

## Teplo vody a její pohybová energie

Datum: 11.6.2007 | Autor: Josip Kleczek

**V minulém díle jsme se seznámili s energií ve vztahu k vodě a skončili jsme popisem fotonů. Co mají společného s energií vody? Velmi mnoho, protože Slunce zahřívá všechnu vodu, pohání její koloběh, dává energii vlnám, řekám, mořským proudům. Bez fotonů by Země byla mrazivě ledovou, temnou a mrtvou planetou.**

alternativní  
**ENERGIE**

### Teplo vody

Jak dostává voda teplo od Slunce? Sluneční světlo je obrovský proud mnoha fotonů přinášejících ze Slunce energii. Molekula vody je elektrický dipól. U atomu kyslíku převažují záporné elektrony a u atomů vodíku kladné protony. Sluneční foton je kmitající elektrická síla, která při dopadu rozkmitá molekulu vody. Při této přeměně energie fotonu na pohybovou energii molekuly se uplatňuje elektromagnetická interakce. V běžném životě se takové přeměně energie fotonů v teplo říká absorpce (pohlcení) záření. Probíhá například v mikrovlnné troubě, i když kmity jsou v ní mnohem pomalejší než u slunečních fotonů. Takových přeměn slunečního záření na teplo vody probíhá každou sekundu nesmírně mnoho. Jen na plošce hladiny velké jako náš nehet se pohlí za sekundu asi trilion ( $10^{18}$ ) slunečních fotonů. Rychlejší pohyb molekul znamená větší pohybovou energii, čili vzrůst tepla a teploty vody.

Rozsáhlé hladiny tropických oceánů jsou přirozeným sběračem sluneční energie. V oceánech je uskladněno obrovské množství slunečního tepla. Teplota při hladině je 25-28 °C (tj. 298 až 301 K). Avšak v hloubkách kolem 400 m pod povrchem je pouze 5 °C (278 K). Rozdíl teplot mezi povrchovou a hlubinnou vodou lze využít k pohonu tepelných motorů. Připomeňme si, že v tepelném motoru přechází teplo z teplé látky do studené a přitom se částečně přemění v pohybovou energii. Ve velkém měřítku tuto přeměnu uskutečňuje OTEC (Oceanic Thermal Energy Conversion - přeměna tepelné energie oceánu).

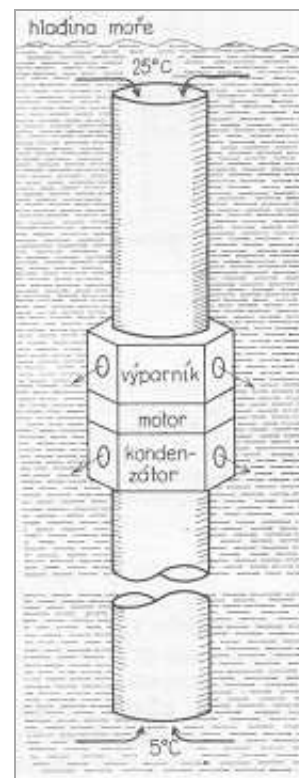
Rozdíl teplot v tropických oceánech však lze využít i k přímé **přeměně tepla v elektřinu** a to zařízením nazývaným termočlánek<sup>2</sup>.

Průměrná teplota Země je asi 18 °C. Kdyby Slunce nesvítilo, její teplota by byla minus 263 °C. Kdyby vodu neohřívala ani radioaktivita Země, teplota by byla ještě nižší - minus 270 °C. Země by byla kosmický zkřehlík (-270 °C je teplota vesmírného prostoru, jak vyplývá z mikrovlnného měření).

### Gravitační energie vody<sup>3</sup>

Gravitační energií rozumíme polohovou energii v gravitačním poli Země. Je to energie té vody, která byla vyzvednuta do výšky nad mořskou hladinu. Značná část sluneční energie dopadající na rozsáhlé hladiny oceánů a moří se spotřebuje na zahřátí, vypařování a vynášení vypařených vodních molekul vysoko nad hladinu. Tam se molekuly shlukují do kapiček oblaků. Práce vložená do vyzvednutí vody představuje *gravitační energii oblaků*. Říká se jí **potenciální energie** (latinské slovo *potens* znamená schopný, možný), neboť může být přeměněna v **pohybovou energii** padajícího deště, řek a potoků.

