

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití přílivu a odlivu moře k výrobě elektřiny

vedoucí práce: Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D.

2012

autor: Jan Zdrahal

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na využití přílivu a odlivu moře k výrobě elektřiny. Dále se zabývá příklady realizovaných děl jednotlivých přílivových elektráren a jejich výhodami či nevýhodami. V práci jsou také uvedeny plánované budoucí projekty.

Klíčová slova

Slapové jevy, příliv, odliv, přílivový proud, přílivová elektrárna, axiální turbína

Abstract

The present bachelor's thesis is focused on the use of sea tides to generate electricity. It also deals with examples of the works of various tidal power stations and their advantages and disadvantages. In the thesis are also listed the planned future projects.

Key words

Tidal forces, flood, ebb, tidal stream, tidal power station, axial turbine

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 29.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavle Hejtmánkové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 HISTORIE PŘÍLIVOVÝCH ELEKTRÁREN	9
2 SLAPOVÉ JEVY	10
2.1 VZNIK PŘÍLIVU A ODLIVU MOŘE	11
2.1.1 <i>Vlivy měsíce</i>	11
2.1.2 <i>Vlivy slunce</i>	14
2.1.3 <i>Měsíční přílivový cyklus</i>	14
2.2 SLAPOVÉ PROUDY	15
3 METODY GENEROVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	16
3.1 PŘÍLIVOVÁ PŘEHRADNÍ ELEKTRÁRNA	16
3.1.1 <i>Přílivová výroba elektřiny</i>	20
3.1.2 <i>Odlivová výroba elektřiny</i>	21
3.1.3 <i>Oboustranná výroba elektřiny</i>	23
3.1.4 <i>Výpočet získaného elektrického výkonu</i>	24
3.1.5 <i>Dopad na životní prostředí</i>	24
3.1.6 <i>Ekonomické aspekty</i>	25
3.1.7 <i>Příklady přílivových přehradních elektráren</i>	25
3.2 PŘÍLIVOVÉ TURBÍNY	28
3.2.1 <i>Typy upevnění přílivových turbín</i>	29
3.2.2 <i>Typy a příklady použití přílivových turbín</i>	31
3.2.3 <i>Dopady na životní prostředí</i>	35
3.2.4 <i>Výpočet výkonu přílivové turbíny</i>	35
3.3 PŘÍLIVOVÝ PLOT	35
3.4 OSCILAČNÍ ZAŘÍZENÍ	37
3.5 T-PŘEHRADA	38
3.6 PŘÍLIVOVÁ LAGUNA	39
ZÁVĚR	40
POUŽITÁ LITERATURA	41

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na možnosti využití přílivu a odlivu moře k výrobě elektřiny.

Text je rozdělen do tří částí, první se zabývá historií přílivových elektráren, druhá popisuje vznik mořské energie pomocí slapových jevů. Třetí část uvádí hlavní princip přílivových elektráren či turbín, jejich typy, několik realizovaných děl a plánované budoucí projekty.

Existuje mnoho známých možností, jak produkovat elektrickou energii z obnovitelných zdrojů, např. solární panely, větrné elektrárny, atd. Málo z nás ovšem ví, že síla moře představuje téměř nevyužitý zdroj čisté energie. Tu lze v některých částech světa využít a to díky přílivovým elektrárnám či turbínám.

Přestože není v současné době příliš využívána a v našich zeměpisných podmínkách nemá prakticky žádné možnosti využití, energie přílivu má veliký potenciál stát se v budoucnu důležitým světovým zdrojem elektrické energie. Příliv a odliv je mnohem lépe předvídatelný než větrná a solární energie. Hlavními nevýhodami energie přílivu, vzhledem k ostatním obnovitelným zdrojům, je její cena a omezený počet míst na planetě, kde ji můžeme efektivně využít. Nicméně rychlý technologický rozvoj a zlepšení jednotlivých součástí přílivových elektráren (např. nové axiální turbíny) ukazují, že celková dostupnost slapových sil může být mnohem větší, než se dříve předpokládalo, a že ekonomické a ekologické náklady mohou dosáhnout přijatelné úrovně. V posledních pár letech zaznamenal zájem o tento druh využití energie významný nárůst.

1 Historie přílivových elektráren

Důkazy o prvních skutečných stavbách, které využívali energii přílivu a odlivu, sahají až do starověku. Nejstarší důkazy o užívání této formy energie se datují zhruba do roku 900 našeho letopočtu, kdy lidé pomocí budování přehrad poblíž oceánu přeměňovali energii protékající vody na užitečnou energii. Toho bylo dosaženo přirozeným stoupáním a klesáním hladiny oceánu. Díky tomuto jevu bylo dosaženo výškovému rozdílu dvou různých vodních hladin a voda tak mohla protékat skrz vodní kolo, které bylo v přehradě umístěno. Tato vodní kola nebyla použita k výrobě elektřiny (v té době o ní ještě nevěděli), ale k výrobě mouky, tedy k mletí obilí a kukuřice. To ušetřilo zemědělcům hodně tvrdé a obtížné práce a posunulo zemědělský průmysl o důležitý krok vpřed. Je však velice pravděpodobné, že tento způsob přeměňování energie byl využíván již mnohem dříve.[6]

První skutečná přílivová elektrárna byla postavena v Anglii v hrabství Cheshire v roce 1913 a nesla jméno Dee Hydro Station. Tato elektrárna dosahovala výkonu 635kW. První moderní přílivová elektrárna byla postavena v roce 1966 poblíž St.Malo ve Francii na řece Rance v oblasti Bretaně. Tato elektrárna byla využívána po dlouhou dobu jako jediná až do roku 1982, kdy byla postavena další velká přílivová elektrárna v Annapolis Royale v Kanadě. V tomto typu elektrárny byla použita nová technologie turbín, tzv. Straflo turbína, kterou vynalezla švýcarská společnost Escher-Wyss. Ve světě bychom našli ještě pár menších přílivových elektráren, které byly průběhu posledních 60 let vybudovány, tyto elektrárny však neslouží pro komerční výrobu elektřiny, ale jen ke specifickému účelu. Například malá přílivová elektrárna na řece Tawe ve Walesu, která slouží k otevírání bran místního zdymadla. Největší přehradní přílivové elektrárny měly být postaveny v druhé polovině 20. století mezi Walesem a Anglií. Pokud by byl tento projekt úspěšný, experti odhadovali, že by měl pokrýt 12% z celkové spotřeby elektrické energie Spojeného království. Návrh byl opuštěn v roce 1987, a nebyl nikdy realizován vzhledem k ekonomickým problémům, protestům ze strany ochranářů životního prostředí a odporu místních obyvatel.[6][7][8]

