

T É M A : H Y D R O D Y N A M I K A K A P A L I N – T E O R E T I C K É C V I Č E N Í

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

Datum:

ANOTACE:

Materiál je určen k procvičení učiva týkajícího se hydrodynamiky kapalin. Žáci si během dvouhodinového cvičení zopakují teorii a vyřeší následující úlohy.

TEORIE:

PROUDĚNÍ KAPALIN A PLYNŮ

O **proudění** mluvíme, jestliže převažuje pohyb kapalin nebo plynů v jednom směru.

Je-li rychlost částic, které procházejí libovolně zvoleným místem proudící tekutiny stálá, tedy se s časem nemění, jde o **ustálené (stacionární) proudění**. Trajektorie částic proudící tekutiny se znázorňují **proudnicemi**. Jsou to myšlené čáry, jejichž tečny v libovolném bodě mají směr rychlosti pohybující se částice. Tyto proudnice se nemohou navzájem protínat a každý bod proudící tekutiny prochází při ustáleném proudění jen jedna proudnice.

Objemový průtok Q_V kapaliny vyjadřuje objem kapaliny, která proteče daným průřezem trubice za 1 sekundu.

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

Objemový průtok lze vyjádřit pomocí obsahu průřezu trubice, kterým kapalina protéká danou rychlostí:

$$Q_V = S \cdot v$$

Ideální kapalina je dokonale nestlačitelná. Nemůže se proto při proudění v žádném místě trubice hromadit. Z toho vyplývá, že každým průřezem trubice proteče za stejnou dobu kapalina stejného objemu. Znamená to, že v každém průřezu trubice **je objemový průtok kapaliny konstantní**.

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

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Předešlý vztah nazýváme **rovnice spojitosti toku** nebo také **rovnice kontinuity**.

Při ustáleném proudění ideální kapaliny jsou obsah průřezu trubice a velikost rychlosti proudící kapaliny v tomto průřezu nepřímo úměrné:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

V širším průřezu trubice proudí kapalina menší rychlostí než v užším průřezu, proto v širší části trubice má kapalina menší kinetickou energii než v její užší části.

Podle zákona mechanické energie platí: $E = E_k + E_p = \text{konst.}$, kde E_k je kinetická energie kapaliny a E_p je potenciální tlaková energie kapaliny.

Kinetickou energii kapaliny vypočítáme podle vztahu: $E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho V v^2$

Potenciální tlakovou energii proudící kapaliny určíme podle mechanické práce, kterou vykoná tlaková síla, posune-li ve vodorovném potrubí píst o určitém obsahu o určitou délku:

$$E_p = W = F \cdot l = p \cdot S \cdot l = p \cdot V$$

Po dosazení vztahů do zákona zachování energie dostaneme:

$$\frac{1}{2} \rho V v^2 + p \cdot V = \text{konst.}$$

Celou rovnici vydělíme objemem kapaliny a získáme rovnici: $\frac{1}{2} \rho v^2 + p = \text{konst.}$

První člen vyjadřuje kinetickou energii kapaliny jednotkového objemu a druhý člen vyjadřuje tlakovou potenciální energii kapaliny jednotkového objemu. Tato rovnice se nazývá **Bernoulliova rovnice**.

Tuto rovnici zapisuje obvykle ve tvaru pro vodorovnou trubici se dvěma různě velkými průřezy:

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

Ze zákona zachování mechanické energie pro proudění ideální kapaliny ve vodorovném potrubí lze odvodit, že v užší části potrubí má kapalina větší rychlost, větší kinetickou energii, ale menší tlak (menší tlakovou potenciální energii).

Ze zákona zachování mechanické energie lze také odvodit **rychlost kapaliny vytékající otvorem v nádobě** následujícím způsobem:

Poblíž otvoru v hloubce h pod povrchem kapaliny se mění tlaková potenciální energie $E_p = p V = h \rho g V$ na kinetickou energii $E_k = \frac{1}{2} \rho V v^2$.

Úbytek potenciální tlakové energie musí být stejně velký jako přírůstek kinetické energie:

$$h \rho g V = \frac{1}{2} \rho V v^2$$

$$2 h g = v^2$$

$$v = \sqrt{2 h g}$$

Z odvozeného vztahu vidíme, že rychlost vytékající kapaliny je větší u otvoru, který je ve větší hloubce.

Při velkém zúžení trubice, kdy rychlost proudící kapaliny nabývá značných hodnot, může dojít k situaci, kdy tlak klesne na hodnotu menší než je hodnota atmosférického tlaku. V zúženém místě trubice tak vzniká **podtlak**. Podtlak vzniká také u proudících plynů.

Podtlaku se využívá například u vodní vývěvy, u rozprašovače, stříkáci pistole.

PŘÍPRAVA:

1. Zopakujte si vlastnosti kapalin.
2. Připomeňte si Archimédův zákon, vztah pro výpočet hydrostatické vztlakové síly.
3. Zopakujte si, jak definujeme objemový průtok kapaliny. Jaký tvar má rovnice spojitosti toku a Bernoulliho rovnice? Která z těchto rovnic vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny?

