

**Otázka:** Hydrodynamika

**Předmět:** Fyzika

**Přidal(a):** Michaela H

## Hydrodynamika

- zabývá se **mechanickým pohybem** (prouděním) tekutin
- V proudící tekutině má každá částice určitou rychlost  $\underline{v}$ , jejíž velikost a směr se **může měnit v závislosti na místě a na čase**. Je-li rychlost  $\underline{v}$  částic **stálá**, tj. nemění se s časem, jde o **ustálené (stacionární) proudění**. Pokud se rychlost  $\underline{v}$  částic **mění s časem** jde o **neustálené proudění**.
- Trajektorie jednotlivých částic proudící tekutiny při ustáleném proudění znázorňujeme proudnicemi.
- **Proudnice** - myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě má směr rychlosti  $\underline{v}$  pohybující se částice.

## Ustálené proudění ideální kapaliny

- **Ideální kapalina** - dokonale tekutá, bez vnitřního tření, zcela nestlačitelná
- Každým průřezem trubice protéká stejný objem kapaliny
- Objem kapaliny, který proteče daným průřezem trubice za jednotku času, se nazývá **objemový průtok**. Protéká-li průřezem o plošném obsahu  $S$  kapalina rychlostí  $\underline{v}$ , je objemový průtok
- $Q_v = S \cdot v$
- $[Q_v] = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

## Rovnice kontinuity (rovnice spojitosti toku)

- Vzhledem k tomu, že je ideální kapalina **nestlačitelná**, **nemůže** se při proudění v žádném místě trubice **hromadit**. Proto je objemový průtok v každém průřezu trubice v určitém okamžiku **stejný**. Tedy  **$Qv = \text{konst.}$**  neboli  **$S \cdot v = \text{konst.}$**
- Ve vodorovné trubici o **nestejném průřezu** se ideální kapalina **nemůže hromadit** a objemový průtok je v každém průřezu **stejný**.
- Platí  **$Qv = \text{konst.}$** , a proto  **$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \text{konst.}$**
- Ze vztahu vidíme, že pokud je  $s_2 < s_1$ , pak  $v_2 > v_1$ . **Proto v užším průřezu trubice proudí kapalina větší rychlostí než v průřezu širším.**
- **Využití** – zahradnické hadice (větší rychlosti tryskající vody dosáhneme, zúžíme-li její konec), vodní vývěva

## Bernoulliho rovnice

- *Proudí-li ideální kapalina vodorovnou trubicí s různým obsahem příčného řezu, je součet kinetické a tlakové energie kapaliny o objemu  $V$  v každém místě trubice stejný.*
- **Zákon zachování mechanické energie** pro proudění ideální kapaliny ve vodorovném potrubí = **Bernoulliho rovnice**:
  - **$1/2\rho v^2 + p = \text{konst.}$**
- Pro vodorovnou trubicí se **dvěma různými průřezy** zapisujeme Bernoulliho rovnici ve tvaru:
  - **$1/2\rho v_1^2 + p_1 = 1/2\rho v_2^2 + p_2$**
- Kde první člen rovnice představuje kinetickou energii kapaliny a druhý člen tlakovou potenciální energii.
- V zúžené části potrubí má kapalina **větší rychlost a větší kinetickou energii**, ale **menší tlak**.
- Při značném zúžení trubice, kdy **rychlost** proudící kapaliny **nabývá velkých hodnot** může tlak klesnout až **pod hodnotu tlaku atmosférického**. V zúženém místě trubice **vzniká podtlak** a do manometrické trubice se nasává vzduch. Tento jev se nazývá **hydrodynamický paradoxon**.
- Podtlak také vzniká u proudících plynů, u proudícího vzduchu se využívá podtlaku rozprašovače, stříkací pistole, karburátorech spalovacích motorů.
- Foukáme-li mezi dva svisle zavěšené listy papíru, **vzniká mezi nimi podtlak** a působením atmosférické tlakové síly se listy přitahují, tomuto jevu se říká **aerodynamický paradoxon**
- V případě, že je trubice v obecné poloze, platí rovnice:

