



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA ENERGETICKÝCH
STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

KKE/CE - Člověk a energie

ZS 2020/2021
4. cvičení

Plán cvičení - Mechanika tekutin

2

1. Základní rozdělení mechaniky tekutin a přístupů v řešení úloh
2. Pojem tekutina
3. Statika tekutin
 - ✓ Archimedův zákon
 - ✓ Pascalův zákon
 - ✓ Eulerova rovnice hydrostatiky
 - ✓ Tlak v kapalině
4. Dynamika tekutin
 - ✓ Průtočné množství
 - ✓ Rovnice kontinuity
 - ✓ Bernoulliho rovnice
 - ✓ Režimy proudění

1. Základní rozdělení mechaniky tekutin a přístupů v řešení úloh mechaniky tekutin

Základní rozdělení mechaniky tekutin

- **Statika tekutin (hydrostatika)**
 - ✓ tekutina je v relativním klidu
- **Dynamika tekutin (hydrodynamika)**
 - ✓ tekutina je v relativním pohybu

1. Základní rozdělení mechaniky tekutin a přístupů v řešení úloh mechaniky tekutin

Základní přístupy v řešení úloh mechaniky tekutin

- **Fyzikální modelování (experimenty)**
 - ✓ sestavení modelu a provedení experimentu
 - ✓ využití teorie podobnosti
- **Matematické modelování (výpočty)**
 - ✓ analytické metody
 - ✓ numerické metody - CFD (Computational Fluid Dynamics)

1. Základní rozdělení mechaniky tekutin a přístupů v řešení úloh mechaniky tekutin

Numerické metody jsou založeny na řešení systému Navier-Stokesových rovnic. Tento systém se skládá se z parciálních diferenciálních rovnic, které musíme vyřešit.

a) Přímá numerická simulace

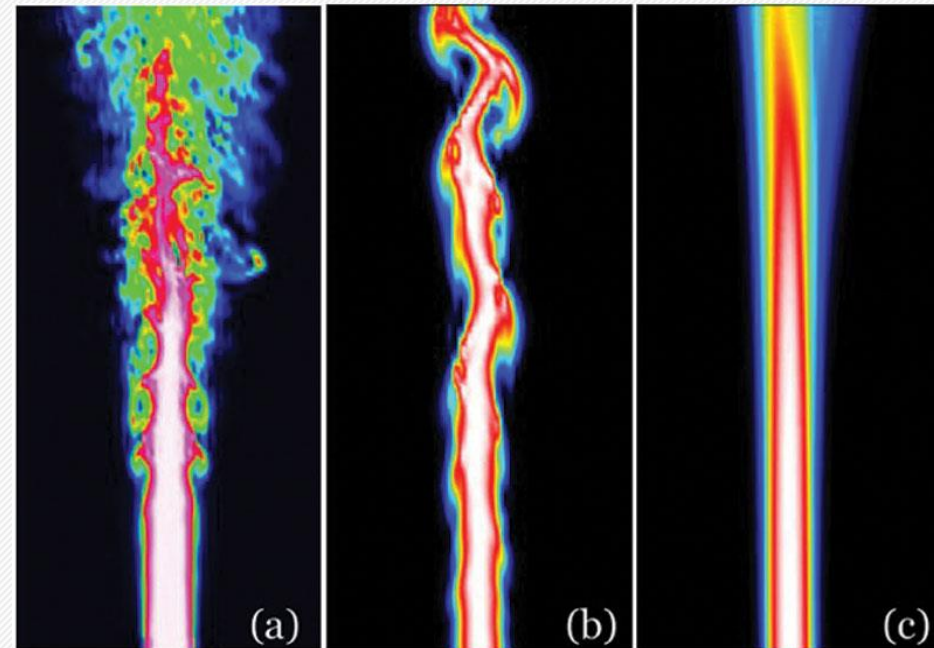
Direct Numerical Simulation (DNS)

b) Simulace velkých vírů

Large Eddy Simulation (LES)

c) Modelování turbulentního proudění

Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)



Srovnání tří numerických metod pro řešení turbulence

2. Pojem tekutina

6

- **Tekutina**

- ✓ kapalina

- ✓ plyn

Mluvíme-li o tekutině, máme na mysli látku, jejíž částice se vzájemně snadno přemísťují, což platí pro kapalinu a plyn.

