

2. Fyzikální vlastnosti tekutin

HUSTOTA ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – měrná hmotnost tekutiny, také je neaditivní (intenzivní).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

kde m je hmotnost tekutiny a V její objem.

MĚRNÝ OBJEM ϑ [$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$] – je převrácená hodnota hustoty, ve starší literatuře označována jako měrná tíha γ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$]:

$$\gamma = \frac{Fg}{V} = \frac{m\cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (2)$$

$$\vartheta = \frac{V}{m} \quad (3)$$

Veličiny určující fyzikální vlastnosti tekutin: hustota, stlačitelnost, viskozita, povrchové napětí, teplotní roztažitelnost.

STLAČITELNOST σ [$\text{m}^2\cdot\text{N}^{-1}$] – vlastnost těles zmenšovat svůj objem při zvýšení vnějšího tlaku.

Vyjadřuje se součinitelem stlačitelnosti:

$$\sigma = - \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_{T = konst} = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta p} \quad (4)$$

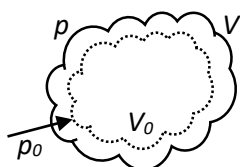
(ΔV – změna objemu: $V - V_0$), (V – původní objem), (Δp – změna tlaku: $p_0 - p$)

Vztah pro objem po stlačení:

$$V_0 = V(1 - \sigma \cdot \Delta p) \quad (5)$$

Hustota po stlačení:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V(1 - \sigma \cdot \Delta p)} = \frac{\rho}{1 - \sigma \cdot \Delta p} \quad (6)$$



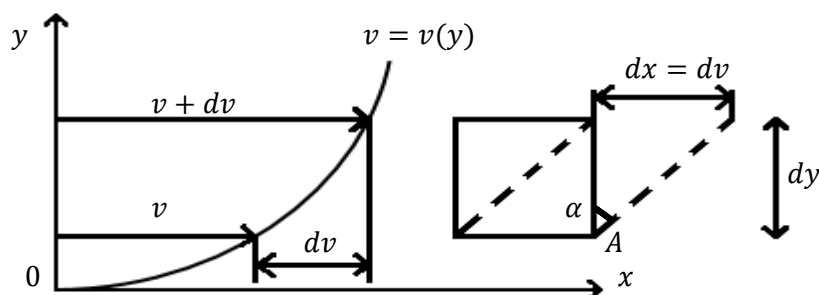
$p_0 > p$ stlačení kapaliny

MODUL OBJEMOVÉ PRUŽNOSTI K [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2} \cong \text{Pa}$] – převrácená hodnota stlačitelnosti

$$K = \frac{1}{\sigma} \quad (7)$$

Viskozita tekutin

- při proudění skutečných tekutin, odpor proti pohybu částic tekutin



Obr.1.: Odvození tečných napětí.

Úhel α je určen $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dx}{dy} = \frac{dv}{dy}$. A vzhledem k bodu A lze posunutí bodu B v sousední vrstvě (ve vzdálenosti dy) považovat za otočení na poloměru dy úhlovou rychlostí ω , takže platí

$$dv = \omega \cdot dy$$

z čehož vyplývá $\omega = \frac{dv}{dy}$. Úměra mezi gradientem rychlosti $\frac{dv}{dy}$ a tečným napětím od viskozity (τ) podle Newtonova vztahu $\tau = \eta \frac{dv}{dy}$.

Tečné (smykové) napětí: $\tau = \frac{F_t}{S_t} \text{ [Pa]}$

Dynamická viskozita: $\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \text{ [Pa}\cdot\text{s]}$

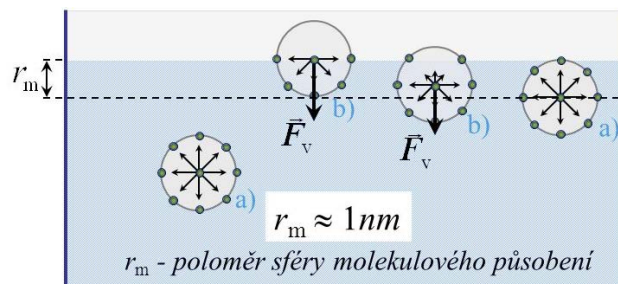
Kinematická viskozita: $\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$

- u plynů roste viskozita s teplotou, u kapalin je to obráceně (klesá); vliv kinematické viskozity na teplotě je určena exponenciální funkcí:

$$\nu = \nu_0 \cdot e^{\frac{A}{t+B}} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] \quad (8)$$