V oběhu vody je mnoho energie, nejen pohybové ve vodních tocích, ale i gravitační - především v oblacích, ale také na horách a v přehradních nádržích. Voda v oblaku má velkou gravitační energii - tím větší, čím je výše a čím je jí v oblaku více. Jen malá část této energie se zachytí v přehradní nádrži. Zhruba procento. V nádrži má voda větší gravitační energii než v řece pod přehradou. Tento rozdíl gravitační energie využívá **vodní elektrárna** k pohonu



Obr. 1 OTEC - tepelný motor využívající teplo hladiny oceánu<sup>1</sup>

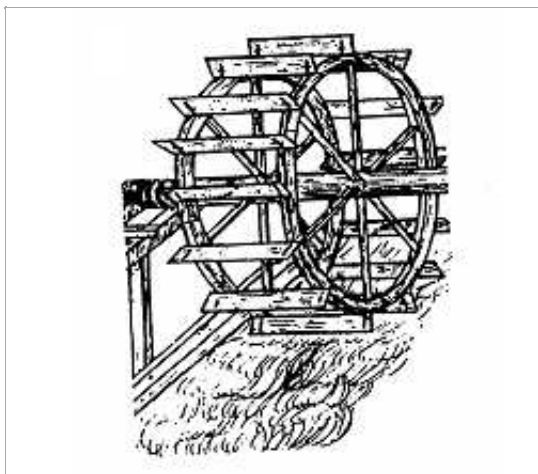
turbíny spojené s generátorem elektrického proudu.

Odhadněme, jak velká je gravitační energie, kterou do oblaku vložilo Slunce. Velký oblak může obsahovat až tři sta tisíc tun vody (tj.  $3 \cdot 10^8$  kg). Průměrná výška, ve které se nacházejí velké oblaky, je kolem 4000 metrů. Na zvednutí 1 kg do výšky jednoho decimetru je třeba vynaložit energii 1 joule (J). Zvednout 1 kg do výšky 1 metru znamená práci 10 joulů. To znamená, že Slunce vykonalo práci  $3 \cdot 10^8 \times 4000 \times 10$  joulů, aby vyneslo vodní páru od hladiny oceánu až do oblaku. To je energie  $12 \cdot 10^{12}$  joulů. Joule je wattsekunda, takže polohová energie velkého oblaku je přes tři miliony kilowatthodin. Jen malá část této gravitační energie se zachytí v přehradní nádrži, a to tím větší, čím je hladina vody za přehradou vyšší a čím má větší objem. Elektřina z vodní elektrárny je tedy slunečního původu.

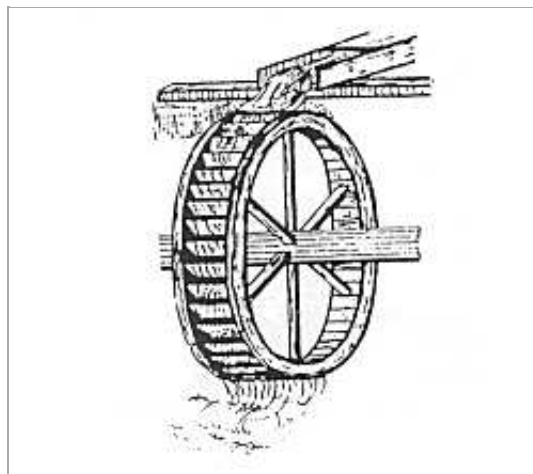
### Pohybová energie vody (řeky, potoky, vlny, přílivy, příboj, tsunami)

Sluneční energie je do vody uskladněna nejen jako teplo a potenciální (gravitační) energie (v oblacích, přehradních nádržích), ale i jako pohybová energie<sup>4</sup> (ve srážkách, v řekách, vodopádech, oceánech). Jen do řek je nepřetržitě vkládáno asi 9 TW sluneční energie. Pohybovou energii řekám a potokům dodává koloběh vody. Jsou to články v řetězci přeměn ve vodním oběhu.