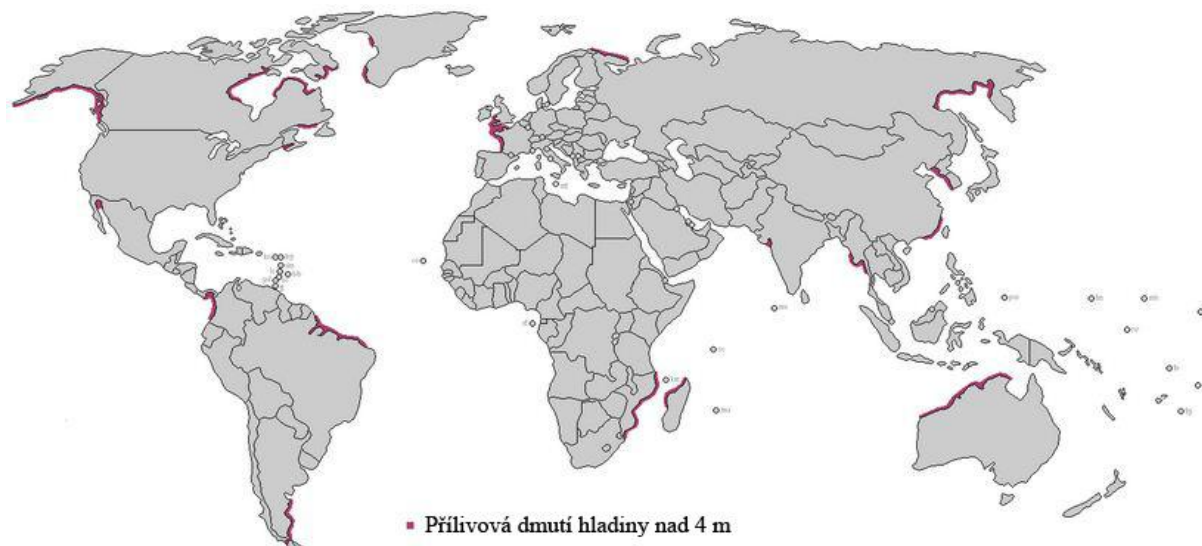
2 Slapové jevy

Lidstvo sleduje příliv a odliv už od dob, kdy začalo osidlovat pobřežní oblasti kontinentu. Nejstarší písemné záznamy o tomto jevu pochází z roku 450 před naším letopočtem, kdy první významný antický historik Hérodotos popsal tento jev ve své knize. I dávní mořeplavci věděli, že existuje nějaký vztah mezi přílivem a odlivem a cyklem Měsíce, jelikož se oba dva jevy podobným způsobem opakují. Avšak nejvýznamnějším objevitelem těchto jevů byl Isaac Newton, když formuloval obecný gravitační zákon.[1]

Vzájemné gravitační působení jednotlivých těles sluneční soustavy má vliv na rotaci a oběžný pohyb planet a měsíců, a zároveň na jejich periodické tvarové deformace, které se označují slapové jevy. Na zemském tělese jsou tyto jevy vyvolány gravitačním působením Měsíce a Slunce. Gravitační působení jiných planet je zanedbatelné. Zmíněným gravitačním působením na částice Země dochází v některých částech zemského tělesa k jejich zdvihů a hromadění (příliv), v jiných k jejich poklesu a úbytku (odliv). Tyto jevy tedy zapříčiňují pravidelné zdvihání a klesání mořské hladiny oproti průměrné výšce hladiny ve všech světových oceánech. Z tabulky Tab. 1.1 můžeme vyčíst místa na Zemi s nejvyššími rozdílnými výškami hladin. Na obrázku Obr. 2.1 je pak zobrazena mapa s místy na Zemi, kde dmутí hladin dosahuje více než 4 m. Tyto místa jsou vhodná pro instalaci přílivových elektráren.[1][2][3]

Země	Místo	Rozsah dmutí (m)
Kanada	záliv Fundy	16.2
Anglie	ústí řeky Severn	14.5
Francie	přístav v Ganville	14.7
Francie	ústí řeky La Rance	13.5
Argentina	Puerto Rio Gallegos	13.3
Rusko	záliv Mezen	10.1
Rusko	Penzhinskaya	13.1

Tab. 1.1 Místa na Zemi s největšími dmutími hladin [28]



Obr. 2.1 Mapa světa s dmutími hladin nad 4 m [33]

Při stoupání a klesání vodní hladiny se linie břehu zvolna posouvá směrem k pevnině a od pevniny. Téměř v každém přístavu se vzhledem k důležitosti slapových jevů vedou již několik set let podrobné záznamy o změnách hladiny.[1][2][3]

2.1 Vznik přílivu a odlivu moře

2.1.1 Vlivy měsíce

Gravitace a vzájemný pohyb Země, Slunce a Měsíce jsou hlavním důsledkem vzniku slapových jevů. Newtonova práce popisující síly, které v systému Země – Měsíc – Slunce působí, vedla k prvnímu pochopení projevů přílivu a odlivu. Pro porozumění jak slapové síly působí, je nejprve důležité si objasnit jak v systému Země – Měsíc působí gravitační a odstředivé síly na pozemská tělesa (působení Slunce v tuto chvíli zanedbáme). V 17. století poprvé Newton na základě analýzy pohybu Měsíce kolem Země, planet kolem Slunce a na základě znalosti Keplerových zákonů vyslovil gravitační teorii, kterou vyjádřil Newtonovým gravitačním zákonem.[2][3]

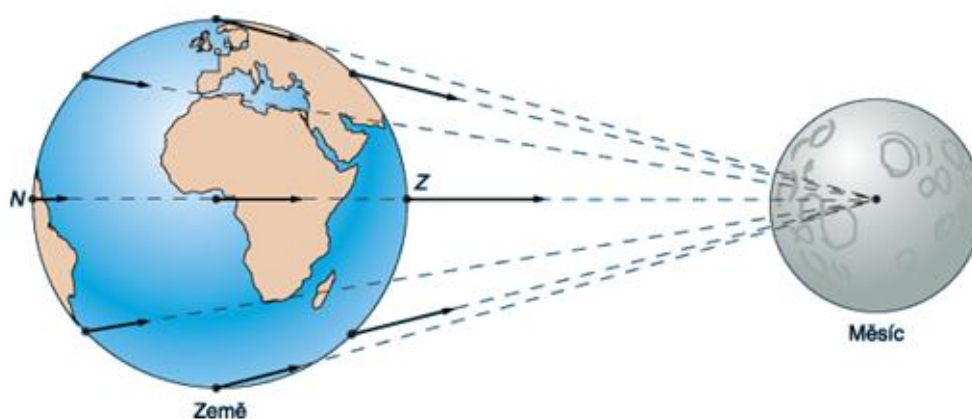
Každá dvě tělesa se vzájemně přitahují stejně velkými gravitačními silami opačného směru. Velikost gravitační síly F_g pro dvě stejnorodá tělesa tvaru koule je přímo úměrná součinu jejich hmotností m_1 a m_2 a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r jejich středů.[4] Platí tedy vztah:

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

kde:

κ [$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$]	-	gravitační konstanta ($\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)
m_1 [kg]	-	hmotnost jednoho tělesa
m_2 [kg]	-	hmotnost druhého tělesa
r [m]	-	vzájemná vzdálenost středů obou těles

