

# Chemická technika

## 02 – Fluidní mechanika

Petr Zbořil

# Základní pojmy

- Tekutý stav
  - Téměř neomezená pohyblivost částic
  - Téměř úplný nedostatek soudržnosti
- Skupenství
  - Kapalné – ideální kapalina
    - Absolutně nestlačitelná
    - Nulový součinitel tepelné roztažnosti
    - Konstantní hustota
    - Nulová viskozita
  - Plynné – ideální plyn –  $pV = RT$ 
    - Značná stlačitelnost
    - Velká tepelná roztažnost
  - Reálné tekutiny
    - Odchyly dané velikostí částic, interakcemi atd.

# Základní pochody

- Hydromechanické operace (aeromechanické)
- Pochody
  - Hydrostatické
    - Tekutina v klidu
    - Základní fyzikální zákonitosti
  - Hydrodynamické (aerodynamické)
    - Tekutina v pohybu – i relativně
    - Přibývají další vlivy
- Význam
  - Návrhy konstrukcí přístrojů a zařízení
  - Výpočty pro konstrukci kompletních výrobních jednotek
  - Optimalizace materiálové a energetické náročnosti
  - Souvislost s technologií centrálního procesu

# Základní veličiny

## ■ Hustota

- Hmotnost objemové jednotky
  - $\rho = m/V$  (kg/m<sup>3</sup>)

## ■ Měrná váha

- $\gamma = G/V$  ( $G = m \cdot g$ )
  - $\gamma = \rho \cdot g$

## ■ Tlak

- Síla na jednotku plochy
  - $P = F/S$

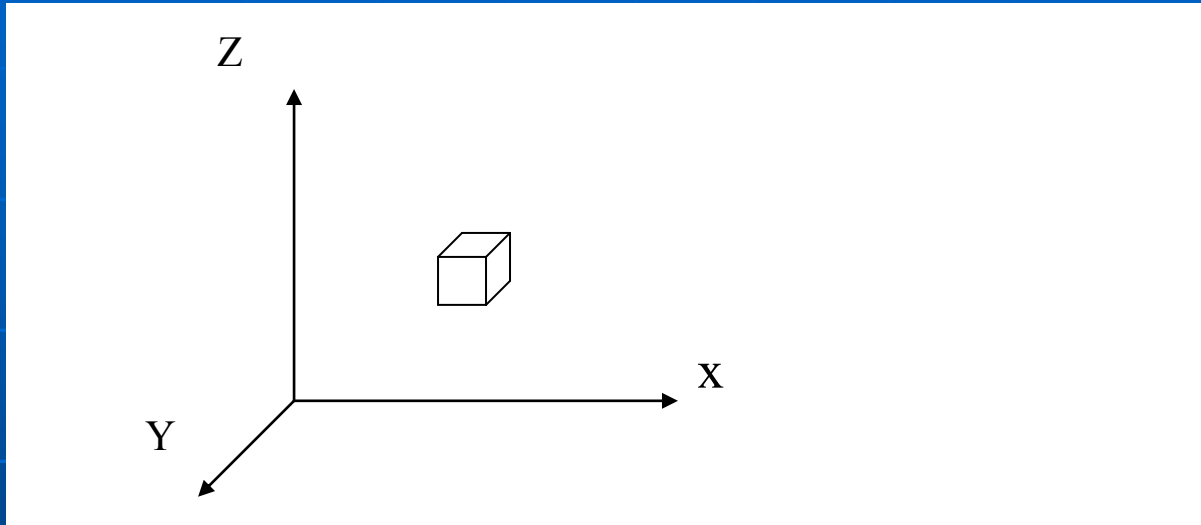
## ■ Viskosita

- Vnitřní tření, koeficient  $\eta$

# Hydrostatika

- Tekutina v rovnováze (klidu)
  - $\eta = 0$  (neuplatní se), bližší ideální kapalině
- Tlak v tekutině
  - Pascalův zákon
    - $P = P_0 + \Delta z \cdot \gamma$
    - Pro konstantní  $\gamma$  (kapalina x plyn)

# Hydrostatika



- $\Delta F = (z_0 - z) \cdot \Delta S \cdot \gamma$

- $\Delta P = P - P_0 = (\Delta z \cdot \Delta S \cdot \gamma) / \Delta S = \Delta z \cdot \gamma$