*Energie řek a potoků.* Pohybovou energii tekoucí vody využívaly již nejstarší civilizace. Pomocí vodních kol zavlážovali lidé svá pole několik století před Kristem. K mletí obilí sloužila energie řek už v 1. století před Kristem.



Obr. 2 Kolo na spodní vodu přenáší na hřídel pohybovou energii proudící vody

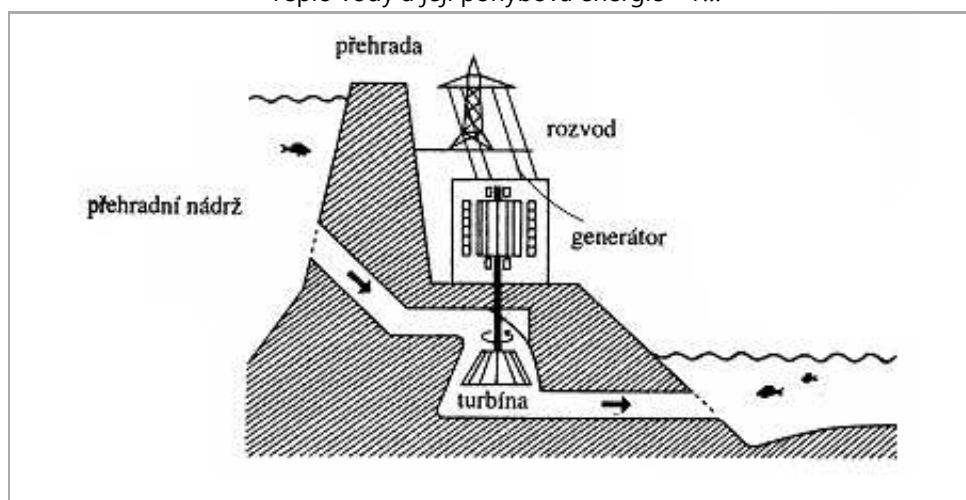


Obr. 3 Kolo na horní vodu přenáší na hřídel pohybovou i potenciální (gravitační) energii vody

Vodní kola se k pohonu mlýnů užívají někde dodnes. Naši předkové využívali pohybovou energii řek a potoků k pohonu mlýnů, pil a hamrů. K mnohem intenzivnějšímu využití pohybové energie však došlo, když ji bylo možno ve vodních elektrárnách přeměnit na elektrický proud. Vodní kola byla nahrazena různými typem turbín (Francisova, Peltonova, Kaplanova, Bánkiho).

Na místech dřívějších mlýnů jsou dnes leckde *malé vodní elektrárny (MVE - z dnešního pohledu do výkonu 10 MW)*. Z hlediska ekologického, estetického i bezpečnostního je to nejvýhodnější využití energie vody. Taková vodní díla naši předkové budovali uváženě, aby co nejlépe využili místní krajinu. Je výhodnější obnovit vodní dílo staré, než budovat od základu nové. Přitom se mlýnské kolo zpravidla nahrazuje výkonnější turbínou. Po druhé světové válce u nás bylo více než 11 tisíc malých vodních elektráren, které zčásti zanikly.

*Vodní elektrárna* (hydroelektrárna) je stavba u hráze nebo přehrad. Energie vody se ve vodní elektrárně mění v energii elektrickou. Nejprve se proud pouští na vodní turbínu. Pohybová energie vodního proudu se mění v otáčivou pohybovou energii turbíny. Na společné hřídeli s turbínou je generátor, který mění otáčivou pohybovou energii na energii elektrickou. Vodní elektrárny s výkonem přes 10 MW se považují za velké.