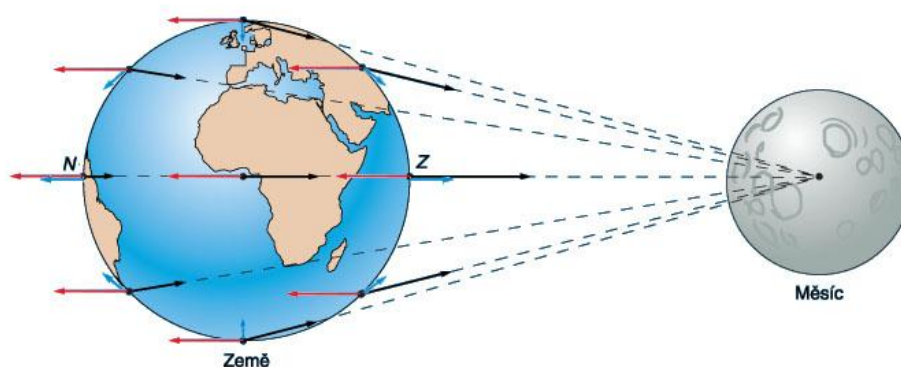
Pokud vzroste hmotnost jednoho či druhého tělesa, pak se zvětší i gravitační síla, kterou působí. Proto objekt, jako je třeba Slunce, které má velkou hmotnost, vytváří silné gravitační pole. Významným faktem také je, že pokud se jen trochu zvětší vzdálenost jednoho objektu od druhého, jejich gravitační přitažlivost se prudce sníží. Obrázek Obr. 2.2 znázorňuje, jak působí gravitační síly Měsíce na různá místa na Zemi, měnící se v závislosti na jejich vzdálenosti. Nejsilnější gravitační přitažlivost je v bodu Z, tzv. zenitu, který je k Měsíci nejbližší. Naopak nejslabší síly působí na místo, které je na opačné straně Země, tedy v bodě N, tzv. nadiru.[1]



Obr. 2.2 Gravitační síly měsíce, které působí na Zemi (převzato z [3])

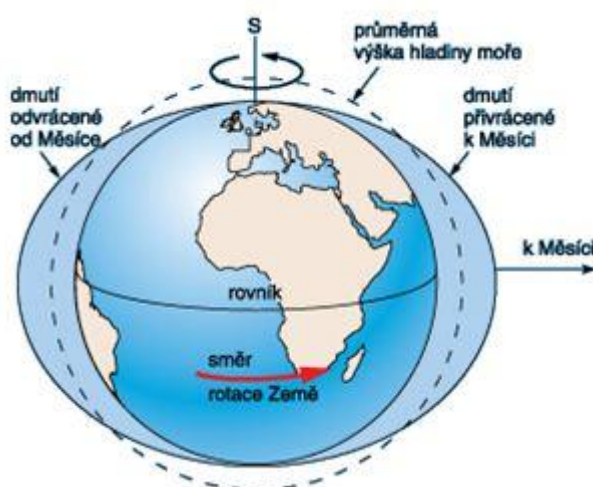
Pro pohyb však není důležitá jen samotná gravitační síla Měsíce. Protože se oceán nachází na povrchu Země, musíme hledat jeho pohyb vůči Zemi. Hledáme tedy síly, které

působí na vyznačené body oceánu, které jsou zobrazeny na obrázku Obr. 2.3 červenými šipkami. Ke všem bodům musíme tedy přičíst ještě sílu, která vzniká tím, že se oceán v kosmickém prostoru „veze“ na Zemi. Protože střed Země musí být sám vůči sobě v klidu, je tato síla rovna opačné síle, než kterou působí na vyznačenou část, pouze uprostřed Země. Stejnou sílu musíme přičíst ke všem vyznačeným bodům oceánu. Výslednou sílu, poté dostaneme vektorovým součtem dostředivé síly a gravitační síly Měsíce.[5]



Obr. 2.3 Výsledné slapové síly po vektorovém součtu gravitační síly a dostředivé síly [3]

Výsledné slapové síly způsobující příliv a odliv tlačí vodu do přílivových vln (tzv. dmutí hladiny). Jedna se nachází na straně orientované k Měsíci, kde hodnota gravitační síly je větší než síla odstředivá (Obr. 3). Zatímco na odvrácené straně od Měsíce přesahuje velikost síly odstředivé sílu gravitační. Ačkoliv jsou síly na obou stranách Země opačně orientované, výsledné síly mají stejnou velikost, takže i dmutí jsou si svojí velikostí rovna.[1]

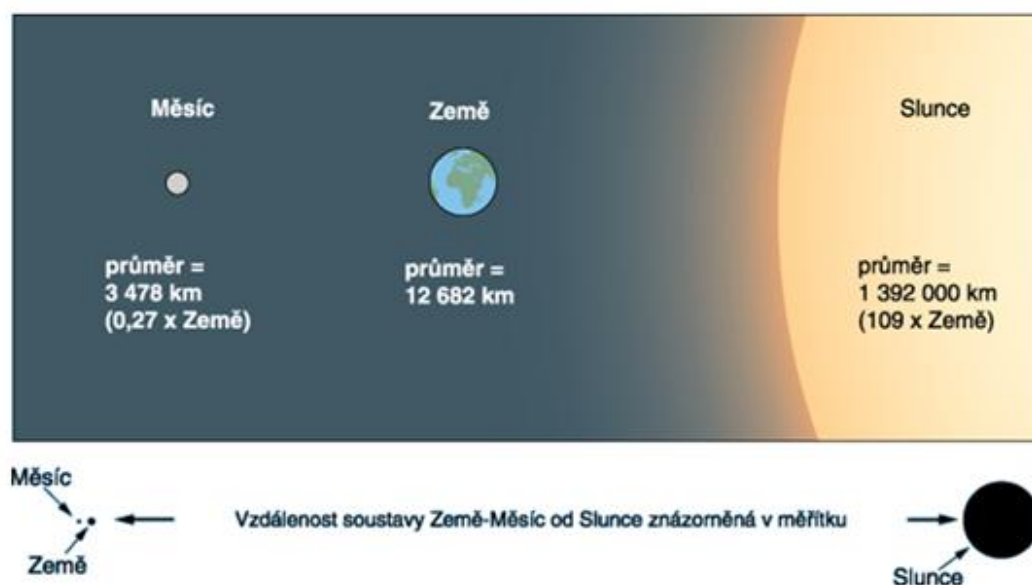


Obr. 2.4 Slapová dmutí (převzato z [3])

Na většině míst na Zemi se příliv a odliv střídá s periodou 12 hodin 25 minut. Tyto jevy totiž nejsou závislé na dni solárním, který zná každý z nás, ale na dni lunárním. Lunární den, je doba, za kterou Měsíc projde místním poledníkem do doby dalšího průchodu tímto poledníkem. Proto Lunární den trvá 24 hodin a 50 minut.[1]