# Hydrostatika

Tlaková výška  $\Delta z = \Delta P / \rho \cdot g$

Eulerova hydrostatická rovnice

$$P = P_0 + \Delta z \cdot \rho \cdot g$$

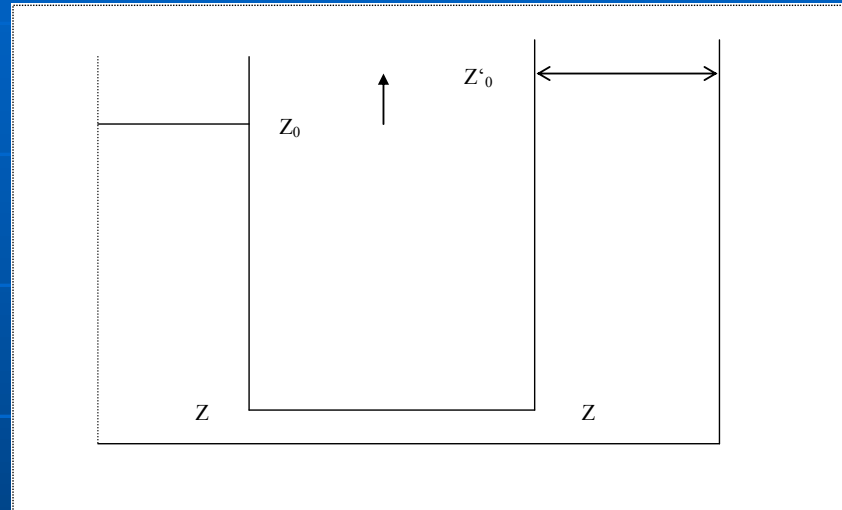
Pascalův zákon

- Pro konstantní  $\gamma$  (kapalina x plyn)

$$\Delta z = \Delta P / \rho \cdot g \quad (z_0 - z) = \Delta P / \rho \cdot g$$

$$z_0 = \Delta P / \rho \cdot g + z = \text{konst.}$$

# Spojité nádoby



$$P = P' \text{ pro } z = z$$

$$z_0 - z = (P - P_0) / \gamma$$

$$z'_0 - z = (P - P'_0) / \gamma$$

$$1. \text{ Když } P_0 = P'_0$$

$$z_0 - z = z'_0 - z$$

$$z_0 = z'_0$$

$$2. \text{ Když } P_0 = P'_0 + P_x, \gamma = \text{konst.}$$

$$(z'_0 - z) \cdot \gamma = P - P'_0$$

$$(1)$$

$$(z_0 - z) \cdot \gamma = P - P_0 = P - (P'_0 + P_x)$$

$$(2)$$

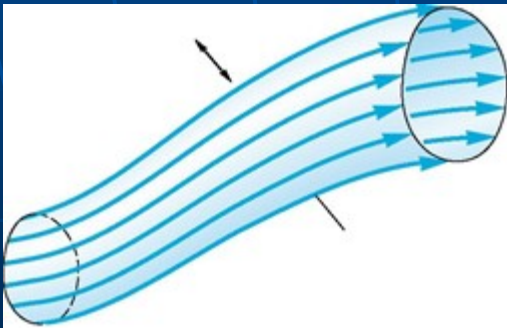
$$1 - 2: \quad z'_0 \cdot \gamma - z_0 \cdot \gamma = P_x \quad z'_0 - z_0 = P_x / \gamma$$