VYPRACOVÁNÍ:

Příklad č. 1:

Vodní elektrárna využívá energii vody, která proudí z výšky 3,6 m do turbíny. Turbína má výkon 0,56 MW a pracuje s účinností 80 %. Vypočítejte objemový průtok vody.

Příklad č. 2:

Potrubí má v užší části průměr 28 cm a v širší 36 cm. Jak rychle proudí voda v každém průřezu, jestliže potrubím proteče 3,1 hl vody za každou sekundu?

Příklad č. 3:

Ve vodorovném potrubí o průměru 4,4 cm bylo provedeno pozvolné zúžení na průměr 3,6 cm. Rozdíl výšky vodního sloupce při měření statických tlaků v proudící vodě v místě těsně před zúžením a v místě největšího zúžení je 8 cm.

Vypočítejte: a) Jak velké jsou rychlosti vody v obou místech?

b) Jaký je objemový průtok vody potrubím?

Příklad č. 4:

Voda proudí vodorovným potrubím o průměru 4 cm rychlostí $120 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Průměr potrubí se zužuje o 40 %. Vypočtete změnu tlaku v zúženém místě.

Příklad č. 5:

Volná hladina vody v nádobě se udržuje ve stálé výši 2 m nad dnem nádoby. V nádobě jsou tři otvory, jimiž voda vytéká. Jsou ve výškách 50 cm, 1 m a 1,5 m nad dnem nádoby. Plošný obsah průřezu každého otvoru je 50 mm^2 . Určete objem vody, která vyteče za 1 minutu.

Příklad č. 6:

Jak velkou rychlostí padá kapka deště o hmotnosti 0,05 g? Plošný obsah kolmého průřezu kapky je 16 mm^2 a hodnota součinitele odporu je 0,4. Předpokládejte rovnoměrný pohyb kapky.

Příklad č. 7:

Vodní vývěva je připojena k vodovodnímu potrubí, v němž je přetlak vody vzhledem k atmosférickému tlaku 2 kPa. Průřez trubice v místě, kde vtéká voda, je 50 mm^2 , trubicí proteče 1 litr vody za minutu. Jaký může být maximální průřez ústí trubice ve vývěvě, aby vývěva nasávala vnější vzduch?

Příklad č. 8:

Ve stěně válcové nádoby naplněné vodou je otvor, který je 50 cm pod hladinou vody a ve výšce 10 cm nad povrchem stolu. Vypočítejte, do jaké vzdálenosti od nádoby dopadne vodní paprsek vytékající z otvoru.

ZÁVĚR:

Žáci si ve dvou hodinách fyzikálního semináře zopakovali hydrodynamiku kapalin a plynů. Nejdříve si připomněli teorii nutnou ke zvládnutí učiva, pak vyřešili sadu úloh.

Cílem této prezentace je poskytnout žákům databázi úloh a jejich správné řešení.

SHRNUTÍ:

Na základě poznatků získaných při domácí přípravě a během výuky v semináři vyřešte následující úkoly:

1. Jak velkou rychlostí vytéká voda otvorem z válcové nádoby, který je v hloubce 75 cm?
2. Jak velkou odporovou sílu přemáhá motor automobilu při rychlosti $90 \frac{km}{h}$? Čelní průřez vozidla je $2 m^2$ a součinitel odporu je 0,3.
3. Na kuličku o průměru 2 cm padající ve vzduchu rychlostí $40 m \cdot s^{-1}$ působí odporová síla 160 mN. Určete hodnotu součinitele odporu pro kouli.
4. Na řece se míjejí dvě lodky velmi blízko sebe. Pozorujeme, že se k sobě přitahují. Vysvětlete.

SEZNAM ZDROJŮ:

- [01] Svoboda Emanuel a kol.: Přehled středoškolské fyziky, 3. vydání. Prometheus Praha, 1996
ISBN 80-7196-116-7
- [02] Bartuška Karel: Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy 1. část, 1. vydání. Prometheus Praha, 1997
ISBN 80-7196-034-9
- [03] Nahodil Josef: Fyzika v běžném životě, 1. vydání. Prometheus Praha, 1996
ISBN 80-7196-005-5
- [04] Kubínek Roman, Kolářová Hana: Fyzika v příkladech a testových otázkách pro uchazeče o studium na VŠ, 1. vydání. Rubico Olomouc, 1996
ISBN 80-85839-07-5
- [05] Bednařík Milan, Šíroková Miroslava: Mechanika pro gymnázia, 3. vydání. Prometheus Praha, 2000
ISBN 80-7196-176-0

METODICKÝ LIST

Název školy	Gymnázium a Jazyková škola Zlín
Autor	Mgr. Petr Zezulka
Vzdělávací oblast	Mechanika kapalin a plynů
Vzdělávací obor	Fyzika
Tematický okruh	Hydrodynamika kapalin
Druh učebního materiálu	Laboratorní cvičení – žák
Cílová skupina	Žák, 18 let
Anotace	Pracovní list je určen do výuky žákům - podklad pro laboratorní cvičení z fyziky. Informace žák čerpá z vlastních poznámek, odborné literatury a internetu. Náplň: Proudění ideální kapaliny. Výpočty týkající se daného tématu, slovní úlohy řešené pomocí rovnice spojitosti toku a Bernoulliho rovnice.