

6. Mechanika kapalin a plynů

1. Definice tekutin
2. Tlak
3. Pascalův zákon
4. Archimedův zákon
5. Rovnice spojitosti (kontinuity)
6. Bernoulliho rovnice
7. Fyzika letu

Tekutiny: jejich rozdělení, jejich základní charakteristiky:

- *základním znakem* tekutin (kapalin a plynů) je jejich **tekutost** a s ní související snadná dělitelnost; příčinou různé tekutosti je pak vnitřní tření – **viskozita**.

Vlastnosti kapalin: 1. Jsou tekuté.
2. Jsou nestlačitelné (nebo jsou velmi málo stlačitelné).

Vlastnosti kapalných těles:

1. Nemají vlastní tvar – přijímají jej podle nádoby
2. Mají stálý objem.

Ideální kapalina – bez vnitřního tření (dokonale tekutá), dokonale nestlačitelná

Vlastnosti plynů: 1. Jsou tekuté.
2. Jsou stlačitelné a rozpínavé.

Vlastnosti plyných těles:

1. Nemají vlastní tvar – přijímají jej podle nádoby.
2. Nemají stálý objem.

Ideální plyn – bez vnitřního tření (dokonale tekutý), dokonale stlačitelný (jakýkoliv objem ideálního plynu je možné stlačit na nulu).

Tlak

$$p = \frac{F}{S}$$

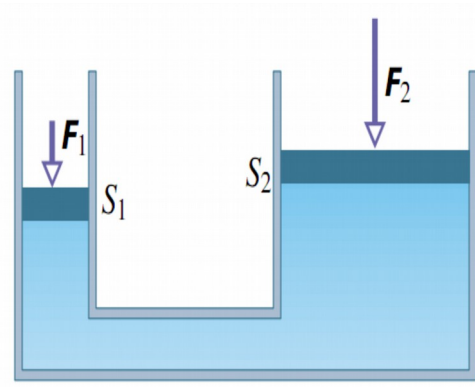
Tlak vyvolaný v kapalinách (plynech):

1) vnější silou působící na kapalinu (plyn) v uzavřené nádobě

Pascalův zákon:

Tlak vyvolaný vnější silou působící na povrch kapaliny v uzavřené nádobě je ve všech místech kapaliny stejný.

- užití (hydraulická (pneumatická) zařízení)
hydraulický lis:

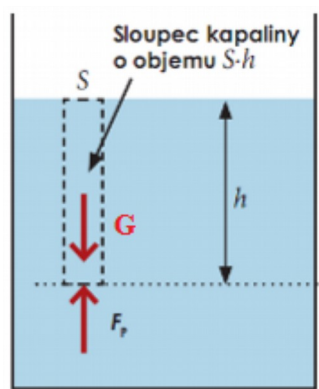


$$p_1 = p_2$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

S_1, S_2 jsou obsahy pístů

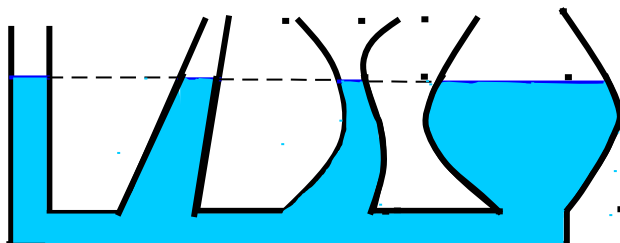
2) vlastní tíhou sloupce kapaliny (hydrostatický)



S – obsah plochy
 h – hloubka, v níž se nachází plocha S
 ρ – hustota kapaliny
 p_h – hydrostatický tlak v hloubce h

$$p_h = \frac{G}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{S} = \frac{S \cdot h \cdot \rho \cdot g}{S} =$$

- spojené nádoby



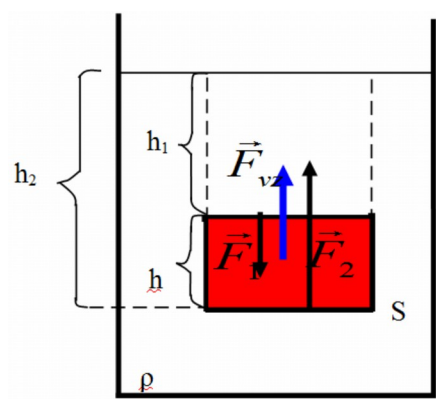
- užití spojených nádob: plavební komory, kapalinové manometry, vodoznaky (např. na cisternách a nádržích), hadicové libely, sifóny, rozvod vody, ...

Archimédův zákon:

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořené části tělesa.

(Mám raději starou definici: Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, která je rovna tíze kapaliny tělesem vytlačené.)