2.1.2 Vlivy slunce

Stejnými silami, kterými Měsíc ovlivňuje příliv a odliv za Zemi, ovlivňuje tyto jevy i Slunce. Jedno dmutí je tedy opět orientováno směrem ke Slunci a druhé je orientováno opačně. Přestože je Slunce mnohem hmotnější než Měsíc, je od Země vzdálenější a proto jsou tyto síly o více než polovinu menší než síly způsobené měsícem, viz obrázek Obr. 2.5. Dosahují pouze 46% jejich hodnoty. Měsíc má teda daleko větší vliv na příliv a odliv než Slunce.[1][2]

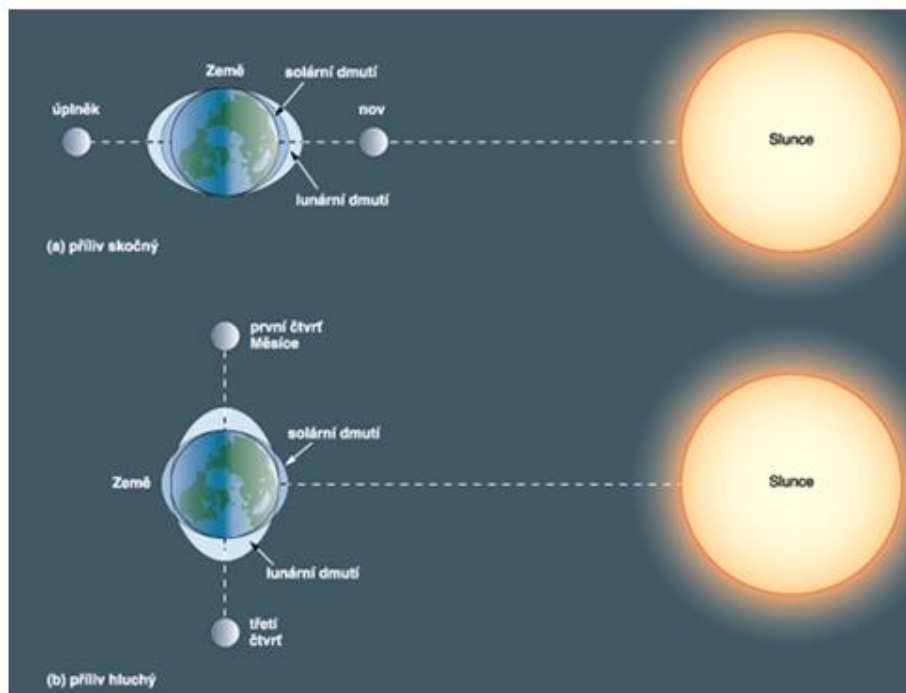


Obr. 2.5 Poměrná velikost a vzdálenost Měsíce, Země a Slunce, velikosti těles jsou v měřítku (převzato z [3])

2.1.3 Měsíční přílivový cyklus

Doba, za kterou Měsíc jednou oběhne Zemi, se nazývá měsíční přílivový cyklus (zvaný lunární cyklus). Během tohoto cyklu, který trvá 29½ dne, se mění fáze Měsíce a s ním i výška přílivu a odlivu. Pokud se Měsíc nachází mezi Sluncem a Zemí (nov – Měsíc je v konjunkci se Sluncem) nebo leží Země mezi Sluncem a Měsícem (úplněk – Měsíc je se Sluncem v opozici), síly způsobující příliv a odliv se sečtou. V tomto případě nastává tzv. skočný příliv.[2][1]

Pokud naopak Slunce, Země a Měsíc svírají pravý úhel, slapové síly se částečně vruší a nastává hluchý příliv. Rozdíl výšek hladin přílivu a odlivu je malý (nižší příliv a vyšší odliv). Doba mezi skočným a hluchým přílivem je čtvrtina lunárního cyklu, tedy přibližně jeden týden. Obrázek Obr. 2.6 znázorňuje jednotlivé polohy Země, Slunce a Měsíce během jednoho lunárního cyklu. Horní případ znázorňuje polohu Měsíce v tzv. novu neboli úplňku. Zde je výška dmutí maximální a nastává skočný příliv. Dole je naopak zobrazen příliv hluchý, kdy je výška přílivu minimální. Slunce s Měsícem zde svírají úhel 90 stupňů.[1][2]



Obr. 2.6 Měsíční přílivový cyklus (převzato z [3])

2.2 Slapové proudy

Pokud bychom pozorovali moře během působení slapových jevů, zdálo by se nám, že příliv žene vodu směrem k pevnině. Tento jev se nazývá přílivový proud. Naopak pokud nastává odliv, tento proud se mění na odlivový proud a opět by se nám zdálo, že moře přitahuje vodu zpět. Těmto proudům spojeným s přílivem a odlivem říkáme obecně výčasové proudy a jsou hlavním zdrojem energie pro přílivové elektrárny vrtulového typu. Silnější proudy bývají při odlivu, kdy mohou dosáhnout rychlosti až 22 km/h a v některých případech ohrozit lodní dopravu.[1][2]

Ke střídání přílivu a odlivu tedy dochází v důsledku rotace Země a jejího kapalného obalu (oceánu), který je pod vlivem slapových sil a je neustále vzdouván v místech nejbližších a nejvzdálenějších příslušnému tělesu.[1]

3 Metody generování elektrické energie

Metody generování elektrické energie lze rozdělit na několik typů technologií, které využívají přílivu a odlivu k výrobě elektrické energie. Patří mezi ně přehradní přílivové elektrárny, přílivové turbíny několika typů, přílivový plot, oscilační zařízení a přílivová laguna.

3.1 Přílivová přehradní elektrárna

Gravitační účinky Slunce a Měsíce na oceán jsou výsledkem pohybu obrovského množství vody směrem k nejbližšímu pobřeží a vede k nárůstu hladiny moře v těchto místech. Na otevřeném moři je tento nárůst velice malý, protože je zde velká plocha s hlubokým dnem. Jak se voda oceánu pohybuje blíže k pobřeží, hladina vody výrazně stoupá. Tento efekt pozorujeme zejména kolem zátok a ústí řek, kde voda vtéká do moře díky strmě se zvyšujícímu mořskému dnu a zužování vody do ústí řek, lagun a zátok. Výsledkem je pravidelné zvyšování hladiny moře na těchto místech až o několik metrů každý den.[15][9]

