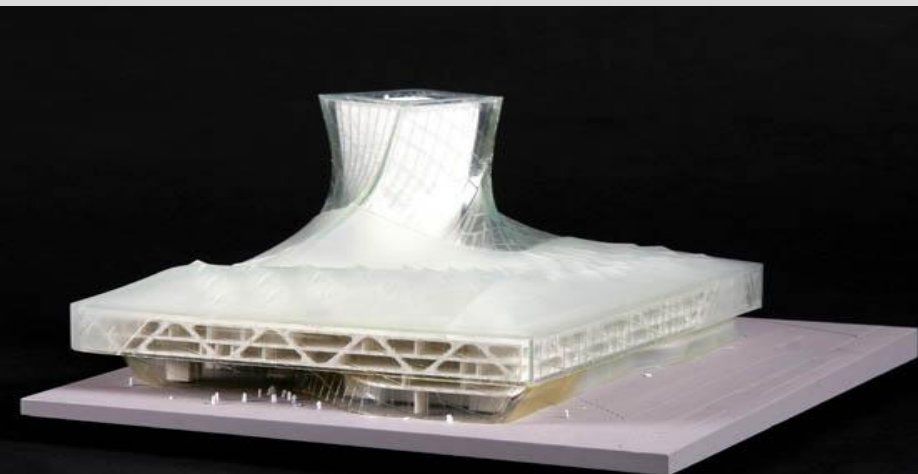




## 123TVVM – viskozita, mikroskop





## Viskozita

- Udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění kapaliny.
- Charakterizuje vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi (kapaliny s větší přitažlivou silou mají vyšší viskozitu).
- Ideální kapalina není viskózní.

$$\eta = 0, \nu = 0$$

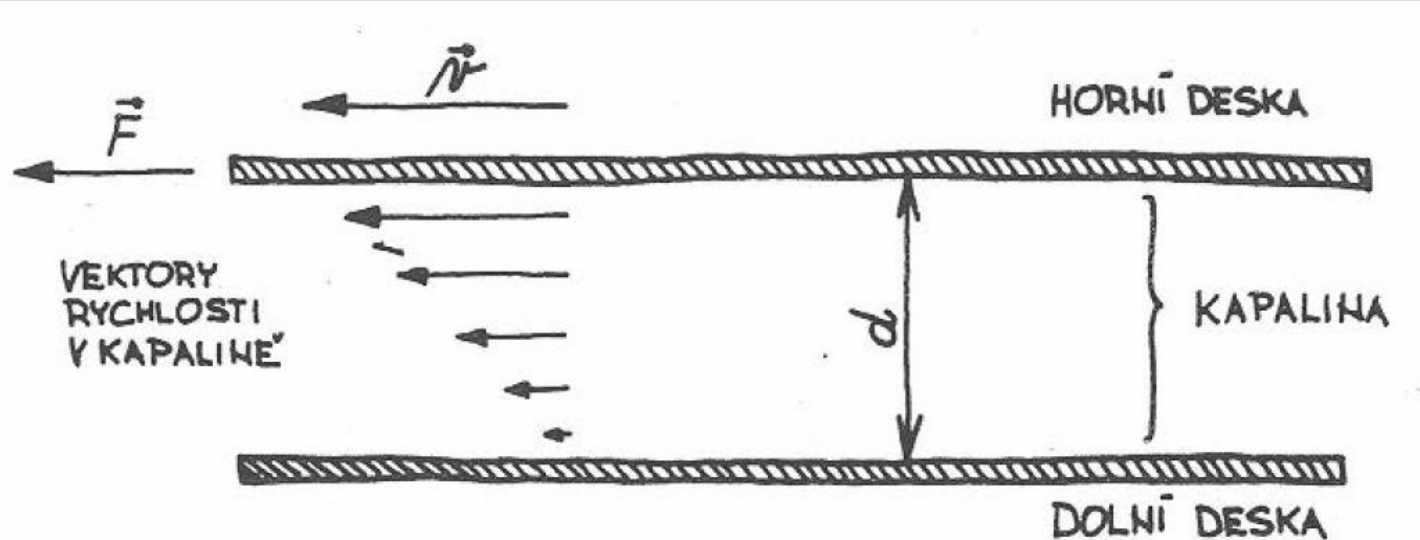




## Měření koeficientu dynamické viskozity

Vrstva kapaliny, která přiléhá k horní desce, se pohybuje spolu s horní deskou, zatímco dolní deska a k ní přiléhající kapalina jsou v klidu. Na vzdálenosti  $d$  se mění rychlost proudění kapaliny z  $0$  na  $v$ .