Obr. 4 Schéma přehradní elektrárny

Největší vodní elektrárna na světě byla Itaipú na řece Paraná (mezi Brazílií a Paraguayí). Jejích 18 turbín dává výkon 14 000 MW. V roce 1995 pokryla Itaipú 25 % energetické spotřeby v Brazílii a 78 % v Paraguayi.

Čína buduje největší přehradu ve světě vůbec. Velikost tohoto díla na řece Jang-c'-ťiang - nazvaného San-Sia (Tři soutěsky) - je srovnávána s Velkou čínskou zdí. Čína tak uskutečňuje sen několika generací od dob prvního demokratického prezidenta, lékaře Sunjatsena (1912). Tání sněhu a ledů v Tibetu a monzunové deště způsobovaly kolísání hladiny této řeky až o 40 metrů. Tato největší přehrada na světě, 185 m vysoká (po naplnění 170 m hluboká a 600 km dlouhá), bude bránit katastrofálním záplavám a dodávat 17 000 MW do sítě střední Číny.

V Evropě je největší vodní elektrárnou Vianden (v Lucembursku), jejíž výkon je 900 MW. Naše velké vodní elektrárny jsou majetkem ČEZ (tj. Českých energetických závodů). Je u nás ale mnoho malých vodních elektráren, které vyrobenou elektřinu jednak užívají pro svou potřebu, jednak ji dodávají do sítě.

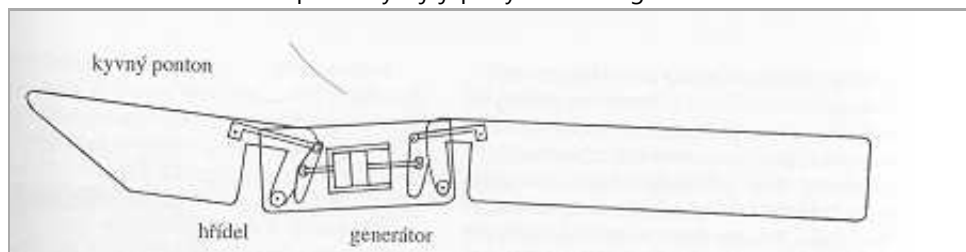
Za jeden rok voží Slunce do pohybové energie vod stékajících z pevnin do moře celkem 150 TJ za rok (TJ je trilion Joulů). To znamená výkon všech stékajících vod kolem 5 TW (= 5 000 000 MW). Část této pohybové energie se mění třením o dno a břehy v teplo, část je rozptýlena v malých nevyužitelných potůčcích a část je nevyužitelná z ekologických důvodů. Hrubý odhad odborníků ukazuje, že z existující pohybové energie je využitelná jen polovina. Z ní se využívá jen čtvrtina, a to především ve vyspělých zemích. Za rok se využije pouze 20 TJ pohybové energie řek a potoků.

### Pohyb vody v mořích a oceánech

Voda v mořích a oceánech je v neustálém pohybu. Obsahuje proto (vedle tepelné energie, o níž jsme hovořili) obrovské množství pohybové energie. Je to nevyčerpatelný zdroj čisté energie, která pozvolna začíná nahrazovat drahá fosilní paliva (ropu, uhlí, zemní plyn).

Pohybovou energii moří a oceánů můžeme roztřídit do pěti druhů:

*Mořské vlny* jsou tvořeny větrem a mohou být vysoké několik metrů a dlouhé desítky metrů. Vlny na otevřeném moři běží po hladině a unášejí velkou energii, kterou lze využít ve vlnové elektrárně. Jeden ze způsobů přeměny energie vln v elektrickou energii se nazývá "kývavé kachny". Jsou to velké plováky navesené na hřídeli, kolem níž se kývají. Jejich kývavý pohyb pohání generátor elektřiny. Největší zatím vybudovaná vlnová elektrárna je u malého britského ostrova a má výkon 500 kW.



