

7 REOLÓGIA KVAPALÍN

CIEĽ LABORATÓRNEHO CVIČENIA

Cieľom laboratórneho cvičenia je získať veličiny potrebné pre vyhodnotenie reologických vlastností skúmaných látok a zostrojiť ich reogramy.

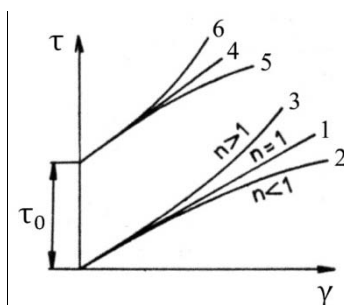
ÚLOHY LABORATÓRNEHO CVIČENIA

- Meranie veličín potrebných k zostrojeniu reogramu
- Výpočet rýchlosti šmykovej deformácie a šmykového napätia
- Zostrojenie grafickej závislosti $\tau = f(\gamma)$

TEORETICKÝ ÚVOD

Dynamická viskozita je látkový parameter, ktorý udáva schopnosť látky spôsobiť odpor proti vzájomnému pohybu jednotlivých častíc tekutiny, čo sa prejaví vnútorným trením v tekutine. Hodnota dynamickej viskozity nie je závislá od šmykovej rýchlosti, ani od času pôsobenia napätia. Je však závislá od teploty a tlaku. Pri kvapalinách hodnota viskozity so vzrastajúcou teplotou spravidla klesá, pri plynach naopak.

Reologický model je funkčnou závislosťou medzi rýchlosťou šmykovej deformácie γ a šmykovým napätím τ , pričom táto závislosť obsahuje minimálne dva parametre, ktoré je nutné pre danú látku experimentálne určiť. Grafické vyjadrenie funkčnej závislosti šmykového napätia τ od rýchlosti šmykovej deformácie γ sa nazýva reogram.



Obr. 7.1 Reogramy kvapalných látok

čisto viskózne kvapaliny: 1 - newtonská, 2 - pseudoplastická, 3 - dilatantná,
viskoplastické kvapaliny: 4 - binghamská, 5, 6 - ďalšie viskoplastické kvapaliny

Najčastejšie používaným reologickým modelom pre čisto viskózne kvapaliny je mocninový model.

$$\tau = K \cdot \gamma^n \quad (7.1)$$

kde

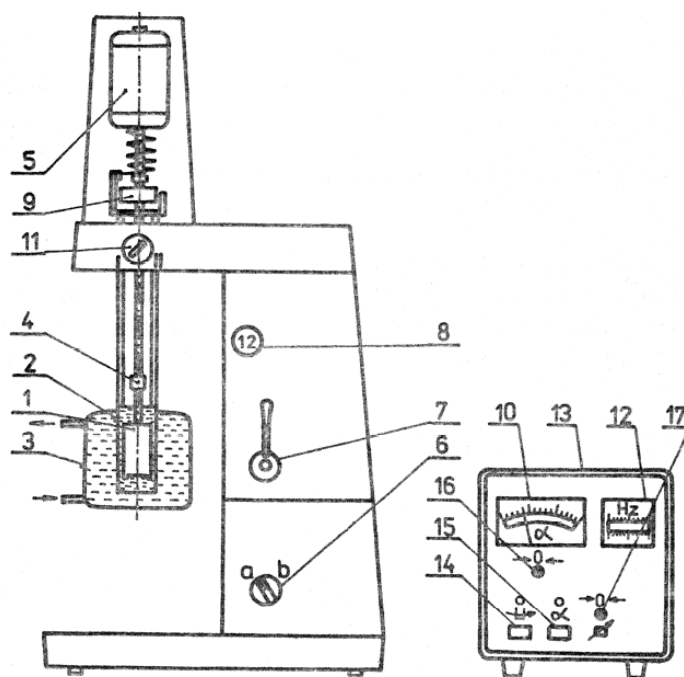
τ	- šmykové napätie	(Pa)
γ	- rýchlosť šmykovej deformácie	(s ⁻¹)
K	- koeficient konzistencie	(Pa · s ⁿ)
n	- index toku	(1)

LABORATÓRNE CVIČENIA Z VLASTNOSTÍ LÁTOK

Ak je hodnota indexu toku v mocninovom modeli $n = 1$, potom tento model opisuje reologické správanie newtonovských kvapalín, pričom hodnota koeficientu konzistencie K je totožná s hodnotou dynamickej viskozity μ . Z uvedeného vyplýva, že reogram newtonovskej kvapaliny je priamka prechádzajúca počiatkom súradnicového systému, ktorej smernica má hodnotu dynamickej viskozity. Medzi newtonovské kvapaliny patria voda, minerálne oleje, glycerín a iné.

