**9. Hydrodynamika**

**Vlastnosti kapalin a plynů**

Společná základní vlastnost je **tekutost** (→ kapaliny a plyny – tekutiny). Její příčinou je snadná vzájemná pohyblivost částic, z nichž se kapaliny skládají. Kapalná a plynná tělesa **nemají stálý tvar**, přizpůsobují se tvaru okolních pevných těles.

Kapaliny zachovávají stálý objem a jsou velmi málo stlačitelné. Plyny nemají stálý tvar ani stálý objem. Jsou velmi snadno stlačitelné. Vzdálenosti mezi molekulami plynu jsou mnohem větší než u kapalin, což umožňuje jejich stlačení.

Různé kapaliny a plyny se liší svou tekutostí. Tekutější kapaliny mají menší vnitřní tření – **viskozitu**

Pro zjednodušení:

**Ideální kapalina** – dokonale tekutá, bez vnitřního tření, zcela nestlačitelná

**Ideální plyn** – dokonale tekutý, bez vnitřního tření, dokonale stlačitelný

**Proudění**

Proudění je takový pohyb tekutin, kdy u částic převažuje pohyb v jednom směru.

Pohyb tekutin je složitější než pohyb pevných látek, protože jednotlivé částice mohou měnit vzájemnou polohu. Každá částice v proudící tekutině má určitou rychlost, jejíž velikost a směr se může v závislosti na místě a čase měnit. Pokud je rychlost částic v daném bodě stálá, jde o ustálené neboli **stacionární** proudění.

U **neustáleného** (**nestacionárního**) pohybu se rychlost proudění mění nejen s polohou, ale i s časem.

**Rovnice kontinuity**

**Rovnice kontinuity** je rovnice, která platí pro ustálené proudění ideální kapaliny v uzavřené trubici a popisuje vztah mezi rychlostí proudění *v* a obsahem průřezu *S* v jednom místě trubice. V případě, že se změní průtočná plocha, dojde v důsledku této změny také ke změně rychlosti, tak aby průtok byl zachován.

**Q = v . S = konst. =>** 

**Bernoulliho rovnice**

Celková energie vodního proudu je tvořena třemi druhy energie:

1. **Energie polohová** je dána rozdílem výšky (spádem). Můžeme si ji představit jako energii potřebnou k překonání zemské přitažlivosti dané gravitačním zrychlením **g** při dopravení určité hmotnosti vody **m** do výšky **h.
*W1* = F \* s = G \* h = m\*g\*h**
2. **Energie tlaková** je dána tlakem v kapalině. Tu si můžeme představit jako energii potřebnou ke stlačení pístu o průřezové ploše **S** o vzdálenost **l**, čímž dojde ke stlačeníkapaliny o objem **V=S\*l,** odsud plyne **S = V/l**. Objem V se dá vyjádřit ze vztahu **m = ς\*V** jako **V = m/ ς**.
Proti pístu působí tlak **p = F/S**, proto potřebná síla k překonání tlaku **p** je dána **F = p\*S**.
***W2* = F \* l = p\*S\*l = p\*l\*V/l = p\*V = p\*m/ς**
3. **Energie kinetická** roste s hmotností a se čtvercem rychlosti. Můžeme si ji představit jako energii nutnou k zastavení pohybujícího se tělesa o hmotnosti **m** z původní rychlosti **v** do klidu.
Po dobu nutnou k zastavení **t** budeme muset na těleso působit silou **F** na dráze **s**, kterou těleso během brzdění urazí. Výsledná energie bude dána výrazem W = F\*s. Těleso přitom koná pohyb rovnoměrně zpomalený se záporným zrychlením **– a**. Jeho rychlost na začátku brzdění je v = **a\*t**, na konci je **v = 0** (zastavení)
Dráha, kterou během brzdění těleso urazí je **s = ½ a\*t2**. ()
*W3* = F\*s = m\*a\*s = m \* a \* ½ \* a \* t2 = ½ \* m \* a2 \* t2 = **½\*m\*v2**

**Zákon zachování energie** pak říká, že **celková energie soustavy se nemění**, pouze dochází ke změně jednoho druhu energie na druhou, nebo třetí, a zpátky. Po dosazení za W1-3 dostaneme výraz:

***W = W1+W2+W3 =* m\*g\*h + p\*m/ς + ½\*m\*v2 = konst. /** vydělíme rovnici **m**

  **h + p/(ς\*g) + v2/(2\*g) = konst.**

**Hydrodynamický paradox:**

Snížení tlaku v zúžené trubici (důsledek rovnice spojitosti – v menším průřezu se rychlost proudění zrychlí, a Bernoulliho rovnice – zvýšení rychlosti proudící kapaliny vede ke zmenšení tlaku) bylo nazváno **hydrodynamickým paradoxem**.

**Proudění skutečné kapaliny:**

Uvedené zákonitosti proudění tekutin platí pro ideální tekutiny, ale ve skutečnosti neplatí úplně přesně. Zvláště v reálné kapalině působí vždy proti pohybu částic odporové síly způsobené vnitřním třením (viskozitou) kapaliny u plynů se neprojevují tak znatelně kvůli nízké viskozitě.

Ideální kapalina měla v každém bodě průřezu stejnou rychlost. Ale u reálné kapaliny se částice, které se pohybují středem trubice, pohybují rychleji než ty, které se pohybují blíže ke stěně trubice a nejpomalejší jsou ty, které se jí přímo dotýkají - částice na tzv**. mezní vrstvě kapaliny**. Rozdílné rychlosti způsobuje rozdílné tření.

Při malých rychlostech proudění jsou proudnice stále ještě rovnoběžné → **laminární proudění**.

Ale při vyšších rychlostech se kvůli rozdílům v rychlosti pohybu částic tvoří víry → **turbulentní proudění**. Pro překonání odporu kapaliny se žene potrubím pomocí čerpadel → zvýšení tlaku.

**Obtékání těles**

Když se těleso pohybuje vzhledem k tekutině, v níž je, dojde k **obtékání**. Při obtékání působí tření mezi tělesem a tekutinou ⇒ **hydrodynamická** (u kapalin) a **aerodynamická** (u plynů) **odporová** **síla** → **odpor** **prostředí**.

Při malých rychlostech je proudění kolem těles **laminární** a odporová síla **F** je poměrně malá a roste přímo úměrně relativní rychlosti v (tělesa vzhledem k prostředí). Při větších rychlostech vzniká proudění **turbulentní**. Velikost odporové síly **F** se zvětšuje už s druhou mocninou rychlosti v. Pro velikost aerodynamické odporové síly odvodil Newton vztah:

,

kde C je součinitel odporu pro daný tvar tělesa, ρ hustota plynu, S obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a v relativní rychlost.



Největší odpor má dutá polokoule (padáky), nejmenší těleso **proudnicového** neboli **aerodynamického tvaru.**

Křídla malých letadel jsou také aerodynamického tvaru, ale nejsou souměrná. Horní plocha je větší než spodní, proto ji vzduch obtéká rychleji. Podle Bernoulliho rovnice je větší tlak na spodní plochu křídla a na celou nosnou plochu křídla pak působí **vztlaková aerodynamická síla** **F**y. Dále na křídlo působí ještě odporová síla **F**x, kterou překonává tah motorů. Jejich výslednicí je **výsledná aerodynamická síla** **F**.



Newtonův vztah pro odporovou sílu platí je pro středně velké rychlosti. Pro větší, než je rychlost šíření zvuku, je rychlost odporové síly úměrná třetí mocnině rychlosti v. Těleso vytváří **rázovou vlnu** – rány při přeletu nadzvukových letadel.