*Newtonovská kapalina* -> změna rychlosti  $dv$  v závislosti na vzdálenosti  $dy$  ( $d$ ) je lineární.



Obr. 1 Pohyb kapaliny mezi dvěma rovnoběžnými deskami



## Měření koeficientu dynamické viskozity

Pokud chceme udržet horní desku v rovnoměrném pohybu vůči desce spodní, musíme na ni působit silou  $F$ , která je přímo úměrná ploše tažené desky. Proto je výhodnější zavést tečné napětí  $\tau$ , které na ploše použité desky nezávisí:

$$F = \eta S \frac{dv_x}{dy} \quad \tau_{xy} = \frac{F}{S} = -\eta \frac{dv_x}{dy}$$

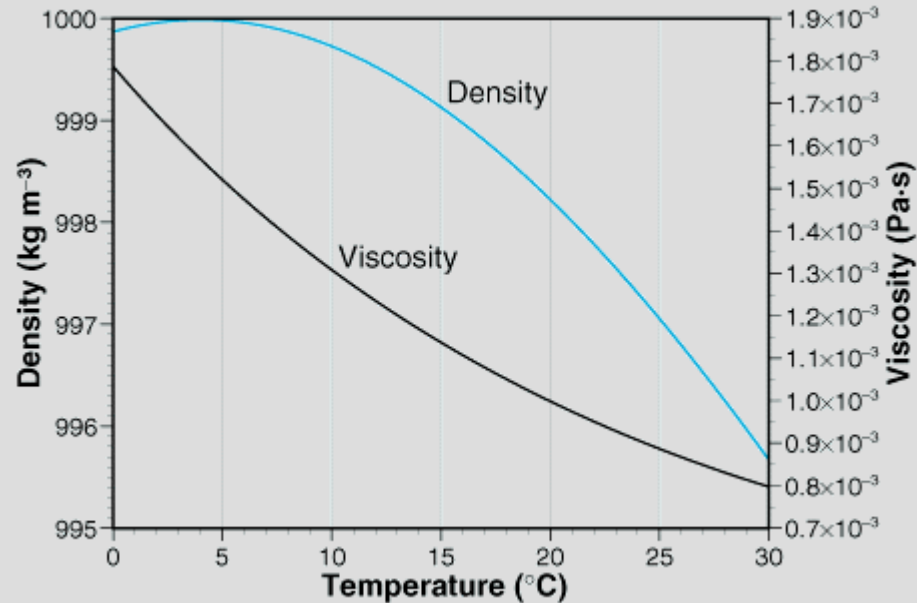
Pro newtonské kapaliny je lineární závislost mezi napětím a poměrem  $v/d$  ( $dv_x/dy$ ) – koeficient úměrnosti dynamická viskozita

$$\tau \approx \frac{v}{d} \approx \frac{dv_x}{dy}$$

Dynamická viskozita –  $\eta$  (éta) [s.N/m<sup>2</sup>] neboli [Pa.s]