$P_x / \gamma$  – tlaková výška  $z_x$

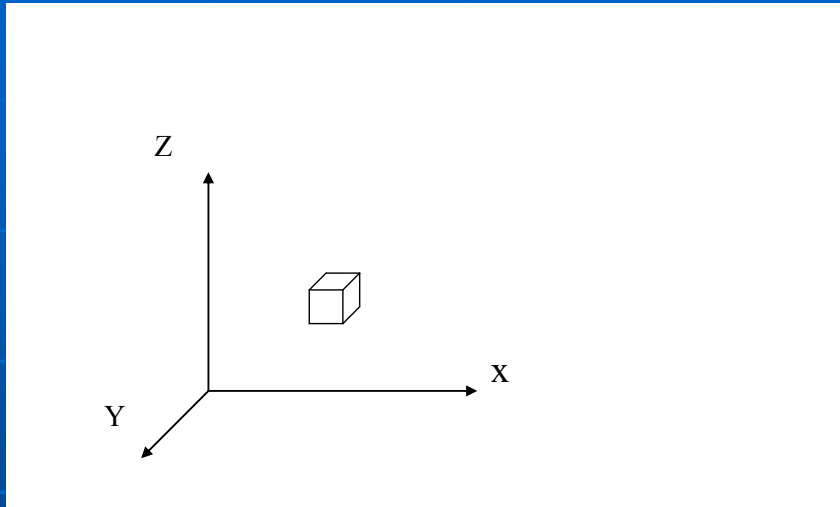


# Hydrodynamika

- Tekutina v pohybu (i relativně)
  - Hydro- a aerodynamika – rozdíly
  - Pohyb – rychlost  $v$
  - Proudnice – trajektorie částic
    - Tečna – vektor  $v$  v daném bodě

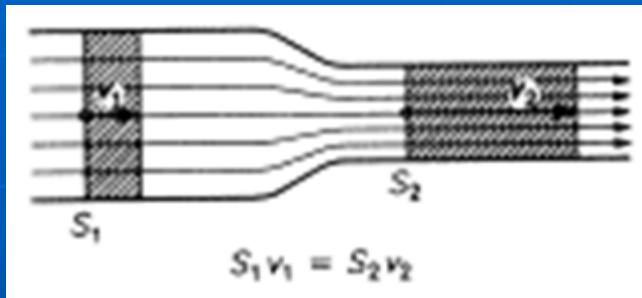


# Hydrodynamika



- Pro každou tečnu – vektor  $v_z$  –  $\Sigma$  vektorů sil v osách  $x$  a  $y = 0$
- $F = m \cdot a = (d_x \cdot d_y \cdot d_z \cdot \rho) \cdot (dv_{x,y,z} / dt) = - dp_{x,y,z} \cdot dS$
- Hydrostatika –  $\Delta F = (z_0 - z) \cdot \Delta S \cdot \gamma$
- $z_0 = \Delta P / \gamma + z = \text{konst.}$  – potenciální energie
- Hydrodynamika –  $\Delta F = (z_0 - z) \cdot \Delta S \cdot \gamma + d_z \cdot \rho \cdot (dv_z / dt)$
- $z_0 = v^2/2g + \Delta P / \gamma + z = \text{konst.}$  – + kinetická energie
- (Bernoulliova rovnice)

# Hydrodynamika



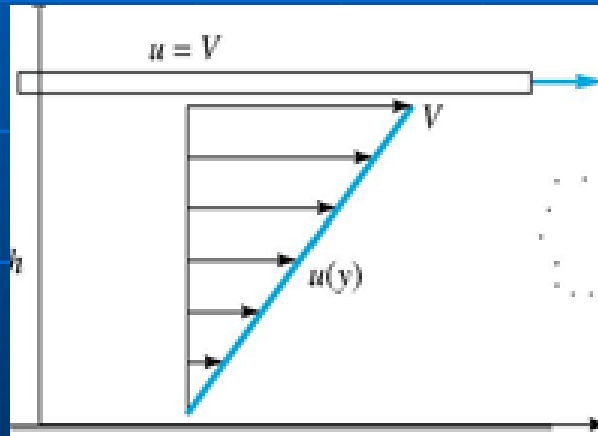
- Rychlost proudění -  $v$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] – stacionární x nestacionární proudění
- Průtok – objemová rychlost -  $Q_V$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- Kontinuita toku – platí jen pro kapaliny (ideální):
- $S \cdot v = Q_V$  ( $Q_V$  – průtok)
- $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S \cdot v = \text{konst.}$
- Zákon zachování hmotnosti pro ustálené proudění:  
 $S \cdot v \cdot \rho = \text{konst.}$  (platí i pro plyny),

$S \cdot v \cdot \rho = Q_m$  – hmotnostní průtok

$S \cdot v = Q_V$  – objemový průtok

# Hydrodynamika

- **Reálné kapaliny – vliv viskosity (z se nemění)**
- $F = \eta \cdot S \cdot dv / dr$
- $\eta = F$ , kdy  $S = 1 \text{ cm}^2$ ,  $dv = 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  a  $dr = 1 \text{ cm}$  [1 poise, P (Pa.s)] - absolutní
- relativní
- kinematická  $\nu = \eta / \rho$

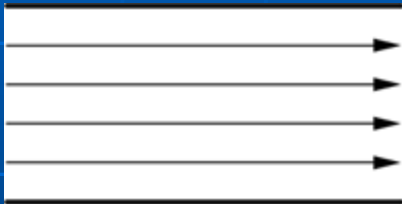


- Rychlost toku mezi pevnou a pohyblivou stěnou
- Účinnost – poměr síly vznikající při toku a síly nutné k pohonu čerpadla