- $p_1 + h_1 \rho g + 1/2 \rho v_1^2 = p_2 + h_2 \rho g + 1/2 \rho v_2^2$
- kde první člen vyjadřuje tlakovou potenciální energii, druhý člen hydrostatický tlak a poslední člen představuje kinetickou energii kapaliny.
- **Výtoková rychlost** - velikost rychlosti kapaliny vytékající otvorem v nádobě, hloubce  $h$  pod povrchem kapaliny, je větší u otvoru, který je ve větší hloubce. Stejný vztah platí pro velikost rychlosti, kterou dopadá na zem těleso při volném pádu z výšky  $h$ . *Kapalina vytéká z otvoru v hloubce  $h$  stejně velkou rychlostí, jakou by dopadla z výšky  $h$ .*
  - $v = \sqrt{2gh}$

## Proudění skutečné kapaliny

- **Skutečná (reálná) kapalina** - není dokonale tekutá a zcela nestlačitelná
- Při proudění působí vždy **odporové síly** zvané **síly vnitřního tření**
- **Rychlost** kapaliny **není** ve všech místech průřezu **stejná**. Vrstva kapaliny, která se bezprostředně **stýká** se **stěnami trubice**, se pohybuje v důsledku tření **pomaleji**.
- => největší rychlost mají částice, které procházejí středem průřezu trubice
- **Laminární proudění** - vzniká při malých rychlostech proudění kapaliny, kde jsou proudnice **rovnoběžné**. Odporová síla  $F$  je poměrně malá a její velikost  $F$  je přímo úměrná rychlosti  $v$ .
- **Turbulentní proudění** - vzniká při vyšších rychlostech tzn. dochází ke tvorbě vírů a zobrazování pomocí proudnic ztrácí svůj význam. Měřením bylo zjištěno, že velikost odporové síly  $F$  se zvětšuje s druhou mocninou rychlosti  $v$ .

## Obtékání těles

- Když se těleso pohybuje vzhledem k tekutině, v níž je, dochází k **obtékání**. U **reálných kapalin a plynů** vznikají v důsledku **vnitřního tření částic odporové síly**, působící **proti směru relativního pohybu** tělesa v tekutině.
- U kapalin mluvíme o **hydrodynamické odporové síle**, u plynu o **aerodynamické odporové síle**. Fyzikální jev vzniku odporových sil nazýváme **odpor prostředí**.
- obrázky viz minulá stránku

## Newtonův vztah pro odporovou sílu

- Pro velikost **aerodynamické odporové síly** působící na tělesa **libovolného tvaru** odvodil **Newton** vztah:
  - $F = 1/2 C_p S v^2$
- Kde  $C$  je součinitel odporu,  $\rho$  hustota vzduchu,  $S$  obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a  $v$  velikost rychlosti.
- **Součinitel odporu**  $C$  závisí na **tvaru** tělesa. Pokusy v aerodynamickém tunelu, do něhož byla vkládána tělesa různých tvarů, se zjistilo, že největší hodnotu součinitele  $C = 1,33$  má **dutá polokoule**, jejíž dutina je obrácena proti směru proudění. Naopak nejmenší hodnotu součinitele  $C = 0,03$  má těleso **proudnicového** neboli **aerodynamického tvaru**
- Přibližně proudnicový tvar mají těla ryb, těla letících ptáků a padající vodní kapky.
- Aerodynamický tvar má rovněž profil nosné plochy letadel dosahujících menších nebo středních rychlostí.
- Nesouměrný profil nosné plochy způsobuje, že vzduch obtéká její horní stěnu větší rychlostí než stěnu spodní. Podle **Bernoulliho rovnice** je tlak na horní stěnu nosné plochy menší než na spodní stěnu a na celou nosnou plochu působí **vztlaková aerodynamická síla  $F_y$** . Na nosnou plochu letadla působí tedy dvě síly: **aerodynamická vztlaková síla  $F_y$** , která působí proti tíhové síle a udržuje letadlo ve vzduchu, a **odporová síla  $F_x$** , kterou překonává tažná síla motorů. Výslednicí obou sil je výsledná **aerodynamická síla**
- $F = F_x + F_y$