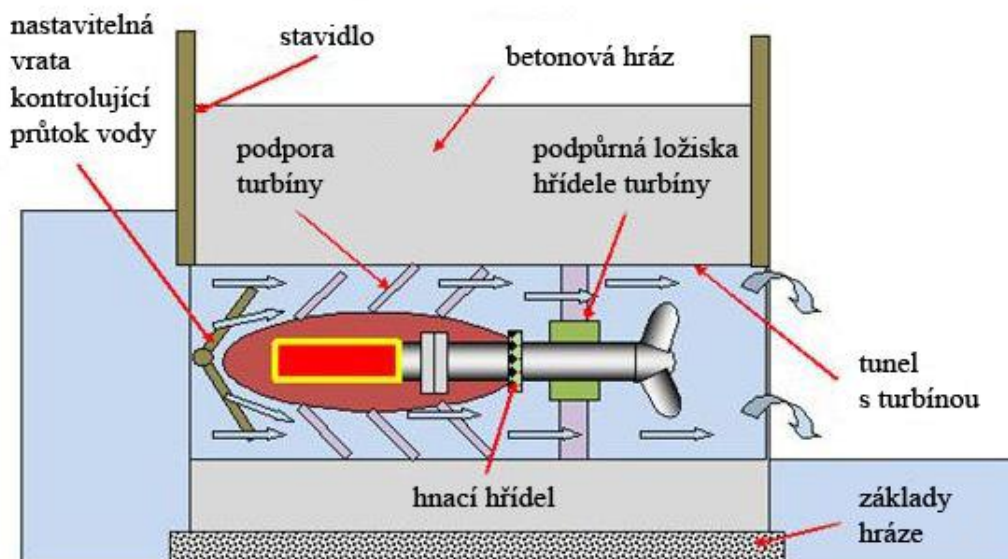
Přílivová přehradní elektrárna je forma mořské energie z obnovitelných zdrojů, která využívá dlouhé zdi, přehrady a stavidla k zachycení a uložení energie oceánu. Tato metoda generování elektrické energie zahrnuje vybudování betonové zdi, známou jako přílivová hráz, která zabrání průchodu vody z jedné strany na druhou a vytvoří tedy uzavřenou přílivovou nádrž. Způsob získávání elektrické energie je v mnoha ohledech podobný, jako to je u klasické vodní elektrárny. Dochází zde k získávání energie vodního toku. Tu můžeme definovat jako energii polohovou, kinetickou a tlakovou. Přeměnu energie vodního toku na elektrickou energii provádíme pomocí vodních motorů. Vodní motor zajišťuje změnu energie vodního toku na mechanický rotační pohyb. Poté díky vzniku točivého magnetického pole se mění energie rotačního pohybu na energii elektrickou. Hodnotu získané energie ovlivňuje také spád a průtok vodním dílem. Spád vyjadřuje rozdíl hladin před a za přílivovou hrází. Průtok vodním dílem udává množství protékající vody v m^3 za sekundu. [15][9][29]

Dno přehradní hráze se nachází na mořském dně a horní část hráze musí být vyšší než maximální výška hladiny při skočném přílivu, tedy při maximální výšce hladiny vody. Hráz má několik podmořských tunelů vytvořených po celé její šířce, díky kterým může voda skrz ni proudit kontrolovaným způsobem. To je umožněno stavidly umístěnými na vstupních a výstupních místech tunelů. Stavidla jsou ovládána v klíčových okamžicích během přílivového a odlivového cyklu a proto musí být měřeno přílivové a odlivové proudění vody. Uvnitř tunelů jsou umístěny obrovské přílivové turbogenerátory. Ty se točí díky proudění vody skrz tunely.

Existuje několik současných konstrukcí vodních turbín vhodných pro přílivové přehradní elektrárny pro generaci výkonu. [15][9]

Turbína žárovkového typu

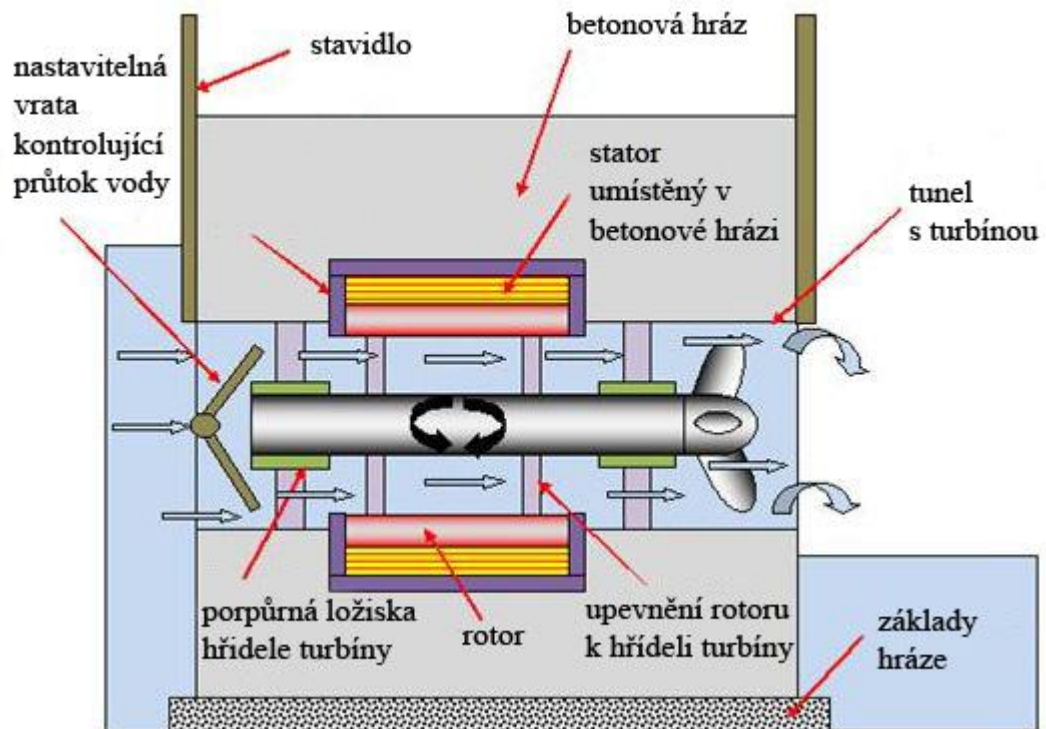
Toto je typ vodní turbíny, kterou využívá přehradní elektrárna v La Rance ve Francii. Turbogenerátor leží vodorovně v tunelu operující kompletně obklopen vodou. Výkonový generátor je uložen uvnitř voděodolném prostoru v přední části turbíny neboli žárovky, jejíž tvar je určen ke zvýšení průtoku vody a tím k pohonu vrtule umístěné v zadní části turbíny. Turbína a generátor jsou schopné reverzace, aby mohly působit jako pumpa při přečerpávání další mořské vody dovnitř nádrže. Hlavní nevýhodou žárovkové turbíny je, že voda okolo turbíny musí být při údržbě či opravě úplně vyčerpána. Výhodou však je její dlouhodobá životnost, která dosahuje zhruba 30 let plného provozu a je velice efektivní z hlediska prostoru, díky generátoru umístěnému uvnitř turbíny.[20][21]



Obr. 3.1 Turbína žárovkového typu [21]