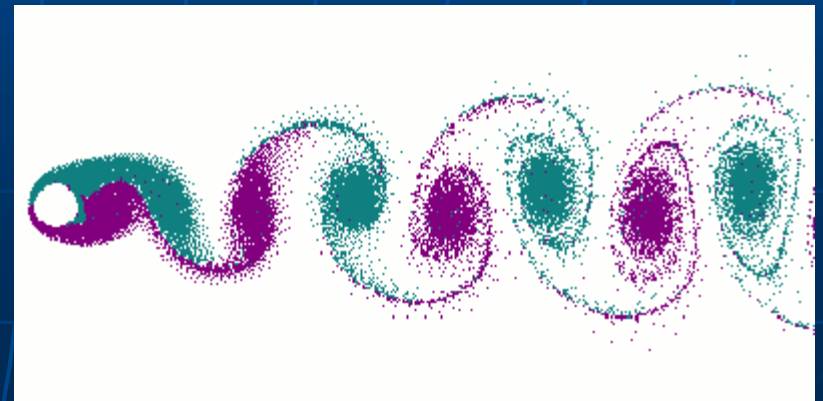
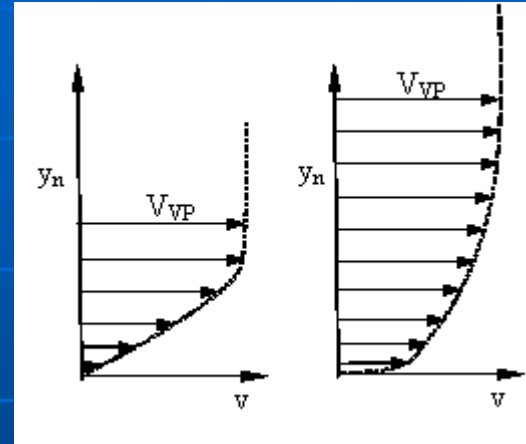
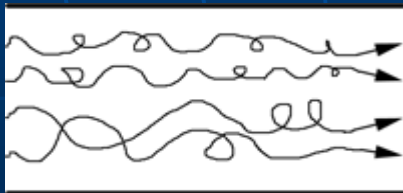
# Hydrodynamika

## ■ Charakter toku

- Laminární



- Turbulentní



# Hydrodynamika

- Reynoldsovo číslo
- dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu (tedy odpor prostředí v důsledku vnitřního tření). Pomocí toho čísla je možné určit, zda je proudění tekutiny laminární a nebo turbulentní. Čím je Reynoldsovo číslo vyšší, tím nižší je vliv třecích sil částic tekutiny na celkový odpor.
- Reynoldsovo číslo má velký význam při studiu odporu, který vzniká při obtékání těles.

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu}$$

ktežto  $d$  označuje průměr trubice,  $v_s$  je střední rychlost proudění kapaliny v daném průřezu a  $\nu$  je kinematická viskozita. Pro velké hodnoty  $Re$  je proudění turbulentní, pro nízké hodnoty je proudění laminární.

- Laminární  $Re < 2320$        $2320 < Re < 10000$       Smíšený  $10000 \leq Re$       Turbulentní

# Hydrodynamika

- Typické hodnoty Reynoldsova čísla

Látka	Re
Spermie	$\sim 1 \times 10^{-2}$
Tok krve v mozku	$\sim 1 \times 10^2$
Tok krve v aortě	$\sim 1 \times 10^3$
Plovoucí člověk	$\sim 4 \times 10^6$
Letadlo	$\sim 1 \times 10^7$
Plejtváček obrovský	$\sim 3 \times 10^8$
Velká loď (RMS Queen Elizabeth 2)	$\sim 5 \times 10^9$

# Hydrodynamika

- Další pojmy:
- 
- Hydraulický poloměr
  - $r_h = S / z$   $z$  – omočený obvod
- kruhová trubka -  $r_h = \Pi r^2 / 2\Pi r = r/2$
- Ustálený tok  $du / dt = 0$  (soubor veličin ovlivňujících tok)
- Neustálený  $du / dt \neq 0$  (např. mění se hladina při vytékání kapaliny apod.)

Zákon zachování energie a kontinuity toku