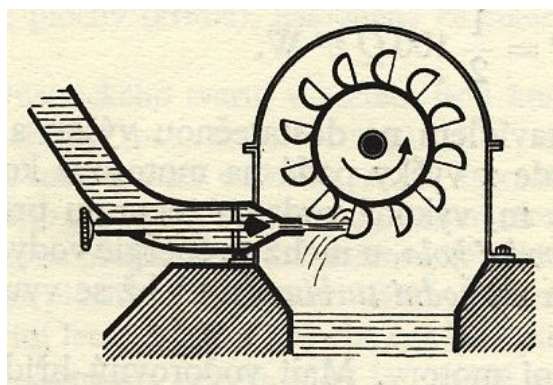


Reaktivní turbína a zákon zachování energie

(c) Ing. Ladislav Kopecký, 2009

V článku [2] jsem se snažil vysvětlit fenomén Clemova motoru pomocí školské fyziky, kde jsem našel popis experimentu, který odporuje zákonu zachování energie. Reakce na tento článek, jichž nebylo mnoho, ukázaly, že víra v tento „zákon“ je silnější než logické důkazy a zdravý selský rozum. Proto jsem se rozhodl se tomuto tématu věnovat z jiné stránky a ukázat tento princip na konkrétních příkladech z praxe.

Nejdříve budeme zkoumat energetické poměry Peltonovy turbíny, jejíž ilustraci najdete na obr. 1.



Obr. 1. Peltonova turbína

Výškový rozdíl mezi hladinou v nádrži a umístěním Peltonovy turbíny označme h a průřez trysky označme S . Potom platí, že rychlost vody, vytékající z trysky na lopatky turbíny, bude

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Průtok bude

$$I = S \cdot v \quad (2)$$

dynamický tlak p_d kapaliny vytékající z trysky bude roven statickému tlaku p_s a platí

$$p_d = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \quad (3)$$

a pro výkon turbíny bude platit

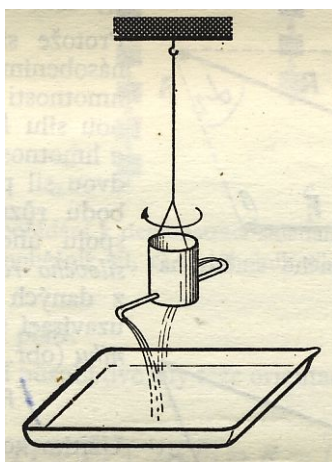
$$P < p_d \cdot I = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot I \quad (4)$$

Dosadíme-li do (4) za v podle (1), dostaneme následující nerovnost

$$P < \rho \cdot h \cdot g \cdot I \quad (5)$$

Poznámka: Obvodová rychlost v Peltonovy turbíny musí být vždy nižší než výtoková rychlost, daná vztahem (1) a pro skutečný výkon této turbíny platí $P = F \cdot v = F \cdot \omega \cdot R = \rho \cdot g \cdot h \cdot S \cdot \omega \cdot R$. V okamžiku, kdy obvodová rychlost $\omega \cdot R$ Peltonovy turbíny dosáhne výtokové rychlosti, výkon turbíny bude nulový.

Nyní si představme místo Peltonovy turbíny reaktivní turbínu, která se může podobat například Segnerovu kolu (obr. 2).



Obr. 2. Segnerovo kolo

Naše reaktivní turbína bude mít celkový průřez trysek S a z nádrže s hladinou ve výšce h bude do turbíny ústít potrubí tak, aby všechna voda vytékala pouze z trysek. Přitom zanedbáme odstředivé síly uvnitř turbíny (zvyšující tlak v tryskách, čili vyšší výkon resp. účinnost), stejně jako zanedbáme ztráty, vyvolané nutností udělit kapalině v turbíně rotační pohyb (působení setrvačných sil). Z článku [2] víme, že pro reakční sílu, vyvolanou vodou vytékající z trysek rychlostí v , platí

$$F = \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (6)$$

Pokud za rychlost v ve vztahu (6) dosadíme podle (1), dostaneme pro reakční sílu následující vztah

$$F = \rho \cdot S \cdot 2 \cdot g \cdot h \quad (7)$$

Pro výkon zároveň platí vztah

$$P = F \cdot v \quad (8)$$

kde v je obvodová rychlost Segnerova kola.