Straflo-turbína

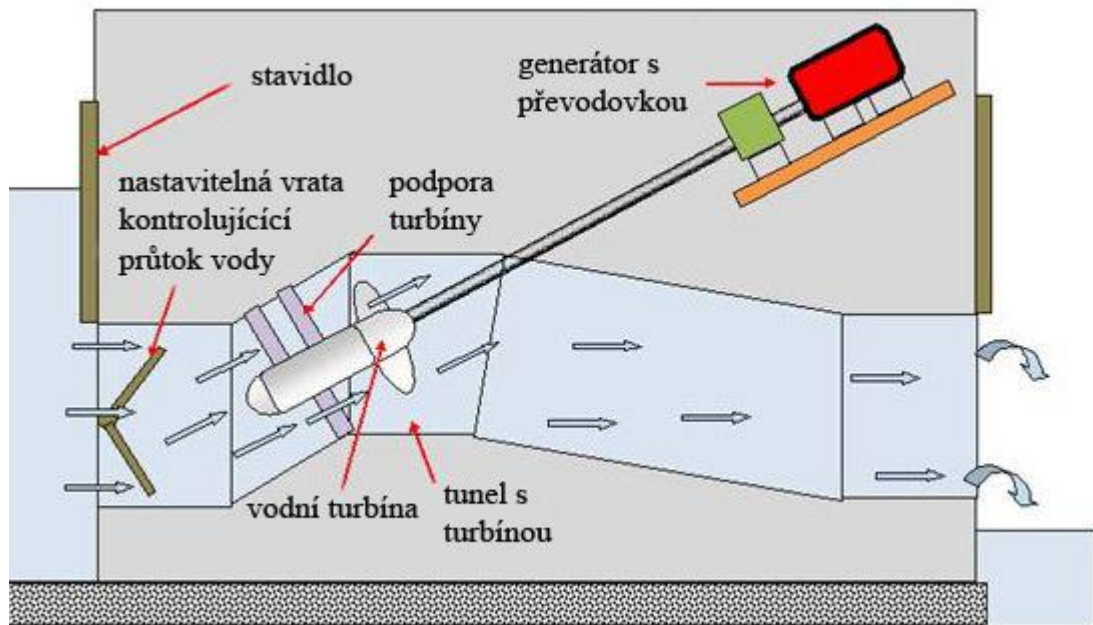
Nový typ turbíny nejdříve nebyl příliš účinný v důsledku zbytečného úniku vody, ale nedávná vylepšení z ní udělali mnohem spolehlivější typ přílivové přehradní turbíny. Jedna 20 MW turbína je v současné době využívána v přílivové přehradní elektrárně v Annapolis v Kanadě. V tomto typu turbíny je rotor generátoru umístěn podél jejích okrajů se statorem zasazeným do betonové části hráze. Rotor je chráněn proti nechtěnému vniknutí mořské vody hlavně vodními uzávěry. Turbína může fungovat pouze při odlivu a nemůže být použita pro přečerpávání vody do nádrže. Údržba může být prováděna při uzavření stavidel a odčerpání vody.[20][21]



Obr. 3.2 Straflo-turbína [21]

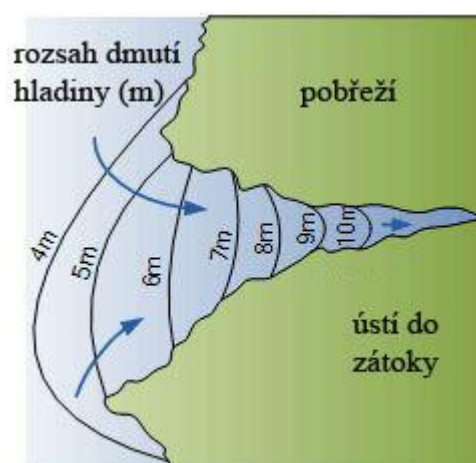
Potrubní turbína

Tato turbína je z poslední generace přílivových přehradních turbín. Má tři lopatkovou vrtuli, která je připevněna pod úhlem v potrubí. Hnací hřídel vyčnívá pod stejným úhlem jako poháněný generátor, který je umístěn nad hladinou vody v konkrétní části betonové hráze. Hlavní výhodou turbíny je, že listy vrtule mohou být pootočený, menší listy budou generovat méně energie při menší poptávce, zatímco větší zase více energie. To umožňuje turbíny provozovat efektivněji a generovat tak pouze potřebné množství energie bez nadměrného opotřebení. Nemůže však být použita v oboustranném režimu generování elektrické energie a ani není schopna přečerpávat vodu do nádrže.[20][21]



Obr. 3.3 Potrubní turbína [21]

Voda, která proudí dovnitř a ven z těchto podmořských tunelů s různými druhy turbín, nese obrovské množství kinetické energie a úkol přílivové hráze je získat co nejvíce této energie, zachytit ji a přeměnit ji na elektrickou. Výroba elektřiny z přílivu a odlivu pracuje na podobném principu jako vodní elektrárna. Zde však proudí voda ve dvou směrech a ne jen v jednom. Příliv a odliv je svislý pohyb vody, přílivová hráz využívá tento přirozený vzestup a pád pobřežních vod způsobený gravitační přitažlivostí Slunce a Měsíce.[20][21]



Obr. 3.4 Vliv proudění přílivu na stoupání hladiny vody v ústí zátoky [15]

Přilivový cyklus je vertikální rozdíl mezi maximální a minimální úrovní hladiny moře. Přilivová hráz využívá tohoto cyklu a vyrábí elektřinu. Tři hlavní přilivové hrázové systémy, které využívají tohoto rozdílu ke svému prospěchu, jsou:

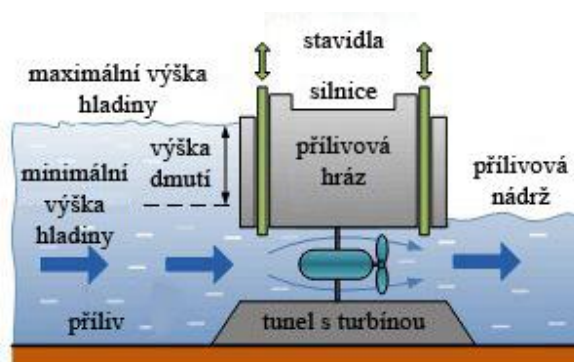
- přilivová výroba elektřiny
- odlivová výroba elektřiny
- oboustranná výroba elektřiny

Přilivové přehradní elektrárny patří k nejstarším metodám používaným při generování elektrické energie z přilivové energie s projekty vyvíjenými již v roce 1960, jako je například 1,7 MW elektrárna Kislaya Guba v Rusku. [9]

3.1.1 Přilivová výroba elektřiny

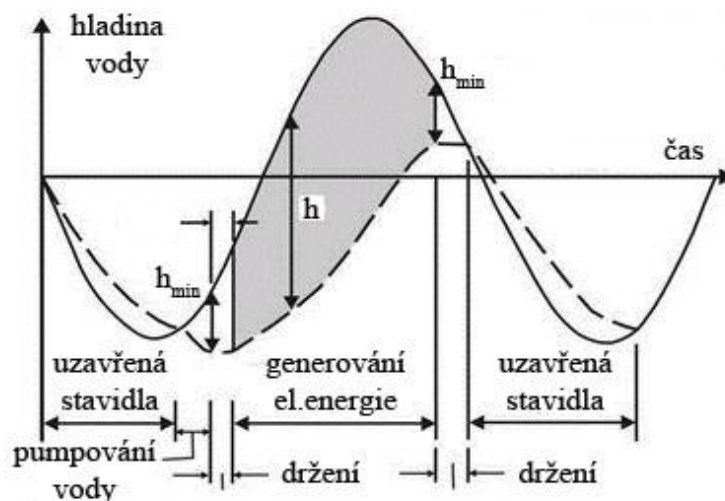
Přilivový systém generování elektřiny využívá energii při přichozím přílivu, protože se voda pohybuje směrem k pevnině. Přilivová nádrž je téměř prázdná a stavidla umístěná v hrázi jsou uzavřená, aby voda nemohla protékat dovnitř nádrže. Jak přichází příliv, zvedá se hladina vody na straně oceánu a díky uzavřeným stavidlům vzniká na obou stranách hráze rozdílné množství a tedy i výška hladiny vody.[15][9]