Reologické vlastnosti kvapalných látok je možné zisťovať pomocou prístrojov, ktoré sa nazývajú reometre. Základné dva typy reometrov sú kapilárny a rotačný. Merania na rotačných reometroch sú rýchlejšie a dosahujú presnejšie výsledky, preto sú v praxi častejšie používanými.

Princíp merania reologických vlastností kvapalných látok pomocou rotačného reometra je založený na meraní krútiaceho momentu potrebného na otáčanie meracieho prvku určitou uhlovou rýchlosťou. Meranie krútiaceho momentu prenášaného z prevodovky na merací prvok sa uskutočňuje pomocou elastického člena a elektrického prevodníka. Krútiaci moment sa meria pri rôznych frekvenciách otáčania hriadeľa, ktoré možno nastavovať spojito alebo stupňovito. Na meranie reologických vlastností bude použitý rotačný reometer RHEOTEST 2.



Obr.7.2 Rotačný reometer RHEOTEST 2

- 1 - vnútorný valec, 2 - vonkajší valec, 3 - temperovacia nádoba, 4 - spojka,
5 - synchronný motor, 6 - prepínač pólov elektromotora, 7 - radiaca páka,
8 - okienko na identifikáciu zaradeného prevodu, 9 - dynamometer,
10 - ukazovateľ krútiaceho momentu, 11 - prepínač rozsahu krútiaceho momentu,
12 - merač frekvencie, 13 - merací prístroj, 14 - vypínač motora,
15 - vypínač prístroja, 16 - statické nulovanie, 17 - dynamické nulovanie

RHEOTEST 2 je rotačný reometer s úzkou štrbinou meracej sekcie pozostávajúcej z dvoch koncentrických valcov. Reologické vlastnosti látok sú vo všeobecnosti závislé od teploty, preto je možné k zariadeniu pripojiť temperovaciu nádobu, ktorá pomocou termostatu dokáže udržať meranú látku pri teplote v rozsahu od $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vnútorný valec 1 je

LABORATÓRNE CVIČENIA Z VLASTNOSTÍ LÁTOK

poháňaný synchronným elektromotorom 5, ktorého počet pólov sa môže meniť prepínačom 6. Otáčky valca je možné stupňovito meniť pomocou 12-stupňovej prevodovky ovládacou pákou 7. Nastavený prevodový pomer sa identifikuje číslicami v kruhovom okienku 8. Celkový počet stupňovito nastaviteľných uhlových rýchlostí je 24. Hodnoty uhlových rýchlostí pre jednotlivé usporiadania pohonu sú uvedené v tabuľke 7.1.

Tabuľka 7.1 Hodnoty uhlových rýchlostí

Prevodový stupeň	Uhlová rýchlosť Ω_{50} (s ⁻¹)	Prevodový stupeň	Uhlová rýchlosť Ω_{50} (s ⁻¹)
1b	0,0291	6a	0,943
2b	0,0524	8b	1,414
1a	0,0582	7a	1,571
3b	0,0873	9b	2,356
2a	0,1047	8a	2,827
4b	0,1571	10b	4,241
3a	0,1745	9a	4,71
5b	0,262	11b	7,07
4a	0,314	10a	8,48
6b	0,471	12b	12,72
5a	0,524	11a	14,14
7b	0,785	12a	25,45

Krútiaci moment potrebný na pohon valca 1 sa meria dvojstupňovým dynamometrom 9 so skrúcanými pružinami a potenciometrickým snímaním torznej deformácie. Veľkosť krútiaceho momentu je daná výchylkou ručičky na ukazovateli 10. Dynamometer má dva rozsahy (I a II), ktoré sa prepínajú prepínačom 11. Otáčky synchronného elektromotora, ktorý je použitý na pohon vnútorného valca 1, sú presne definované frekvenciou elektrickej siete. Pre prípad, že frekvencia v sieti je premenlivá, je v prístroji 13 zabudovaný merač frekvencie 12. Uhlová rýchlosť Ω sa vypočíta podľa vzťahu:

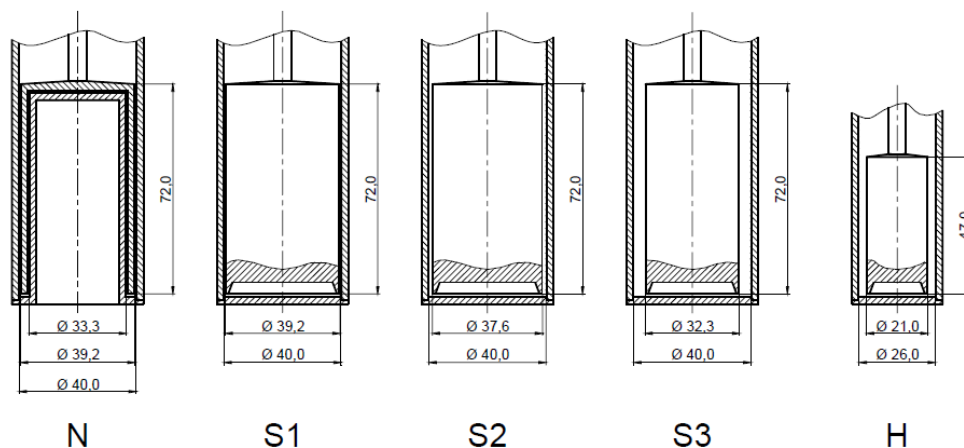
$$\Omega = \Omega_{50} \cdot \frac{f}{50} \quad (7.2)$$

kde

- f - skutočná frekvencia siete (Hz)
 Ω_{50} - uhlová rýchlosť pre príslušný prevodový stupeň (s⁻¹)

Pre rôzne rozsahy meraných viskozít má reometer k dispozícii päť rôznych geometrických usporiadaní meracích valcov N, S1, S2, S3, H, ktoré sú uvedené na obrázku 7.3.

LABORATÓRNE CVIČENIA Z VLASTNOSTÍ LÁTK



Obr.7.3 Geometrické usporiadania meracích valcov

Hodnoty potrebné na vyhodnotenie meraní pre jednotlivé geometrické usporiadania sú uvedené v tabuľke 7.2.

Tabuľka 7.2 Hodnoty parametrov pre jednotlivé geometrické usporiadania

Označenie	h (mm)	R_1 (mm)	V (cm ³)	Z_I (Pa)	Z_{II} (Pa)	s (1)
N	72,0	19,6	10	0,328	3,40	1,020
S1	72,0	19,6	25	0,535	5,62	1,020
S2	72,0	18,8	30	0,622	6,33	1,064
S3	72,0	16,15	50	0,830	8,44	1,238
H	47,0	10,5	17	2,940	30,60	1,238

LABORATÓRNE CVIČENIE

Namerajte hodnoty veličín potrebných na zostrojenie reogramu kvapalín, zaznamenajte hodnoty údajov do tabuľky a dopočítajte hodnoty šmykového napätia, a rýchlosti šmykovej deformácie. Zostrojte grafickú závislosť $\tau = f(\gamma)$.

Meranie veličín potrebných na zostrojenie reogramu kvapalín:

Použitý materiál:

- glycerín
- destilovaná voda
- vaječný bielok

Prístroje a pomôcky:

- RHEOTEST 2
- laboratórne sklo (lievik, odmerný valec, odmerné banky)

Postup práce:

Po pripojení zariadenia do elektrickej siete a pripojení ukazovacieho prístroja 13, vykonajte statické a dynamické nulovanie výchylky ručičky na ukazovateli 10 pre údaj krútiaceho momentu. Statické nulovanie vykonajte pri vypnutom hnacom hriadeľi pomocou skrutky 16 a dynamické pri otáčkach hriadeľa naprázdno a zaradenom

