

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:

8

Název úlohy:

Měření viskozity

Úkoly měření:

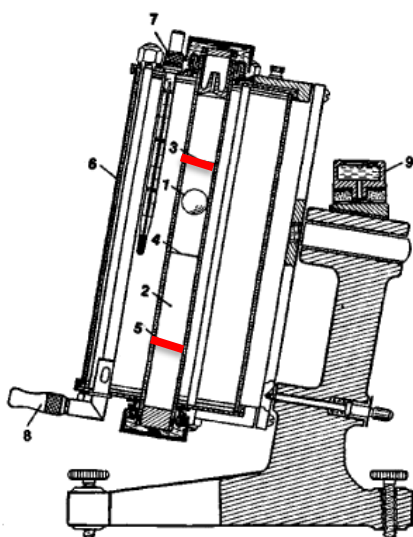
- Určete dynamickou viskozitu neznámé kapaliny při pokojové teplotě (teplotě v laboratoři).
- Změřte dynamickou viskozitu při teplotách vyšších než teplota původní neznámé kapaliny ve viskozimetru (dle zadání pedagoga) a vytvořte graf, který znázorňuje závislost viskozity na teplotě.
- Uveďte, kde se s viskozitou můžeme setkat a v jakých jednotkách se vyjadřuje.

Obecná část

Dynamická viskozita η látky je veličina, neboli materiálová charakteristika, závislá na teplotě (se vzrůstající teplotou u kapalin klesá a u plynů roste). Definiuje se jako konstanta úměrnosti mezi tečným napětím při proudění kapaliny a gradientem rychlosti, který je určován ve směru kolmém k toku kapaliny. K měření viskozity se běžně používají kapilární (průtokové), tělískové (pádové) a rotační viskozimetry a moderní vibrační viskozimetry.

Měření viskozity pomocí Höpplerova viskozimetru

Höpplerův viskozimetr (Obrázek 1) patří mezi tzv. tělískové viskozimetry. U tohoto druhu viskozimetrů se viskozita určuje z rychlosti pádu tělíška (kuličky) v dané kapalině.



- (1) kulička
- (2) trubice s kapalinou
- (3),(4),(5) kruhové značení na trubici
- (6) kapalina lázně
- (7) teploměr
- (8) přípojovací potrubí k termostatu
- (9) vodováha

Obrázek 1 Höpplerův viskozimetr

Princip:

Na kuličku padající v kapalině působí tři síly: tíha G , vztlak F_A a odpor prostředí F_S . Pro kuličku o hustotě ρ_K a poloměru r platí:

$$G = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_K g \qquad F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_V g \quad (\text{Archimedova síla), kde}$$

ρ_V hustota vzorku kapaliny (viz tabulky),

ρ_K hustota padající kuličky

g tíhové zrychlení

Pro odpor prostředí platí:

$$F_S = 6\pi\eta r v \quad (\text{Stokesova síla), kde}$$

η dynamická viskozita vzorku v rychlost pádu kuličky.

Mezi ryskami viskozimetru se kulička pohybuje pohybem rovnoměrným přímočarým, podle 1. Newtonova zákona tedy platí

$$G - F_A - F_S = 0.$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_K g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_V g - 6\pi\eta r v = 0$$

Po dosazení:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_K - \rho_V)g}{9v}$$

odtud

Provedeme-li experiment tak, že necháme při měření kuličku proběhnout vždy stejnou dráhu a měříme čas t , za který tuto dráhu urazí, dostaneme

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9s} (\rho_K - \rho_V) t$$

Konstantu $K = \frac{2r^2 g}{9s}$ nazýváme konstanta kuličky.

Pak tedy: $\eta = K (\rho_K - \rho_V) t.$ (1)

Použité přístroje

Höpplerův viskozimetr (Obrázek 1 [Höpplerův viskozimetra](#) Obrázek 2), kovové a skleněné kuličky (Obrázek 3), teploměr, stopky, termostat pro zahřívání vodní lázně (Obrázek 4); odměrný válec, hustoměr.