Stavidla na vnější straně hráze mohou být během cyklu úplně uzavřena a znovu otevřena až po dosažení maximální hladiny vody na konci přilivového cyklu pro generování maximálního množství elektrické energie nebo mohou být otevřena částečně během konání přílivu při dosažení dostatečně velkého spádu, kdy je nádrž naplňována mnohem pomaleji, a generovat tak méně energie, ale po delší dobu. Přilivová nádrž je tedy naplněna prostřednictvím tunelů s turbínami, kde se generuje elektrická přilivová energie. Poté je voda z nádrže vypouštěna skrz zdymadla zpět do oceánu. Přilivová výroba elektřiny je jednosměrný způsob přeměny kinetické energie na elektrickou a je omezen asi na 6 hodin přilivového cyklu.[15][9]



Obr. 3.5 Přilivové generování elektrické energie [15]

Pomalejší naplňování přílivové nádrže a tedy i slabší proudění vody skrze tunely přílivové hráze je z hlediska přírody mnohem přijatelnější. Lopatky turbín se totiž neotáčejí taky rychle a ryby a ostatní mořští živočichové mohou bezpečně proplouvat do nádrže. Jakmile je nádrž plná vody, mohou se do oceánu dostat opět pomocí otevřených stavidel, kterými je voda vypouštěna zpět do oceánu.[15][9]



Obr. 3.6 Průběh přílivového generování elektrické energie [41]

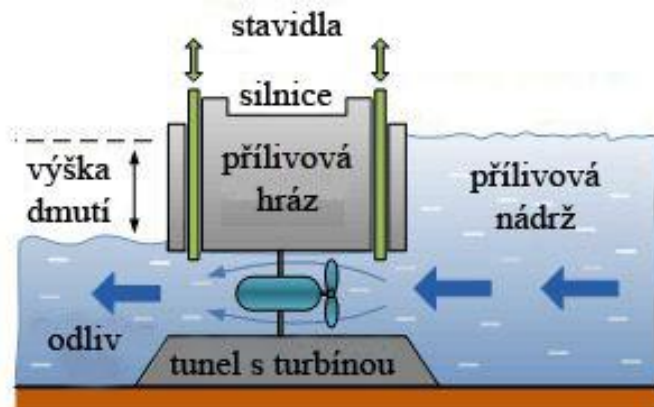
Generování elektrické energie díky přílivu je obecně méně efektivnější metoda, než vyrábět elektřinu pomocí odlivu tzv. „odlivovou výrobou elektřiny“. Je to proto, že kinetická energie obsažená v dolní polovině nádrže, kterou využívá přílivová výroba elektřiny, je mnohem menší než množství kinetické energie obsažené v horní polovině nádrže, kterou využívá odlivový způsob produkce elektrické energie. Vše je zapříčiněno účinky gravitace a sekundárním naplňováním nádrže povodím vnitrozemských řek a potoků.[15][9]

3.1.2 Odlivová výroba elektřiny

Odlivový způsob výroby elektřiny využívá energie odcházejícího neboli klesajícího přílivu. Voda se zde vrací do moře, takže je opakem předchozího přílivového systému. Při začátku přílivu, tedy minimální hladiny vody na straně oceánu, jsou všechna stavidla plně otevřena a voda tak může pomalu naplňovat přílivovou nádrž. Jakmile je dosaženo maximálního přílivu, stavidla se uzavřou. Hráz tak zadržuje získanou vodu. Přílivovou nádrž může nadále plnit voda z vnitrozemských řek a potoků. Turbíny v hrázi mohou být také poháněny přebytečnou energií ze sítě, a tím pumpovat další vodu z oceánu do nádrže, a zvýšit tak hladinu vody v nádrži až o jednotky metrů a poté generovat více elektrické energie v období špičky.[15][9]

Když hladina vody na straně oceánu klesne na dostatečnou úroveň při konání odlivu, vznikne mezi výškami hladin na straně oceánu a na straně k pevnině takový rozdíl, že může dojít k otevření tunelů a být spuštěn proces generování elektrické energie díky protékající vodě skrz turbíny.[15][9]

Ve chvíli kdy jsou stavidla otevřena a přílivová nádrž dosáhla maxima, začne zachycená potenciální energie vody proudit opět do oceánu za pomoci jak gravitační síly tak i díky obrovské váze vody uvnitř nádrže. Tento silný průtok vody proudící ven z nádrže způsobí roztočení turbín a okamžité generování elektrické energie. Produkování elektrické energie pokračuje až do chvíle, kdy je rozdíl mezi hladinami na opačných stranách hráze příliš malý na to, aby poháněl turbíny uvnitř tunelů. V tu chvíli jsou stavidla opět uzavřena, aby se zabránilo přílišnému vyčerpání množství vody z nádrže, a tak i ohrožení živočichů v nádrži. Jakmile dosáhne úroveň hladiny vody na straně oceánu dostatečné výšky, stavidla mohou být opět otevřena a je umožněno vodě protékat z oceánu do nádrže, a tím ji opět naplňovat a opakovat celý cyklus generování elektrické energie znovu.[15][9]



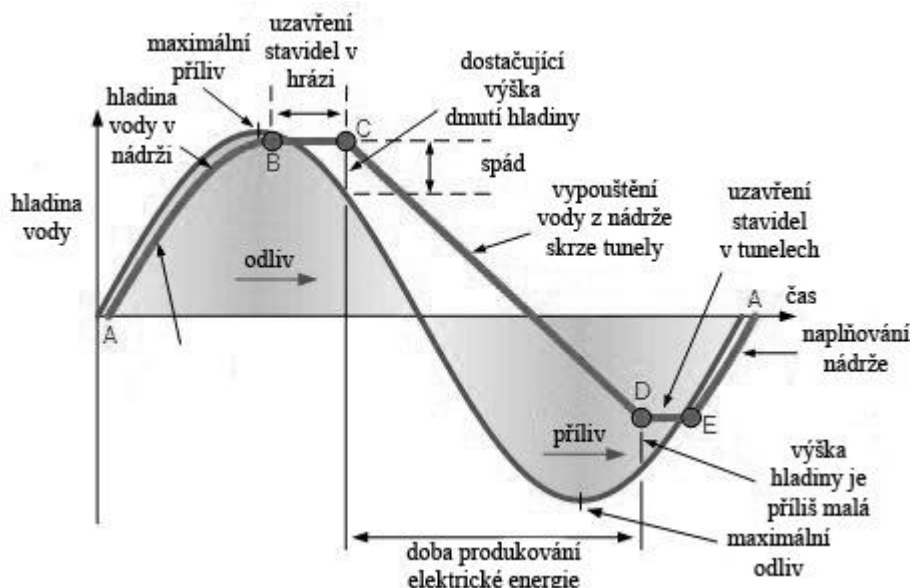
Obr. 3.7 Odlivové generování elektrické energie [15]