2. Pojem tekutina

7

Ideální plyn x Ideální kapalina

Ideální plyn	Ideální kapalina
nevazký	nevazká
stačitelný	nestlačitelná

3. Statika tekutin (hydrostatika)

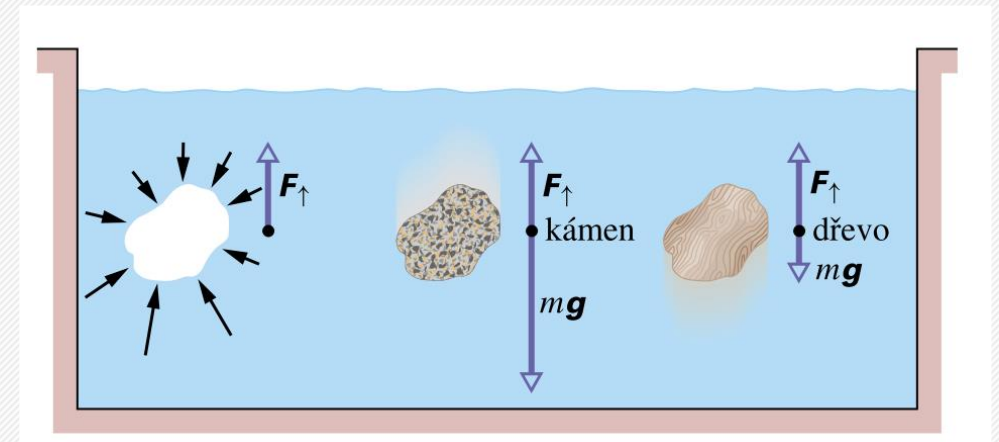
- ✓ Archimedův zákon
- ✓ Pascalův zákon
- ✓ Eulerova rovnice hydrostatiky
- ✓ Tlak v kapalině

Archimédův zákon

Těleso ponořené do tekutiny, která je v klidu, je nadlehčováno silou rovnající se tíze tekutiny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa.

$$F = F_G - F_{VZ} = V \cdot g \cdot (\rho_{\text{těleso}} - \rho_{\text{kapalina}})$$

- a) Hustota tělesa je vyšší než hustota kapaliny
- b) Hustoty se rovnají
- c) Hustota tělesa je nižší než hustota kapaliny



Archimédův zákon platí pro kapaliny i pro plyny!

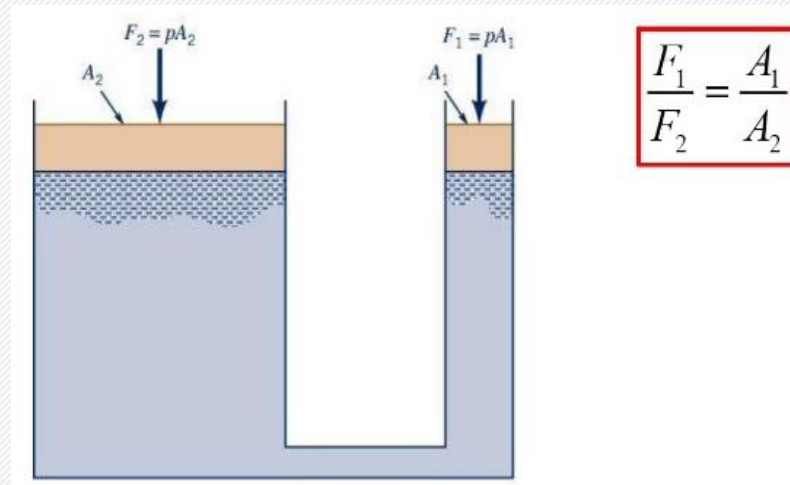
Pascalův zákon

10

Tlak vyvolaný vnější (tlakovou) silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný.

Praktické využití Pascalova zákona:

→ princip hydraulického lisu



Je-li plocha A_1 10x menší než plocha A_2 , na plochu A_2 působí síla 10x větší než je F_1 .

Eulerova rovnice hydrostatiky

11

= rovnice hydrostatického tlaku

- používá se pro výpočet rozdílů hydrostatického tlaku v nestlačitelné tekutině, na kterou působí tíhová síla
- dokazuje, že hydrostatický tlak v kapalině je ve stejné hloubce pod hladinou všude stejný
- definice hydrostatického tlaku kapaliny:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

- ✓ h [m]... výška sloupce hladiny
- ✓ ρ [kg.m⁻³] ... hustota kapaliny
- ✓ g [m.s⁻²] ... tíhové zrychlení

Tlak v kapalině

12

Statický tlak:

- tlak v kapalině může být vyvolán vnější silou působící na povrch kapaliny z vnějšku a vlastní tíhou kapaliny
- sečtením těchto tlakových sil lze vyjádřit statický tlak:

$$p_s = p_v + p_h$$

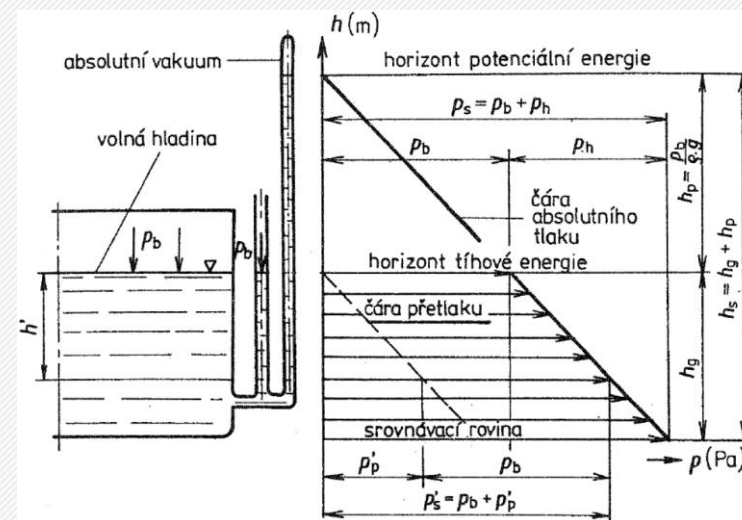
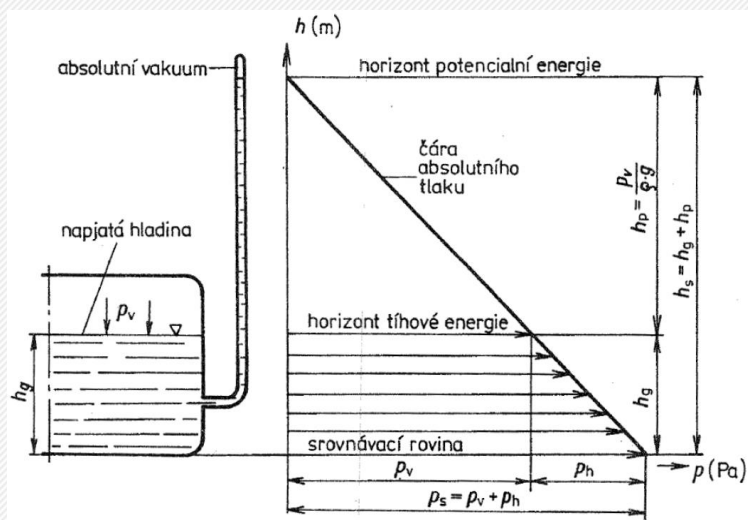
- ✓ p_v ...celkový účinek vnějších sil okolního prostředí na kapalinu
- ✓ p_h ...vlastní tíha kapaliny

Tlak v kapalině

13

Statický tlak:

- ✓ *napjatá hladina*
= hladinová plocha, na kterou působí jiný tlak než atmosférický
- ✓ *volná hladina*
= hladinová plocha, na kterou působí atmosférický tlak



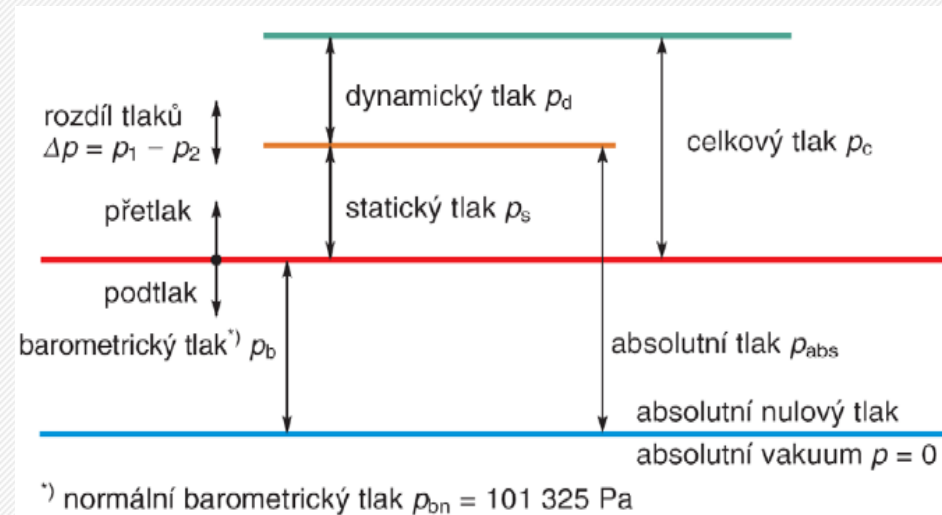
Tlak v kapalině

14

Dynamický tlak:

- jakmile se začne uplatňovat rovněž dynamika proudění tekutiny lze definovat dynamický tlak:

$$p_d = p_c - p_s$$



4. Dynamika tekutin (hydrodynamika)

15

- ✓ Průtočné množství
- ✓ Rovnice kontinuity
- ✓ Bernoulliho rovnice
- ✓ Režimy proudění

Průtočné množství

Pro stacionární (časově ustálené) proudění platí:

$$\dot{V} = w \cdot S$$

$$\dot{m} = \rho \cdot w \cdot S$$

- ✓ $\dot{V} \left[\frac{m^3}{s} \right]$...objemový průtok
- ✓ $\dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right]$...hmotnostní průtok

Rovnice kontinuity

17

= zákon zachování hmotnosti

Množství hmoty vstupující do systému a hmota v systému vznikající během měřeného období se musí rovnat celkovému množství hmoty ze systému vystupující.

Pro stacionární proudění lze rovnici kontinuity napsat ve tvaru:

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \rho_1 \cdot w_1 \cdot S_1 &= \rho_2 \cdot w_2 \cdot S_2 \\ \rho \cdot w \cdot S &= \textit{konst.}\end{aligned}$$

Bernoulliho rovnice

18

= zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální tekutiny v 1D

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 + h \cdot \rho \cdot g = konst.$$

Z Bernoulliho rovnice vyplývá, že energii v systému lze rozložit na energii tlakovou, kinetickou a potenciální.

Režimy proudění

19

Reynoldsovo číslo

= vyjadřuje poměr setrvačných a třecích sil

– bezrozměrné číslo

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$$

✓ $w \left[\frac{m}{s} \right]$... rychlost

✓ $L [m]$... charakteristický rozměr

✓ $\nu \left[\frac{m^2}{s} \right]$... kinematická vazkost

Režimy proudění

20

Na základě Reynoldsova čísla lze stanovit režim proudění:

- ✓ Laminární proudění

$$Re < 2300$$

- ✓ Přejíchodové proudění

$$Re \in \langle 2300; 10^5 \rangle$$

- ✓ Turbulentní proudění

$$Re > 10^5$$

Příklad č. 1

21

Hydraulický lis má menší píst s kruhovou podstavou o poloměru 4 cm. O jakém průměru musí být kruhová podstava většího pístu, jestliže chceme silou 80 N vyvolat tlakovou sílu 11520 N?

Příklad č. 2

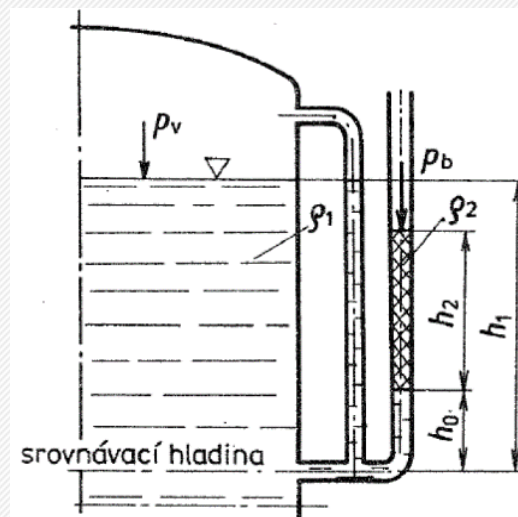
22

V tlakové nádobě je pod vnějším tlakem $3,25 \text{ m}^3$ roztoku. Rovinné víko je umístěno v hloubce $h_s = 2 \text{ m}$ pod hladinou roztoku o hustotě $1,2 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$. V nádobě působí vnější tlak $p_v = 0,025 \text{ MPa}$. Určete: hydrostatický tlak v hloubce h_s , statický tlak, tlakovou výšku vnějšího tlaku, statickou výšku.

Příklad č. 3

23

Určete vnější tlak a statický tlak v kapalině v dané hladinové ploše tlakové nádoby. Změřené a dané údaje:
 $h_1 = 1,2 \text{ m}$, $h_2 = 0,45 \text{ m}$, $h_0 = 0,3 \text{ m}$, $\rho_1 = 1,15 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ (roztok), $\rho_2 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ (Hg) Atmosférický tlak $p_b = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.



Děkuji za pozornost