## Závislost dynamické viskozity na teplotě – voda



Dynamická viskozita s rostoucím tlakem vzrůstá

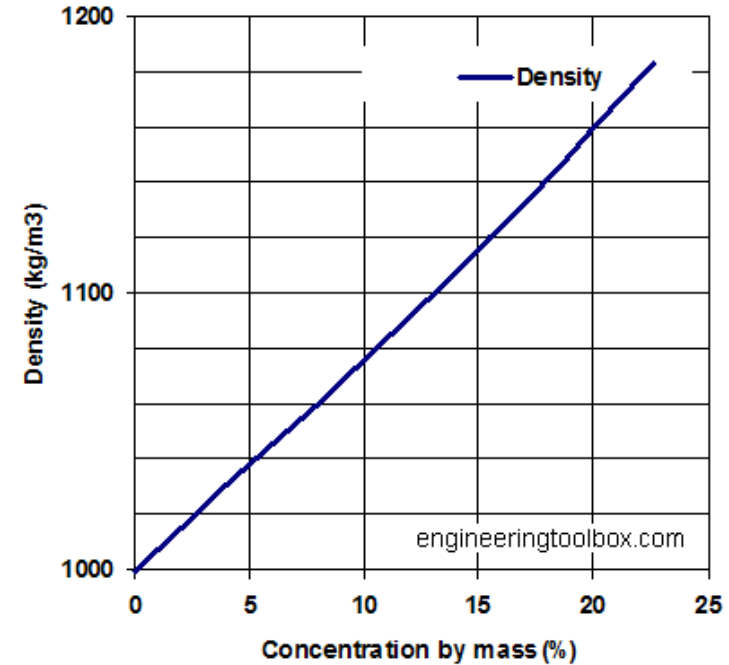
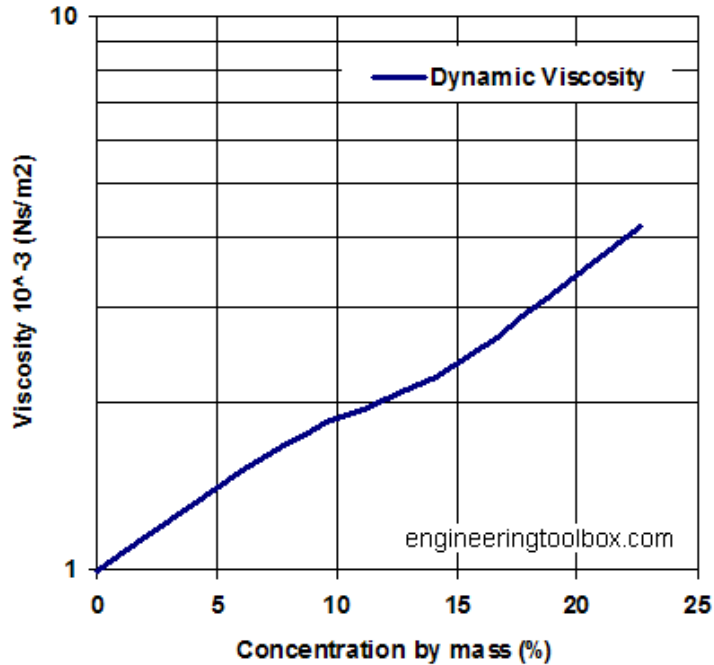
Dynamická viskozita s rostoucí teplotou klesá

Anomálie vody: max. hustota při 3,98°C.

Zdroj: Čmelík, M., Machonský, L., Šíma, Z. *Fyzikální tabulky*. Liberec: TU Liberec, 2001.



## Závislost dynamické viskozity na koncentraci solného roztoku



Viskozita s rostoucí koncentrací soli roste  
Hustota s rostoucí koncentrací soli roste



## Dynamická viskozita x kinematická viskozita

Dynamická viskozita –  $\eta$  (éta) [s.N/m<sup>2</sup>] neboli [Pa.s]

$$\tau_{xy} = \frac{F}{S} = -\eta \frac{dv_x}{dy}$$

Kinematická viskozita – [m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>]

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Kapalina	.10 <sup>-3</sup> $\eta$ [Pa.s]
Benzín	0,53
Ethanol	1,2
<b>Glycerol</b>	<b>1480</b>
Krev (37°C)	3,0 – 3,6
<b>Voda (25°C)</b>	<b>0,8937</b>