V případě, že obvodová rychlost v Segnerova kola bude rovna výtokové rychlosti podle vztahu (1) můžeme pro výkon reaktivní turbíny, s přihlédnutím k (2), napsat následující vztah:

$$P = 2 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad (9)$$

Poznámka:

1. Obvodová rychlost v Segnerova kola může být, na rozdíl od Peltonovy turbíny, vyšší než je výtoková rychlost, daná vztahem (1). Je tomu tak proto, že reakční síla (neuvažujeme-li odstředivou sílu rotující kapaliny) závisí pouze na hydrostatickém tlaku, nikoli na obvodové rychlosti kola. Na obdobném principu (reakční síly) fungují motory raket, které dosahují obrovských rychlostí. Kdyby se reakční síla se zvyšující rychlostí snižovala, nemohly by rakety nikdy fungovat.

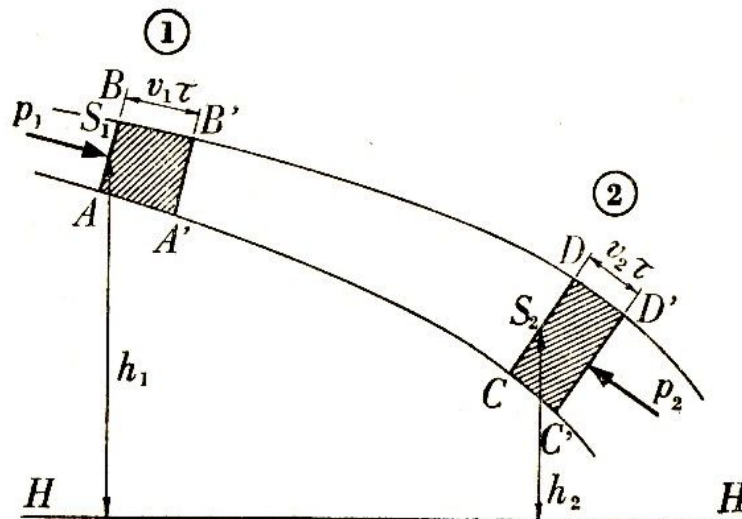
2. U Peltonovy turbíny také působí reakční síla, a sice v koleně přívodního potrubí, kde je bez užitku promrhána.

Závěr

Porovnáme-li vztahy (5) a (9) vidíme, že při zachování všech ostatních parametrů je výkon reaktivní turbíny proti Peltonově turbíně více než dvojnásobný. **Jestliže budeme předpokládat stejně velké ztráty obou turbín a účinnost Peltonovy turbíny přesahující 50 %, bude účinnost reaktivní turbíny vyšší než 100 %, což je zjevně v rozporu se zákonem zachování energie, avšak nikoli v rozporu s vědeckým myšlením a zdravým selským rozumem.** Pokud má někdo problém věřit tomu, že platí vztah pro reakční sílu (6), může se o tom přesvědčit nahlédnutím do dodatku, kde najde okopírované příslušné pasáže z literatury [1]. Zde je tento vztah podrobně odvozen.

Dodatek

Odvození vztahu (6) pro reakční sílu



VII-53. K Bernoulliho rovnici

29,1. REAKCE TEKUTINY TEKOUcí ZAKŘIVENÝM POTRUBÍM

Uvažujme opět proudovou trubici, omezenou dvěma průřezy AB a CD (obr. VII-53). Nestlačitelná tekutina v ní obsažená přijde za dobu Δt do polohy $A'B'C'D'$. Změna hybnosti uvažované tekutiny se rovná vektorovému rozdílu hybnosti tekutiny obsažené v objemech $CDC'D'$ a $ABA'B'$. Množství tekutiny Δm , které projde libovolným průřezem za sekundu, označme

$$I = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (\text{VII-55})$$

Podíl (VII-55) je měřítkem proudu tekutiny.