Odvození



Hydrostatický tlak v hloubce h_1 : $p_{h1} = h_1 \cdot \rho \cdot g$

Tlaková síla na horní podstavu : $F_1 = p_{h1} \cdot S = h_1 \cdot \rho \cdot g \cdot S$

Hydrostatický tlak v hloubce h_2 : $p_{h2} = h_2 \cdot \rho \cdot g$

Tlaková síla na dolní podstavu : $F_2 = p_{h2} \cdot S = h_2 \cdot \rho \cdot g \cdot S$

Výsledná vztlaková síla na těleso: $\vec{F}_{vz} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

$$F_{vz} = F_2 - F_1,$$

tedy $F_{vz} = h_2 \cdot \rho \cdot g \cdot S - h_1 \cdot \rho \cdot g \cdot S = (h_2 - h_1) \cdot \rho \cdot g \cdot S = h \cdot \rho \cdot g \cdot S = V \cdot \rho \cdot g = m \cdot g = G$

F_{Gk} – tíhová síla působící na kapalinu téhož objemu, jako je objem ponořené tělesa.

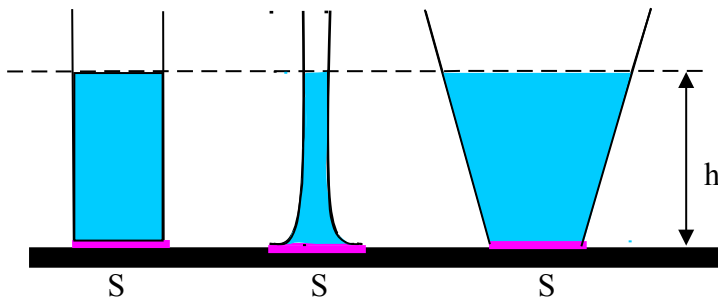
Chování těles v kapalině: Na každé těleso ponořené do kapaliny působí kromě vztlakové síly F_{vz} ještě tíhová síla F_G .

Je-li tíhová síla větší než vztlaková, těleso klesne ke dnu. Neznamena to ale, že na něj vztlaková síla nepůsobí.

Je-li vztlaková síla větší než tíhová těleso plove na hladině.

Jsou-li tíhová a vztlaková síla stejné, říkáme, že těleso se volně vznáší.

Hydrostatický paradox: Tlak na dno všech nádob na obrázku je stejný, neboť je stejný obsah dna, stejná výška sloupce kapaliny a ve všech nádobách je tatáž kapalina ($p_h = h \cdot \rho \cdot g$).



Atmosférický tlak p_a – tlak způsobený vlastní tíhou sloupce vzduchu

- velikost p_a nelze vypočítat podle vzorce pro velikost hydrostatického tlaku, neboť hustota vzduchu se mění s nadmořskou výškou
- p_a klesá na každých 100 m výšky asi o 1,3 kPa
- normální atmosférický tlak $p_{an} = 1013,25 \text{ hPa}$

Aerostatická vztlaková síla (obdoba vztlakové síly v kapalině)

Využití: horkovzdušné balony, vzducholodě

Měření tlaku: a) kapaliny manometry různých konstrukcí

b) vzduchu (atmosférický tlak) barometry, aneroidy

Dynamika tekutin

Převažuje-li pohyb tekutiny v jednom směru, nazývá se tento pohyb **prouděním**.

Proudění graficky znázorňujeme **proudnicemi** (zobrazují trajektorii částic) – čarami, jejichž tečna v libovolném bodě má směr vektoru rychlosti pohybujících se částic.

Příkladem mohou být obrázky z aerodynamických tunelů.

Druhy proudění: a) podle stálosti vektoru rychlosti \vec{v} v daném místě

STACIONÁRNÍ ... \vec{v} je v daném místě konstantní

NE STACIONÁRNÍ ... \vec{v} je v daném místě proměnný

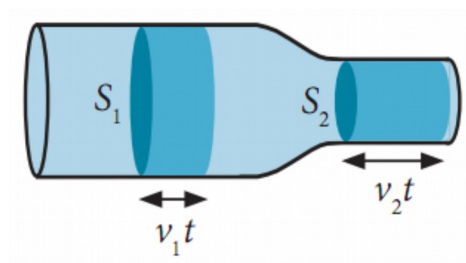
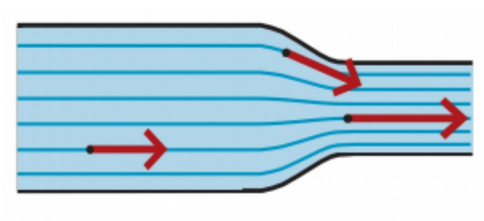
b) podle rovnoběžnosti proudnic

LAMINÁRNÍ ... rychlost malá, proudnice rovnoběžné

TURBULENTNÍ ... rychlost velká, dochází k chaotickým změnám rychlosti proudění, hustoty a tlaku tekutiny, proudnice se zakřívují, promíchávají, vznikají víry

Proudění ideální tekutiny: - ustálené (stacionární) proudění ideální kapaliny

1) Rovnice kontinuity (spojitosti)



Objemový průtok

$Q_v = S \cdot v$... objemový průtok ($[Q_v] = m^3 \cdot s^{-1}$)

Proudí-li kapalina potrubím, které se zužuje, proteče stejné množství kapaliny širokým i úzkým místem kapaliny. Tedy jinak řečeno: **objemový průtok kapaliny je ve všech místech potrubí stejný.**

Rovnice kontinuity je vlastně zákonem zachování hmotnosti (objemu) pro proudící kapaliny.