LABORATÓRNE CVIČENIA Z VLASTNOSTÍ LÁTOK

prevodovom stupni 8a. Do zvoleného statického valca 2 nalejte príslušný objem V meranej kvapaliny. Rotujúci valec 1 pripojte spojku 4 na hriadeľ synchronného elektromotora 5 a bajonetovým uzáverom koaxiálne s rotujúcim valcom pripevnite statický valec 2 s meranou kvapalinou. Pomocou ovládacej páky 7 a prepínačom 6 nastavte najnižší prevodový stupeň. Prepínač rozsahu krútiaceho momentu 11 nastavte do polohy väčšieho rozsahu II. Zapnite elektromotor vypínačom 14 a ukazovací prístroj vypínačom 15, pričom kontrolujte frekvenciu elektrickej siete na ukazovateli 12. Ak je meraný krútiaci moment menší ako citlivosť prístroja, nastavte prepínač 11 do polohy I. Ak by ani vtedy ručička ukazovateľa neukazovala odčítateľnú výchylku, preradte na prevodový stupeň s vyššou frekvenciou otáčania. Prepočet veličín nameraných na rotačnom reometri t.j. krútiaceho momentu zodpovedajúceho výchylke ukazovateľa α a uhlovej rýchlosti Ω zodpovedajúcej zaradenému prevodovému stupňu na základné reologické veličiny, ktoré sú šmykové napätie τ a rýchlosť šmykovej deformácie γ závisí od meracej sekcie rotačného reometra, a tiež od reologického správania meranej kvapaliny. Ak budete predpokladať, že reologické správanie kvapaliny možno aproximovať mocninovým modelom (7.1), môžete postupovať pri vyhodnocovaní nameraných veličín podľa nasledovného postupu. Najskôr vypočítajte šmykové napätie z nameraného krútiaceho momentu:

$$\tau = z \alpha \quad (7.3)$$

kde

τ	- šmykové napätie	(Pa)
z	- konštanta prístroja	(Pa)
α	- počet dielikov na stupnici prístroja	(1)

v ktorom z (podľa polohy prepínača 11 buď z_I alebo z_{II}) je konštanta prístroja vyplývajúca z geometrickej konfigurácie meracej sekcie prístroja (tabuľka 7.2) a α je počet dielikov zodpovedajúci výchylke ručičky na stupnici ukazovateľa 10. Uhlovú rýchlosť Ω určte na základe nameranej skutočnej frekvencie elektrickej siete f a uhlovej rýchlosti Ω_{50} pri frekvencii elektrickej siete 50 Hz, ktorá zodpovedá príslušnému prevodovému stupňu (tabuľka 7.1), podľa vzťahu (7.2). Ďalej zostrojte grafickú závislosť $\ln \Omega$ a $\ln \tau$, preložte trendovou čiarou a zobrazte rovnicu grafu. Získate parameter n , ktorý je smernicou tejto priamky a zodpovedá hodnote indexu toku mocninového modelu a parameter q , ktorý je priesečníkom priamky s osou y . Dosadte parameter n do rovnice na výpočet rýchlosti šmykovej deformácie:

$$\gamma = \frac{2\Omega}{n \left(1 - s^{-\frac{2}{n}}\right)} \quad (7.4)$$

kde

γ	- rýchlosť šmykovej deformácie	(s^{-1})
s	- konštanta prístroja	(1)
α	- počet dielikov na stupnici prístroja	(1)

Takto vypočítajte hodnoty rýchlosti šmykovej deformácie pre všetky namerané hodnoty výchýliek ručičiek a zostrojte grafickú závislosť $\tau = f(\gamma)$. Koeficient konzistencie K mocninového modelu vypočítajte pomocou vzťahu

LABORATÓRNE CVIČENIA Z VLASTNOSTÍ LÁTOK

$$K = e^q \cdot R_1^2 \cdot \left[\frac{n}{2} \cdot \left(R_1^{-\frac{2}{n}} - R_2^{-\frac{2}{n}} \right) \right]^n \quad (7.5)$$

kde

- e - Eulerovo číslo (1)
- R_1 - polomer rotujúceho valca (m)
- R_2 - polomer statického valca (m)

Na záver vypočítajte hodnotu dynamickej viskozity pre všetky vypočítané hodnoty rýchlosti šmykovej deformácie a šmykového napätia podľa vzťahu:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (7.6)$$

kde

- μ - dynamická viskozita (Pa.s)

Na výpočet sa odporúča použiť tabuľkový editor Microsoft Excel alebo Origin.

ZÁVER