Uvedené prostory obsahují $I\Delta t$ tekutiny. Jejich hybnosti jsou $\mathbf{p}_1 = I\Delta t\mathbf{v}_1$ a $\mathbf{p}_2 = I\Delta t\mathbf{v}_2$. Změna hybnosti

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 = I(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) \Delta t.$$

Podle druhého pohybového zákona je časová změna hybnosti co do směru i velikosti rovná vnější (vtištěné) působící síle

$$\left(\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \right),$$

tedy

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} = I(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1)$$

a rovná se podle předchozího výslednici všech vnějších sil na uvažovanou tekutinu působících, tedy

$$\boxed{\mathbf{F} = I(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1).} \quad (\text{VII-56})$$

Docházíme tedy k výsledku:

Výslednice vnějších sil působících v daném objemu na proudící tekutinu se rovná vektorovému rozdílu hybností tekutiny, která z tohoto objemu vystoupí, a tekutiny, jež do tohoto objemu vstoupí, za jednotku času. Síla F' , kterou podle principu akce a reakce působí proudící tekutina v zakřivené trubici na stěny, je stejně velká, avšak opačného směru. Tekutina tekoucí zakřivenou trubicí působí tedy na trubici silou $\mathbf{F}' = -\mathbf{F}$ (obr. VII-68) mířící na opačnou stranu, než je potrubí ohnuto.

K vnějším silám patří zde především tíže, pak tlaky od sousedních částic tekutiny a od pevných těles, která zvolenou část proudového vlákna ohraničují.

Je-li průřez trubice stálý, tj. $S_1 = S_2 = S$, pak z rov. (VII-44) plyne, že $v_1 = v_2 = v$ a pro sílu F lze psát

$$\boxed{\mathbf{F} = \rho S v (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1).} \quad (\text{VII-56a})$$

Reakce tekoucí tekutiny na stěny zakřivené trubice se využívá ve vodních i parních turbínách. Proud kapaliny nebo páry, proudící zakřiveným kanálem mezi lopatkami kola turbíny, vyvolává reakční síly, jejichž moment způsobí otáčení kola turbíny.

Uvedená rovnice se zpravidla používá stejně jako rovnice Bernoulliova na proudová vlákna, jejichž příčné rozměry jsou konečné, takže např. vyplňují celou trubici, již kapalina nebo plyn proudí; v pak značí ovšem střední rychlost.

29,2. REAKCE VYTÉKAJÍCÍHO PAPERSKU

Vytéká-li kapalina z nádoby postranním otvorem plochy S rychlostí v , přenáší otvorem za 1 sekundu hybnost $\mathbf{p} = I\mathbf{v} = \alpha \rho S v \mathbf{v}$, kde α je koeficient zúžení. Tato hybnost má směr kolmý na rovinu otvoru nádoby a je orientovaná z nádoby ven. Pro její velikost lze tedy psát $p = \alpha \rho S v^2$. Hybnost v hladině kapaliny, kde je rychlost nepatrná, můžeme zanedbat. Podle třetího zákona Newtonova dostane nádoba za sekundu hybnost $-\mathbf{p}$, tj. působí na ni síla

$$\boxed{\mathbf{F}' = -\rho S v \mathbf{v}, \text{ resp. } -\alpha \rho S v \mathbf{v}.} \quad (\text{VII-57})$$

Protože tento tlak, resp. síla, stojí kolmo k rovině otvoru a má opačný směr než rychlost výtoku, říkáme této síle *reakce vytékajícího paprsku*.