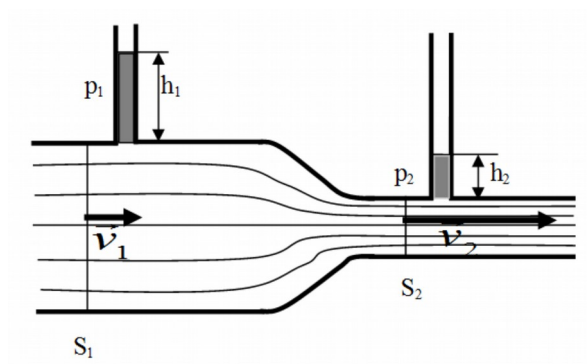
$$\begin{aligned} m_1 &= m_2, \\ \rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t &= \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t \\ \rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 &= \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \\ S_1 \cdot v_1 &= S_2 \cdot v_2 \end{aligned}$$

V ideální kapalíně je ρ všude stejný. Pak lze psát **rovnici kontinuity** ve tvaru:

$$\frac{V}{t} = S \cdot v = \text{konst.}$$

2) Bernoulliho rovnice

Rovnici kontinuity najdeme ve většině učebnic v následujícím tvaru a s následujícím obrázkem:



$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Z rovnice kontinuity vyplývá, že v menším průřezu má tekutina větší rychlost než v průřezu větším. Čím je tedy Bernoulliho rovnice? Pokusme se rovnici neopatrně upravit:

$$p_1 + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_2^2$$

Tlak v rovnici může být například tlakem hydrostatickým (pro pochopení významu Bernoulliho rovnice je to výhodné):

$$h_1 \cdot \rho \cdot g + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_1^2 = h_2 \cdot \rho \cdot g + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_2^2$$

$$h_1 \cdot \frac{m}{V} g + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_1^2 = h_2 \cdot \frac{m}{V} g + \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_2^2$$

$$\frac{1}{V} \cdot m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \frac{1}{V} m \cdot v_1^2 = \frac{1}{V} m \cdot g \cdot h_2 + \dots$$

Z rovnice je vidět, že jeden člen rovnice je potenciální energií jednotkového objemu kapaliny, druhý kinetickou. Bernoulliho rovnice je tedy **zákonem zachování mechanické energie pro kapaliny.**

Důsledky a užití (měření rychlosti proudící tekutiny, vývěvy, rozprašovače, ...)

Hydrodynamický paradox: jde o jev snížení tlaku ve zúženém místě trubice. Při vhodných podmínkách (dostatečné zúžení) může dojít dokonce k poklesu pod hodnotu tlaku atmosférického (podtlak) a do trubice je pak nasáván vzduch.

Proudění reálné tekutiny: projevy sil vnitřního tření, turbulence

Odpor prostředí – projevuje se při obtékání těles tekutinou jako vznik odporové síly F_o , (hydrodynamické či aerodynamické) působící při vzájemném pohybu tělesa a tekutiny proti pohybu. Na velikost této odporové síly má vliv

- hustota prostředí

- rychlost tělesa vzhledem k prostředí:

$$F_{vz} = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 ,$$

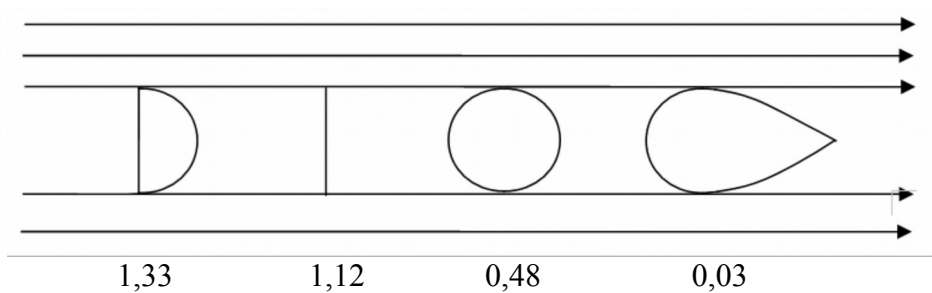
kde C_x je součinitel (koeficient) odporu,

ρ je hustota prostředí,

S je obsah profilového řezu kolmého ke směru rychlosti

v je velikost rychlosti pohybu.

Závislost součinitele odporu na tvaru tělesa:



Základy fyziky letu

Tato část se omezí pouze na uvedení vztahu pro vztlakovou sílu a vysvětlení jednotlivých veličin:

$$F_{vz} = \frac{1}{2} \cdot C_y \cdot S \cdot \rho \cdot v^2$$

F_{vz} ... vztlaková síla

C_y ... koeficient (součinitel) vztlaku

S ... průřez křídla

ρ ... hustota tekutiny

v ... vzájemná rychlost proudění tekutiny a křídla

