

4) Mechanika kapalin a plynů

Definice

- = obor fyziky zabývající se mechanickými vlastnostmi tekutin (silami v kapalinách a plynech a pohybem kapalin a plynů)
- Rozdělení:
 - Hydrostatika/aerostatika – studují podmínky rovnováhy kapalin a plynů
 - Hydrodynamika/aerodynamika – zabývají se zákonitostmi pohybu kapalin a plynů

Vlastnosti kapalin a plynů

- Společné vlastnosti:
 - Tekutost (nestálý tvar, snadno dělitelné)
- Odlišnosti:
 - Kapaliny – objemová stálost, nestlačitelné, vodorovný povrch (volná hladina)
 - Plyny – nestálý objem, snadno stlačitelné, nevytvářejí volný povrch

Tlak v kapalinách a plynech

- Skalární veličina
- Vždy vyvolaný tlakovou silou působící kolmo na určitou plochu

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

- Jednotka: $Pa = N \cdot m^{-2}$

Příčiny:

- Vnější síla prostřednictvím pevného tělesa
- Vlastní tíha kapaliny
- Kombinace obojího

Tlak v kapalinách vyvolaný vnější silou

Pascalův zákon

- Tlaková síla $\vec{F}$ vyvolá tlak v kapalině

- Pascalův zákon:
 - Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný (resp. Se zvýší o stejnou hodnotu)

Pascalův zákon – využití v praxi

- Hydraulická a pneumatická zařízení – lis, zvedák, brzdy...
 - Dvě válcové nádoby nestejného průřezu, u dna spojené trubicí

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

Tlak v kapalinách vyvolaný tíhovou silou

Hydrostatický tlak

- p_h
- Pro tlak p v hloubce h platí:

$$p = \frac{F_1 + F_h}{S} = \frac{F_1}{S} + \frac{m \cdot g}{S} = p_a + \frac{\rho \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = p_a + \rho \cdot h \cdot g$$

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g$$

Hydrostatické paradoxon

- Paradoxní = zdánlivě protismyslný
- Velikost F_h nezávisí na objemu kapaliny

Spojené nádoby

- Volná hladina je ve všech ramenech ve stejné výšce h , a to nezávisle na jejich tvaru a objemu

Spojené nádoby naplněné rozdílnými kapalinami

- Volné hladiny se ustálí v různých výškách
- V místě společného rozhraní jsou hydrostatické tlaky stejné

$$p_1 = p_2 \rightarrow h_1 \cdot \rho_1 \cdot g = h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

Tlak vzduchu vyvolaný tíhovou silou

Atmosférický tlak (p_a)

- Klesá s nadmořskou výškou
- Závisí na teplotě, objemu vodní páry v atmosféře a zeměpisné šířce

- Pro meteorologické účely zaveden normální atmosférický tlak

$$p_n = 1\,013,25 \text{ hPa}$$

- Obdoba hydrostatického tlaku v kapalině (nelze však použít stejný vzorec - ρ s rostoucí h klesá)

Vztlková síla v kapalinách a plynech (F_{vz})

- **Nadlehčuje tělesa v kapalině**
- Opačný směr než F_G
- Výslednice hydrostatických sil působících na povrch tělesa v klidu

$$F_{vz} = F_2 - F_1 = V \cdot \rho \cdot g$$

F_{vz} velikost vztlkové síly

V objem tělesa

ρ hustota kapaliny

Archimédův zákon

- Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlkovou silou F_{vz} , jejíž velikost se rovná velikosti tíhy kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořené části tělesa
- Platí:

$$F_{vz} = V \cdot \rho \cdot g$$

$$F_G = V \cdot \rho_t \cdot g$$

ρ_t – hustota tělesa

Chování těles

- Rozhoduje výslednice F těchto sil
- $F_G > F_{vz}$
 - F směřuje svisle dolů
 - Těleso klesá ke dnu
- $F_G = F_{vz}$
 - $F = 0$
 - Těleso se v kapalině volně vznáší
- $F_G < F_{vz}$

- F směřuje svisle nahoru
- Těleso stoupá k hladině kapaliny

Těleso plove na hladině kapaliny

$$F_G = F'_{vz} \rightarrow V \cdot \rho_t \cdot g = V' \cdot \rho \cdot g \rightarrow \frac{V'}{V} = \frac{\rho_t}{\rho}$$

- Těleso se ponoří do kapaliny tím větší částí objemu, čím je jeho hustota větší nebo čím je hustota kapaliny menší
-

Vztlaková síla ve vzduchu

- Tělesa nadlehčována i ve vzduchu
- F_{vz} mnohem menší než v kapalinách (nízká hodnota hustoty vzduchu)

Přetlak, podtlak

Přetlak

- Tlak vzduchu p v uzavřené nádobě je větší než p_a
- Příklady: tlakové lahve, pneumatiky, spreje, plyny v nitru Země před výbuchem sopky

Podtlak

- Tlak vzduchu p v uzavřené nádobě je menší než p_a
- Příklady: sací pumpy, v potravinářství – vakuové balení, dýchání – pohyb bránice

Proudění kapalin a plynů

- = pohyb kapalin a plynů v jednom směru

Stacionární (ustálené) proudění

- Rychlost v částic tekutin je konstantní (velikost i směr)
- Hustota a tlak tekutiny se také nemění

Nestacionární proudění

- Rychlost v částic tekutin procházející libovolným bodem není stálá (mění se s časem)

Proudnice

- = myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě má směr rychlosti v pohybující se částice
 - Nemohou se navzájem protínat

Objemový průtok (Q_v)

- Ustálené proudění ideální kapaliny – libovolným průřezem trubice proteče za stejný čas kapalina o stejném objemu

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

- Základní jednotka: $m^3 \cdot s^{-1}$

$$Q_v = Sv$$

S průřez kapaliny

- Odvození: $s = vt \rightarrow V = Svt$
- Ideální kapalina – nestlačitelná $\rightarrow$ v žádném místě trubice se nehromadí
- Q_v v každém průřezu trubice v daném okamžiku stejný
- $Q_v = konst. \rightarrow Sv = konst.$
- Rovnice spojitosti toku neboli rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity

- Speciální případ zákona zachování hmotnosti (hmotnostní tok kapaliny musí být ve všech místech průtočného kanálu stejný)

Bernoulliova rovnice pro vodorovnou trubici

- **Energetická bilance**
- Platí: $\Delta E_K = W \quad \Delta m = \Delta V \cdot \rho \quad W = W_1 + W_2$
- Po úpravách: $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$
 $\rightarrow \frac{1}{2}\rho v^2 + p = konst.$
- $\frac{1}{2}\rho v^2$ vyjadřuje kinetickou E a tlak p představuje potenciální E
- Součet kinetické energie kapaliny o jednotkovém objemu a tlaku je ve všech částech vodorovné trubice stejný

Hydrodynamické paradoxon

- $v_1 < v_2$
- $p_1 > p_2$
- V zúženém místě vzniká podtlak
- Do trubice se nasává vzduch

Odporová síla

- Síla, kterou tekutina působí proti pohybu tělesa v ní
- Odpor způsoben třením, které vzniká při kontaktu tělesa a prostředí

$$F = \frac{1}{2} C S \rho v^2$$

ρ hustota tekutiny

S průřez vystavený proudění

C součinitel odporu (tvar a kvalita povrchu tělesa)