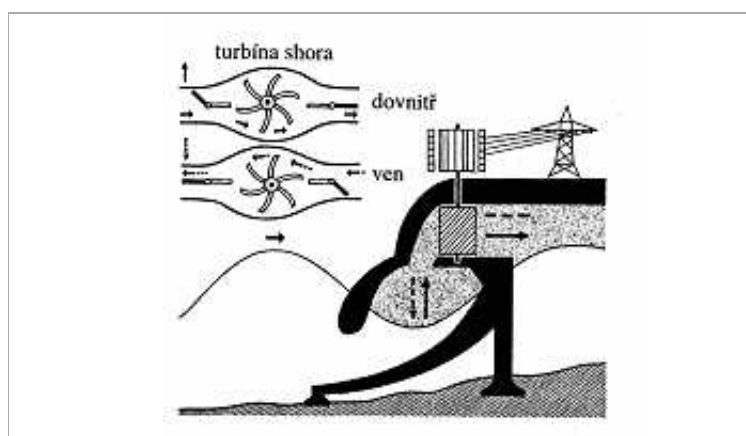
Obr. 5 Kývavá kachna převádí pohybovou energii vln na elektrický proud

**Příboj** je silný náraz vlny na skalnatý břeh (úskalní příboj) nebo na ploché pobřeží (pobřežní příboj). Vlny v příboji se lámou a kácejí se zpět. Při rozbouřeném moři dosahuje příboj na skalnatém břehu výšky 30-50 m. Energie příboje se využívá k výrobě elektřiny. Takové elektrárny se říká příbojová. Je jich několik různých druhů a energetici zkoušejí, která pracuje nejlépe.

**Příbojová elektrárna.** Stoupající a padající příboj působí jako píst. Toho se v elektrárně využívá k pohonu vzduchové turbíny. V uzavřené betonové dutině u břehu příboj střídavě stlačuje a nasává vzduch. Vzduch vytlačovaný stoupající hladinou působí na polovinu turbíny a točí jí jedním směrem. Při poklesu příboje je vzduch nasáván přes druhou polovinu turbíny - a točí jí stejným směrem. Takový druh příbojové elektrárny je na pobřeží Bengálského zálivu (u Madrásu) v Indii, kde jsou obvykle velmi dlouhé a vysoké vlny. Výkon této zkušební elektrárny je 150 kW.

**Slapy** jsou pohyby moří způsobené měsíční přitažlivostí a rotací Země. Měsíc přitahuje Zemi a zvednutá hladina moří zůstává stále pod Měsícem, ale také nejdále od něj, tj. na straně Země odvrácené od Měsíce. Země se pod touto vzvednutou hladinou otáčí, takže na ní dochází k pravidelnému zvedání a klesání vod. Pod nejvyšší hladinou (přílivem) prochází určité místo po 12 hodinách a 25 minutách. Toto pravidelné kolísání nazýváme slapy. Těch 12 hodin odpovídá poloviční otočce Země vzhledem ke Slunci. Za oněch přidaných 25 minut odpovídá Měsíc, který se zatím na obloze posunul vzhledem ke Slunci o pět stupňů.

Všimněme si dobře - pohyb vody ve slapech jde na úkor **rotace Země**, tedy její otáčivé (tj. pohybové) energie. Rotace Země se proto zpomaluje (den se prodlouží zhruba o 1,5 až 2 tisícinny sekundy za století) a Měsíc dostává od Země energii a vzdaluje se od ní (asi o 4 cm za rok). Svou rotační energii Země zdědila při svém zrodu ze sluneční mlhoviny. Energie slapů je tedy velmi stará, jako sama Země. Na rozdíl od ní jsou ostatní tři druhy pohybové energie vody v mořích (tj. vlny, příboj a mořské proudy) přeměněné.



Obr. 6 Slapová elektrárna. Při přílivu voda protéká turbínou za hráz (plné šipky v horním levém náčrtku). Při odlivu voda vytéká ven do moře (čárkované šipky v druhém levém náčrtku).

**Slapová elektrárna** přeměňuje energii slapů na energii elektrickou. Slapové elektrárny se stavějí v úzké zátocce nebo v ústí řeky. Zátoka se přehradí hrází, v níž jsou propustě s turbínami a s generátory elektřiny. V moderních slapových elektrárnách pracují turbíny při přílivu i při odlivu (tedy při přítoku vody z moře do přehradní nádrže a při odtoku vody z přehradní nádrže do moře).

