

VISKOZITA A POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

TEORETICKÝ ÚVOD

V proudící reálné tekutině se projevuje mezi elementy tekutiny vnitřní tření. Síly tření způsobí, že rychlejší vrstva tekutiny se snaží zrychlit vrstvu pomalejší a ta naopak zpomalovat vrstvu rychlejší. Podíl třecí síly a plošky, na kterou síla působí, označujeme jako tečné napětí τ . Schematické znázornění rychlostních poměrů v tekutině je na obr. 1. Vztah mezi tečným napětím a změnou rychlosti můžeme v řadě případů popsat lineární závislostí, v níž koeficient úměrnosti se nazývá **dynamická viskozita**. Dynamická viskozita je definována vztahem

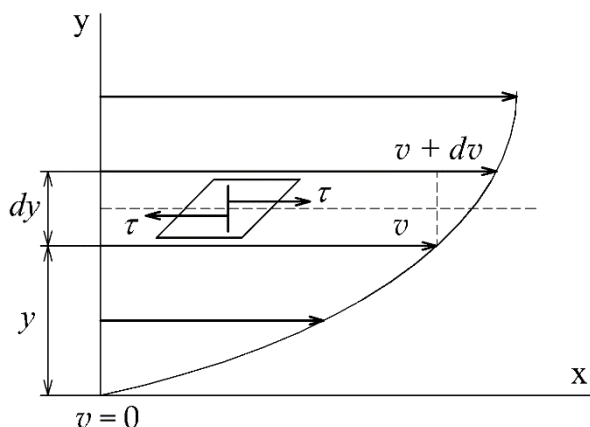
$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}, [\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}, \quad (1)$$

kde $\frac{dv}{dy}$ je velikost rychlostního spádu (rychlostní gradient) ve směru kolmém na rychlost.

V mechanice tekutin se zavádí ještě **kinematická viskozita** podle vztahu

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, [\nu] = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}, \quad (2)$$

v němž ρ je hustota tekutiny.



Obr. 1

Dynamická viskozita všech tekutin závisí na teplotě, pro kapaliny s růstem teploty výrazně klesá, pro plyny při zvyšování teploty dynamická viskozita roste. Viskozita reálných kapalin může být funkcí rychlostního spádu. Grafické vyjádření závislosti tečného napětí na rychlostním spádu se nazývá **reogram** a pro některé typy látek je na obr. 2. Hodnoty viskozity jsou uvedeny v tab. 1. Tekutiny, pro něž je reogramem přímka procházející počátkem, mají při stálé teplotě a tlaku viskozitu konstantní, nezávislou na rychlostním spádu. Jsou označovány jako tekutiny **newtonské** (normální). Patří mezi ně např. voda, minerální oleje, benzin, líh atd. V případě, že reogram není lineární, tekutiny se nazývají **nenewtonské** (anomální). V tomto případě se zavádí viskozita pro určitý rychlostní spád. Označuje se jako **ekvivalentní viskozita**, a představuje ji směrnice tečny v daném bodě reogramu.

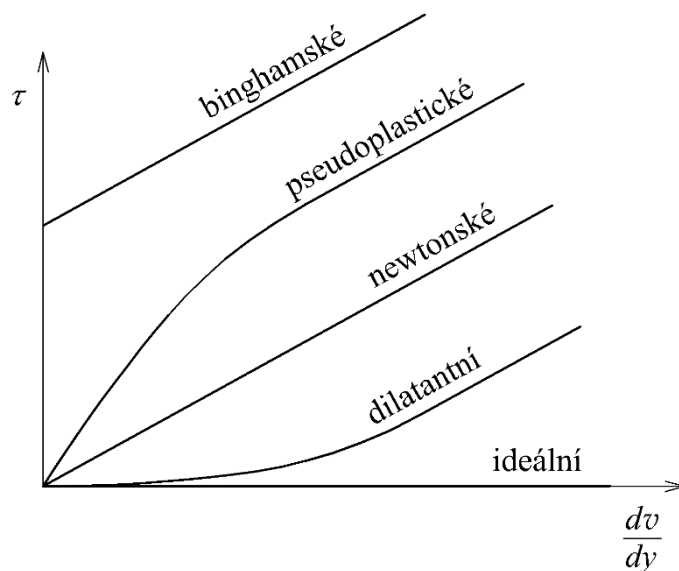
Tabulka 1

orientační hodnoty dynamické viskozity při 20 °C	
látka	viskozita látky [mPa·s]
petrolej	0,65
voda	1,0
ovocná šťáva*	2 – 5
smetana*	10
olivový olej	100
med*	10^4
dehet*	10^6
asfalt*	10^8

* u těchto nelineárních tekutin uvedené hodnoty viskozity platí pouze pro určitý rychlostní spád

Podle průběhu reogramů dělíme nelineární tekutiny na

1. látky **plastické** (binghamské) – za běžných podmínek nevykazují tekutost, vyžadují překročení určité meze tečného napětí, aby došlo k tečení (kašovitá suspenze, kaly, vápno),
2. látky **pseudoplastické** – při malých rychlostních spádech mají anomální chování a při větších se chovají jako tekutiny newtonské (zředěná suspenze),
3. látky **dilatantní** – viskozita se se stoupajícím tečným napětím zvětšuje, látky snadno sedimentují (mokrý písek),
4. látky **tixotropní** – se zvyšujícím se tečným napětím viskozita klesá (jogurt, tixotropní barvy – pod tlakem štetce se stávají snadno roztíratelné),
5. látky **reopexní** – vlivem zvyšujícího se tečného napětí viskozita stoupá (suspenze, sádry, šlehaný bílek).