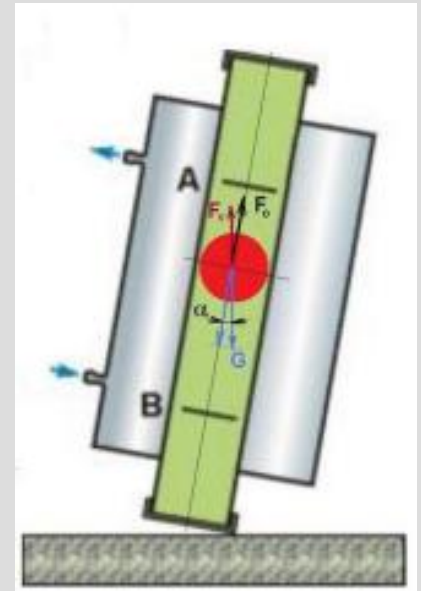


## Měření viskozity

- **Hopplerův viskozimetr** – šikmá trubice měření doby pádu kuličky trubicí. Pohyb kuličky musí být pomalý, aby v kapalině nevznikalo vírové proudění.

Výpočet viskozity  $\eta = t(\rho_1 - \rho_2)K$

, kde  $K = \frac{2}{9} \frac{r^2}{L} g \cos \alpha$



kde  $t$  je pádový čas kuličky (s),  $\rho_1$  je hustota koule ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $\rho_2$  je hustota kapaliny při teplotě ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a  $K$  je konstanta ( $\text{mPa}\cdot\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ ).





$$F_{vz} + F_{Stokes} = G$$

$$F_{vz} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2 g$$

$$F_{Stokes} = 6\pi\eta r v$$

$$G = mg = V\rho_1 g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g$$

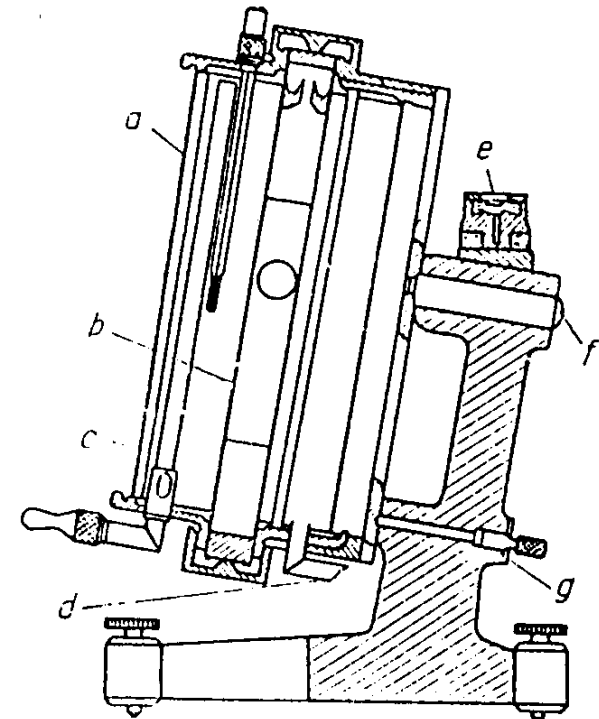
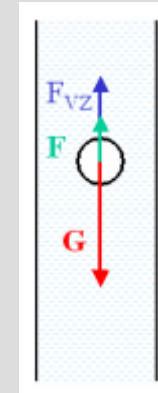
$\rho_1$  – hustota kuličky

$\rho_2$  – hustota kapaliny

$r$  – poloměr kuličky

$v$  – rychlost pádu kuličky

$m$  – hmotnost kuličky





## ÚKOL

Změřte pyknometricky hustotu vody a glycerínu (glycerolu).

Změřte dynamickou viskozitu vody a glycerínu (glycerolu) pomocí Hopplerova viskozimetru .

Spočítejte kinematickou viskozitu vody a glycerínu (glycerolu).

Zjištěné hodnoty porovnejte s tabulkovými hodnotami.

Prohlédněte si vybrané stavební materiály pomocí optického mikroskopu.

Samostatně nastudujte elektronovou mikroskopií.