Výkon slapové elektrárny závisí na objemu přehrazené zátoky a na výšce přílivové vlny. Moderní slapová elektrárna byla uvedena do provozu v roce 1967 v Bretani u Saint-Malo. Ústí řeky Rance tam přehradili hrází dlouhou 750 m. V přehradě pracuje 24 turbín po dobu 2 200 hodin ročně. Připravuje se několik slapových elektráren, z nichž největší bude ve Velké Británii (Severn Estuary) s výkonem 7 200 MW.

Mořské proudy. Ve všech oceánech tečou mohutné proudy vody. Nejznámější je Golský proud, který přináší teplo od Mexického zálivu a otepluje Evropu. Ostatní mořské proudy jsou známy jen odborníkům. V mořských proudech je obsaženo obrovské množství **pohybové energie** a v poslední době se uvažuje o jejím využití (tj. o přeměně v energii elektrickou).

*Tsunami.* Od vln, které pravidelně a pozvolna přicházejí ke břehu, se tsunami podstatně liší. Především má jiný zdroj energie. Energii vlnám dodává vítr, takže bez větru je hladina klidná. Vlny od větru jsou jen povrchovým a neškodným jevem. Zatímco vlny hnané větrem jsou i v otevřeném oceánu jen povrchovou poruchou hladiny, tsunami zasahuje vodní masu od hladiny až ke dnu.

---

<sup>1</sup> *Teplá povrchová voda zahřívá výparník, kdežto studená hlubinná voda ochlazuje kondenzátor. Při přenosu tepla obsaženého v  $1 \text{ m}^3$  (tj. 1000 kg) teplé vody (řekněme  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) do studené ( $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) projde motorem  $1000 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 20 \text{ K} = 20\,000 \text{ kcal}$ , což je  $84\,000 \text{ kJ}$ .  $\text{J} = \text{Ws}$ ,  $\text{kJ} = \text{kWs}$ , takže  $84\,000 \text{ kJ} = 23 \text{ kWh}$ . To je velká tepelná energie, která je k dispozici v každém  $1 \text{ m}^3$  vody na povrchu oceánu. Jakou část z ní lze přeměnit na pohon motoru? Čili jaká je účinnost oceánského motoru? Ta závisí na rozdílu teplot ( $20 \text{ K}$ ) a teplotě vody při hladině ( $298 \text{ K}$ ). V ideálním (ale nedosažitelném) případě je účinnost oceánského motoru  $20 \text{ K}/298 \text{ K} = 0,06$ , tedy 6 %. Skutečná účinnost bude značně menší, neboť se nepřevěde všechno teplo z  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $= 298 \text{ K}$ ) na  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $= 278 \text{ K}$ ) a na čerpání teple a studené vody do motoru se spotřebuje část získané energie.*

<sup>2</sup> **Termočlánek** - spojení konců dvou různých vodičů. Je-li na obou koncích různá teplota, oběma vodiči teče elektrický proud. Užívá se jako zdroj elektřiny na kosmických sondách (např. Cassini), přičemž zdrojem tepla je radioaktivní rozpad (plutonia).

<sup>3</sup> **Polohová** (čili potenciální) **energie**: energie, kterou má těleso jako důsledek své polohy v silovém poli, to je v prostoru, kde působí síla. Například vůz na kopci, voda v přehradní nádrži či oblak v atmosféře mají potenciální gravitační energii.

<sup>4</sup> **Pohybová energie** (kinetická energie) je energie přidaná ke klidové energii  $E_0$ . Podle speciální teorie relativity pohyb zvětšuje klidovou hmotnost  $m_0$ . Těleso, elementární částice nebo látka (voda) má při rychlosti  $v$  hmotnost  $m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Rozdíl  $m - m_0$  je pohybová energie. Při malých rychlostech je pohybová energie  $1/2 m_0 v^2$ , tedy známý výraz ze školy. Teplo vody je pohybová energie jejích molekul.