Kdybychom postavili nádobu na lehce pohyblivý vozík, začne se působením síly F' pohybovat ve směru opačném, než je směr vytékajícího paprsku. Velikost síly, kterou působí na stěny nádoby kapalina vytékající postranním otvorem, je

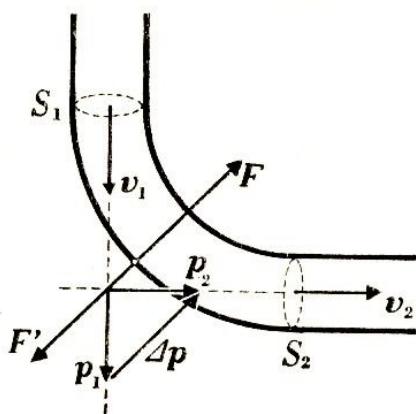
$$\boxed{F' = \alpha \rho S v^2.} \quad (\text{VII-57a})$$

Při výtoku způsobeném pouze tíhou kapaliny je podle rov. (VII-52) $v = \sqrt{2hg}$ a síla pak je:

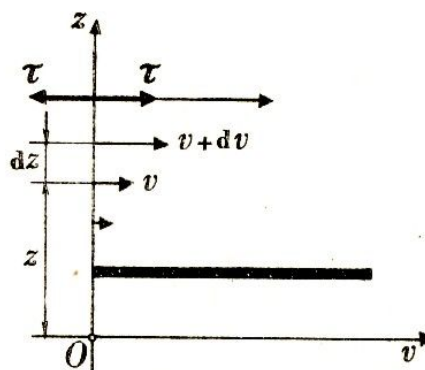
$$F' = 2\alpha Sh\rho g. \quad (\text{VII-58})$$

Nehledíme-li na zúžení vytékajícího paprsku, je reakční tlak dvakrát větší, ovšem opačného směru než tlak hydrostatický, který by působil na plochu otvoru S , kdyby byl otvor uzavřen a kapalina v klidu; h je hloubka otvoru pod hladinou.

Z popsaného pokusu s nádobou na vozíku je zřejmé, že kapaliny vytékající postranním otvorem z nádoby působí na nádobu silou, která má směr opačně orientovaný, než je směr rychlosti výtokového paprsku. Uvedený pohyb, často nazývaný *pohybem reakčním*, demonstrujeme pokusy na reakční tlak známými ze střední školy nebo *Segnerovým kolem*. Segnerovo kolo představuje vlastně princip reakční turbíny; mění se v ní potenciální tlaková energie vodního sloupce v pohybovou energii vody, která vytéká otvory v ramenech. Kolo se otáčí opačným směrem, než vytéká voda. Reakční tlak se využívá k samočinnému kropení zahrad rotující proudnicí.



VII-68. Proudění v zakřivené trubici



VII-69. Znázornění rychlosti jednotlivých vrstev kapaliny — vnitřní tření kapalin

Podobně působí reakčním tlakem plyny, které vytékají z nádoby. Má-li uzavřený plyn velké napětí, proudí otvorem velkou rychlostí a hybnost plynu vyteklého za 1 sekundu, a tím i reakční tlak, nabývá vysoké hodnoty (*rakety*). Pokusně je možno reakční tlak proudících plynů ukázat *Heronovou parní baňkou*. Reakce vytékajícího proudu plynu je též hybnou silou v raketách a v *reaktivních motorech*. Jsou to hlavně *tryskové (dýzové) motory*, které patří mezi spalovací motory a jež dělíme na *raketové* a *proudové* (viz str. 530).

Raketový pohon se používá v *raketových střelách*.

Seznam použitých symbolů:

ρ - měrná hmotnost
 v - rychlost kapaliny, obvodová rychlost
 P - výkon
 I - průtok
 F - síla, reakční síla
 g - gravitační zrychlení
 S - průřez, plocha
 h - relativní výška hladiny
 R - poloměr
 ω - úhlová rychlost

Reference:

- [1] Fyzika Alois Hlavička a kol.: Fyzika pro pedagogické fakulty, SPN Praha 1978
- [2] článek „Clemův motor vs. „zákon“ zachování energie“
- [3] další články na <http://free-energy.xf.cz> nebo <http://free-energy.webpark.cz>