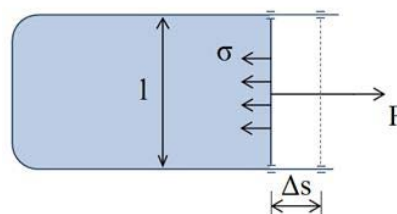
kde funkce obsahuje 3 parametry ν_0 , A , B , které závisí na druhu kapaliny. Pro oleje je nejčastěji $B = 95^\circ\text{C}$ a může vzrůstat až na 150°C . Veličina A se nachází v tabulkách (např. pro vodu $A = 330^\circ\text{C} - 360^\circ\text{C}$)

Povrchová napětí kapalin $\sigma \text{ [N}\cdot\text{m}^{-1}]$



Obr.2.: Mezimolekulární síly v kapalině a na rozhraní.

a) Pro molekuly uvnitř kapaliny je výslednice sil nulová $F = 0$. b) Na molekuly jejichž vzdálenost je menší než r_m , působí výsledná síla F_v kolmo k volnému povrchu kapaliny směřující dovnitř.



Obr.3.: V důsledku existence povrchového napětí σ je v povrchové vrstvě nahromaděna i určitá energie, tzv. **povrchová energie**.

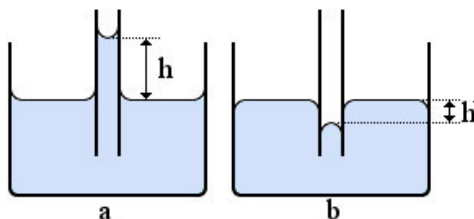
Povrchové napětí kapalin se definuje jako energie vrstvy molekul kapaliny E_{pn} na rozhraní s jinou látkou vztáženou na jednotku plochy rozhraní S_{pn} :

$$\sigma = \frac{E_{pn}}{S_{pn}} \quad (9)$$

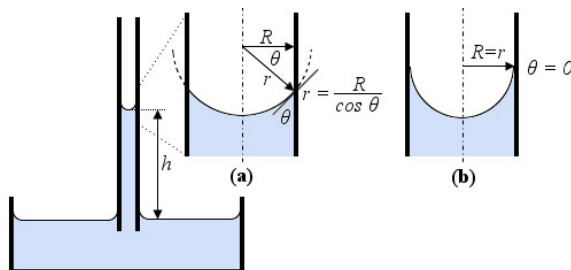
Je možná i druhá definice, kde povrchové napětí je výsledný účinek kohezních sil F_{pn} mezi molekulami kapaliny s jinou látkou vztáženým na jednotku délky rozhraní l :

$$\sigma = \frac{F_{pn}}{l} \quad (10)$$

Povrchové napětí se projevuje v kapiláře stoupáním nebo klesáním sloupce vůči kapalině v okolní nádobě.



Obr.4.: a) kapilární elevace (konvexní rozhraní); b) kapilární deprese (konkávní rozhraní)



Obr.5.: Kapilární elevace. a) $R \neq r$; b) $R = r$

Teplotní roztažnost kapalin γ

- objem V kapalin s teplotou roste, roztažnost vlivem teploty se uvažuje při konstantním tlaku p konečný objem V_0 po roztažení:

$$V_0 = V(1 + \gamma \Delta t) \quad (11)$$

a hustota kapaliny po roztažení:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{\rho}{1 + \gamma \Delta t} \quad (12)$$

Slovník pojmů:

Označení	Jednotka	Význam
E	J	energie
F	$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	síla
F_g	N	tíha
K	$\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	modul pružnosti
R, r	m	poloměr
S	m^2	plocha
T	K	teplota
V	m^3	objem
a	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení
g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	tíhové zrychlení
l	m	délka
m	kg	hmotnost
p	$\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	tlak, hydrostatický tlak
r	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	měrná plynová konstanta
v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	rychlost
η	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	dynamická viskozita
γ	$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$	měrná tíha
ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	hustota (měrná hmotnost)
σ	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	povrchové napětí
σ	$\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$	stlačitelnost
τ	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	měrný objem
τ	$\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	tečné (smykové) napětí
ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	kinematická viskozita
ω	s^{-1}	úhlová rychlost

Použitá literatura:

[1] – NOSKIEVIČ J. a kol.: Mechanika tekutin. Praha: SNTL, 1987.

[2] – JANALÍK J., ŠŤÁVA P.: Mechanika tekutin. Ostrava: VŠB TU, 2002.

[3] – WALKER, Jearl. Halliday & Resnick fundamentals of physics. Tenth edition, extended.
Hoboken: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-23061-9.