Obr. 2

S dynamickou viskozitou se setkáváme při vyjádření odporové síly působící na těleso pohybující se v tekutém prostředí. Této skutečnosti se využívá pro měření dynamické viskozity tekutin pomocí přístrojů, které se nazývají **viskozimetry**. Podle použitého principu se rozlišují tyto základní typy:

Kapilární viskozimetry využívají rovnice vyjadřující závislost množství kapaliny proteklého za určitý čas tenkou trubicí známých rozměrů na viskozitě měřené kapaliny. Tyto přístroje se

vyrábějí jak v nejjednodušším provedení (např. pro orientační určování viskozity nátěrových hmot), tak v přesném a velmi přesném provedení (přesnost až 0,2 %), vhodném pro měření jak za nízkých tak i za vysokých teplot.

Rotační viskozimetry jsou založeny na měření síly přenášené tokem kapaliny z jedné plochy viskozimetru na druhou. Obvyklé provedení sestává ze dvou souosých válců, mezi kterými je měřená kapalina. Jeden z válců se uvede do rotačního pohybu se stálou úhlovou rychlostí a měří se moment síly působící na druhý válec.

Rotační viskozimetry byly v posledních letech technicky velmi zdokonaleny. Špičkové přístroje měří viskozitu v rozsahu tří řádů s přesností 1 % a reprodukovatelností 0,1 % v teplotním rozsahu 0 – 100 °C. Přístroje jsou doplněny elektronickým zařízením umožňujícím programovat měření, měřit ve velkém rozsahu otáček válce, vykreslovat reogramy, tisknout výsledky, napojit viskozimetr na počítačový měřicí systém apod.

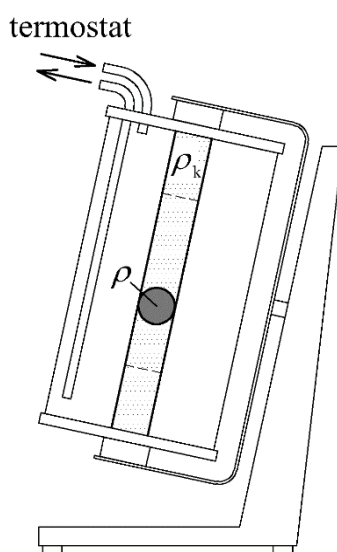
Tělískové viskozimetry jsou přístroje, které určují viskozitu z rychlosti pádu vhodného tělíska v měřené kapalině. Princip této metody je podrobněji vysvětlen v návodu k laboratorní úloze č. 13. Tělískové viskozimetry patří mezi levnější přístroje, lze s nimi určovat viskozitu obvykle v rozsahu pouze jednoho řádu a to s přesností až 1 %, která je dosažitelná pouze za předpokladu, že s odpovídající přesností určíme i hustotu měřené kapaliny a její teplotu.

STANOVENÍ DYNAMICKÉ VISKOZITY HÖPPLEROVÝM VISKOZIMETREM

ÚLOHA č. 14

Způsob měření:

Höpplerův viskozimetr (obr. 3) patří mezi tělískové viskozimetry, v kterých se dynamická viskozita určuje z rychlosti rovnoměrného pohybu tělíska ve zkoumané kapalině. Viskozimetr je tvořen skleněnou válcovou trubicí naplněnou měřenou kapalinou, v níž se může pohybovat tělísko ve tvaru koule. Válcová trubice je obklopena pláštěm s protékající vodou, jejíž teplota je řízena termostatem. Obvykle se měří doba průchodu kuličky mezi dvěma krajními ryskami vyznačenými na trubici a jejich vzdálenost bývá 0,1 m.



Obr. 3

Za předpokladu, že kulička padá v kapalině rovnoměrně a proudění je laminární, platí pro dynamickou viskozitu vztah

$$\eta = K(\rho - \rho_k)\tau, \quad (3)$$

kde ρ je hustota kuličky, ρ_k hustota kapaliny, τ doba průchodu kuličky mezi krajními značkami, K výrobcem zadaná konstanta přístroje pro danou kuličku.

Platnost vztahu (3) je podle výrobce zaručena tehdy, je-li čas τ větší než 30 s a kulička je na začátku měření až na horním okraji trubice. Toho lze dosáhnout překlopením viskozimetru okolo vodorovné osy před započítím každého měření.

Relativní hmotnostní koncentraci glycerinu lze určit na základě zjištěné viskozity při teplotě 30 °C pomocí známých hodnot viskozity pro několik hodnot koncentrací vody. Relativní koncentraci měřeného glycerinu určíme metodou lineární interpolace. Hodnoty dynamické viskozity pro několik hodnot relativní hmotnostní koncentrace vody jako příměsi v glycerinu jsou uvedeny na kartě úlohy.

Připomínky k měření a vyhodnocení:

Termostat naplňte vodou o teplotě nižší než 30 °C. Na kontaktním teploměru termostatu nastavte měřicí teplotu, nejdříve 30 °C. Po dosažení požadované teploty překlopte viskozimetr a změřte dobu průchodu kuličky mezi krajními ryskami.

Technický glycerin obsahuje vždy určité množství vody, které se obvykle vyjadřuje v procentech hmotnostní koncentrace vody v glycerinu. Příměs vody i v malém množství podstatným způsobem ovlivňuje hodnotu dynamické viskozity.

Nejistota hodnoty viskozity závisí především na přesnosti použitého viskozimetru. Relativní nepřesnost hodnoty dynamické viskozity pro daný typ viskozimetru nebývá horší než 2 %.