Obrázek 2 Höpplerův viskozimetr



Obrázek 3 Sada kovových a skleněných kuliček



Obrázek 4 Termostat pro zahřívání vodní lázně



Obrázek 5 Detail na ovládací panel termostatu

Postup práce:

Ad a)

1. Nalejte neznámou kapalinu do odměrného válce a pomocí hustoměru stanovte její hustotu s přesností nejméně $\pm 0,008 \text{ g/cm}^3$.
2. Zkontrolujte, zda je základní deska viskozimetru umístěna vodorovně pomocí vodováhy umístěné v pravém zadním rohu přístroje, viz Obrázek 2. Pokud ne, upravte jeho polohu pomocí stavitelných nožiček.
3. Do spodní části měřicí trubice vložte gumovou zátku a zašroubujte pouzdem se závitem. Naplňte měřicí trubici zkoumanou kapalinou (pomocí laboratorního skla) do výšky 20 mm pod okraj trubice (cca 45 cm^3).
4. Poté do měřicí trubice vložte vhodnou kuličku (dle údajů výrobce nebo dle pokynů pedagoga, viz Tabulka 1 – Sada kuliček). Podle údajů výrobce si zapište hustotu a konstantu použité kuličky (viz Tabulka 1). Dbejte na to, aby se v měřicím válci nevyskytovaly vzduchové bublinky a trubici z horní strany uzavřete zátkou s nádržkou a kapilárou, horní zátkou a poté zašroubujte závitovým pouzdem.

Tabulka 1 Parametry kuliček k viskozimetru

Číslo kuličky	Materiál	Průměr [mm]	Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Konstanta [$\text{mPa}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^3/(\text{g}\cdot\text{s})$]	Doporučený rozsah viskozity [$\text{mPa}\cdot\text{s}$]
–	–	–	ρ_K	K	–
1	Borosilikátové sklo	15,815	2,217	0,0088	0,6–10

2	Borosilikátové sklo	15,613	2,217	0,0894	9–140
3	Slitina železa a niklu	15,633	8,131	0,0795	40–700
4	Slitina železa a niklu	15,234	8,119	0,6090	150–5000
5	Slitina železa a niklu	14,039	8,122	6,1724	1500–50 000
6	Slitina železa a niklu	11,041	8,122	32,0152	> 75000

- Poznamenejte si teplotu na teploměru uvnitř viskozimetru.
- Otočte viskozimetr do výchozí polohy, kdy je kulička nahoře měřicí trubice a gravitací začne padat dolů, a změřte dobu, za kterou spodní okraj kuličky tečně protne vrchní (3) a spodní (5) kruhovou rysku na měřicí trubici (viz Obrázek 1, kde jsou rysky vyznačeny červeně). Při měření je nutné dbát na to, aby se kruhové rysky pohledově překrývaly. Čas zapište do připravené tabulky.
- Pak viskozimetr otočte o 180° kolem vodorovné osy, aby se kulička dostala opět do počáteční polohy. **Opakujte měření (nejméně třikrát** – doba jednotlivých měření se nesmí lišit od střední hodnoty o více než 0,3 %, tuto skutečnost je potřeba ověřit výpočtem v protokolu; jinak měření opakujeme 10x).

Ad b)

- Podle návodu na obsluhu kapalinového termostatu zapněte termostat pro zvýšení teploty temperovací kapaliny a na ovládacím panelu (Obrázek 5) nastavte teplota, která je vyšší oproti teplotě kapaliny uvnitř viskozimetru (teplotu určí pedagog), nechejte měřenou kapalinu nahlát na nastavenou teplotu a **5 minut vyčkejte na ustálení teploty** v měřicí trubici. Měření pak opakujte podle bodu 5 a 6.
- Opět znovu zvýšte teplotu termostatu dle instrukcí pedagoga a celý postup opakujte.
- Po ukončení měření** viskozity při zadaných teplotách **snižte teplotu** termostatu na cca 20 °C a nechejte kapalinu zchladnout.
- Jakmile dojde k vychlazení kapaliny na teplotu cca 20 °C, otevřete viskozimetr (odšroubováním závitů a vytažením zátky jak v horní, tak ve spodní části trubice). **Opatrně vylejte obsah viskozimetru** do kádinky (pozor na padající kuličku) a viskozimetr důkladně **propláchněte srovnávací kapalinou** o známé viskozitě (např. destilovanou vodou). Pak jej **nechejte otevřený vyschnout**.
- Vypočtete průměrnou dobu pádu kuličky a tuto hodnotu dosadíte do vzorce pro viskozitu** podle vztahu (1). **Doplňte správně jednotky** měřených veličin a vypočtených hodnot viskozity.
- Sestrojte graf závislosti dynamické viskozity η na teplotě.**

Ad c)

- Uveďte, kde se s viskozitou můžeme setkat a v jakých jednotkách se vyjadřuje.

Výsledky – tabulky naměřených hodnot