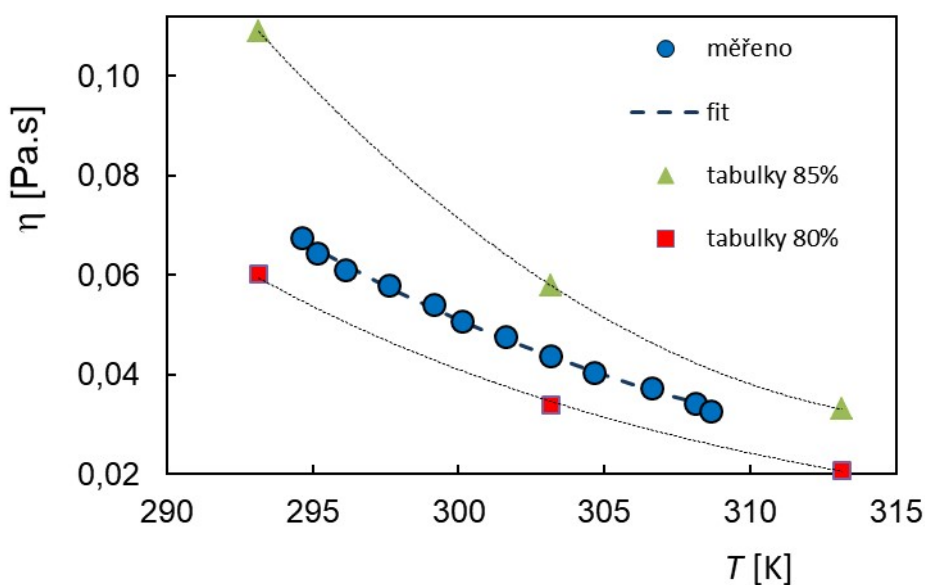


Graf 2: Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro glycerol, ricinový olej a škrob – výřez (malé rychlosti deformace).

Závislost dynamické viskozity na teplotě byla měřena pro glycerol, naměřené hodnoty  $\eta$  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]	$\alpha$ [Pa]	$\tau_r$ [Pa]	$\eta$ [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<sup>-1</sup> [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](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](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](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ricinov%C3%BD_olej)