Generování elektrické energie v průběhu odlivového cyklu

Na níže uvedeném grafu můžeme vidět, že přílivová nádrž je naplňována mezi body A a B při přichozím přílivu. Jakmile je dosaženo maximálního přílivu, stavidla v hrázi se mezi body B - C uzavřou a voda dále přibývá jen z řek a potoků. Mezi body A - C nedochází tedy k žádné produkci elektrické energie. Při dostatečném rozdílu hladin, tedy dostatečně velkém spádu na obou stranách hráze, se mohou otevřít stavidla v tunelech a spustit proces generování elektrické energie, tomu odpovídá bod C. Přílivová nádrž se vypouští pomocí tunelů s turbínami až do bodu D, ve kterém je spád dvou rozdílných hladin příliš malý na to, aby poháněl turbíny. V tomto bodě jsou uzavřena stavidla.[15]

V bodě E dosáhne hladina moře opět dostatečné výšky pro naplňování nádrže a

stavidla v hrázi jsou znovu otevřena. Výroba elektřiny pomocí odlivu je jednosměrná metoda generování elektrické energie mezi body C – D.[15]

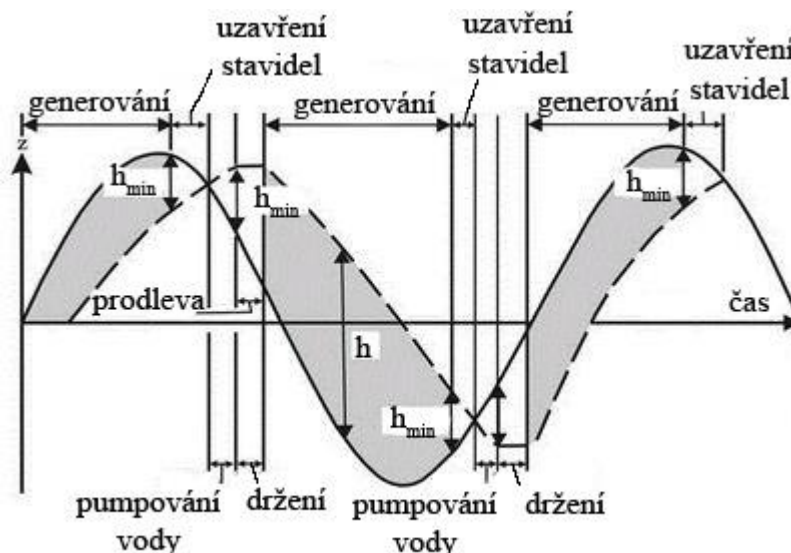


Obr. 3.8 Produkce elektrické energie v průběhu odlivu [15]

3.1.3 Oboustranná výroba elektřiny

V předchozích případech přílivového a odlivového generování elektrické energie dochází k využívání kinetické energie vody pouze v jednom směru, ale v zájmu prodloužení doby výroby elektřiny a zvýšení účinnosti této technologie můžeme použít speciální oboustranné turbíny, které produkují elektrickou energii v obou směrech, jak při přílivu tak při odlivu. Oboustranná výroba elektřiny vyžaduje mnohem přesnější ovládání stavidel, je potřeba stavidla držet uzavřená až do doby, dokud není spád hladin dostatečně velký pro pohon turbín. Voda proudí dovnitř i ven z nádrže stejnými tunely s turbínami. Tento tok vody způsobuje pohon turbín v obou směrech. Nicméně, tento obousměrný provoz je obecně méně efektivní než jednosměrný, kde je požadovaná výška spádu mnohem menší. To snižuje dobu produkce, která by jinak byla u jednosměrného provozu delší. Oboustranný režim produkce je také obecně dražší.[15][9]

Jedním ze způsobů, jak zlepšit provozní dobu a účinnost oboustranného systému, je používat jednosměrné přílivové turbíny obráceně podél hráze. Kontrolováním jejich vlastních stavidel může být jedna skupina turbín v provozu při přílivu a druhá při odlivu. Tato metoda samozřejmě zvyšuje celkový počet turbín umístěných podél hráze. Hlavní výhodou tohoto vylepšení je prodloužení doby generování elektrické energie.[15][9]



Obr. 3.9 Oboustranné generování elektrické energie [41]

3.1.4 Výpočet získaného elektrického výkonu

Hrubý odhad průměrného výkonu z přílivové přehradní elektrárny lze získat ze vzorce:

$$P = \frac{A\rho gh^2}{2T} \text{ [W]} \quad (3.1)$$

kde:

- A [m²] - plocha nádrže oddělená od moře uměle vytvořenou hrází
- ρ [kg/m³] - hustota mořské vody ($\rho = 1025$ [kg/m³])
- g [m/s²] - gravitační konstanta ($g = 9,81$ [m/s²])
- h [m] - rozsah dmutí hladiny při přílivu a odlivu
- T [s] - časový interval mezi přílivem a odlivem

3.1.5 Dopad na životní prostředí

Umístění hráze do ústí zálivu má značný vliv na vodu uvnitř nádrže a tamní ekosystém. Mnoho vlád se poslední dobou zdráhá udělit souhlas k vybudování přílivové hráze. Prostřednictvím výzkumu prováděného na přílivových elektrárnách bylo zjištěno, že přílivové hráze představují podobné hrozby pro životní prostředí jako velké přehrady. Výstavba přílivových přehradních elektráren mění tok slané vody dovnitř i ven z ústí řek či zálivů. Mění se hydrologie a slanost, což ovlivňuje mořské savce, které v ústí žijí. Jediné místo na zemi, kde mohly být výzkumy ekologického dopadu prováděny dlouhodobě a v plném rozsahu je přílivová elektrárna La Rance ve Francii. Výzkumy zde probíhaly 20 let.[9]

Francouzští vědci zjistili, že izolace v ústí v průběhu výstavby přílivové hráze poškodila tamní faunu a flóru. Avšak po deseti letech zde proběhlo biologické přizpůsobení ekosystému novým podmínkám prostředí. Pro některé druhy živočichů se stala nádrž kvůli změně jejich přirozeného životního prostředí neobyvatelnou, ale jiné druhy přesídlili na opuštěný prostor a to způsobilo posun v rozmanitosti. V důsledku stavby zmizeli písčiny a pláž St. Servan byla těžce poškozena.[15][9]

3.1.6 Ekonomické aspekty

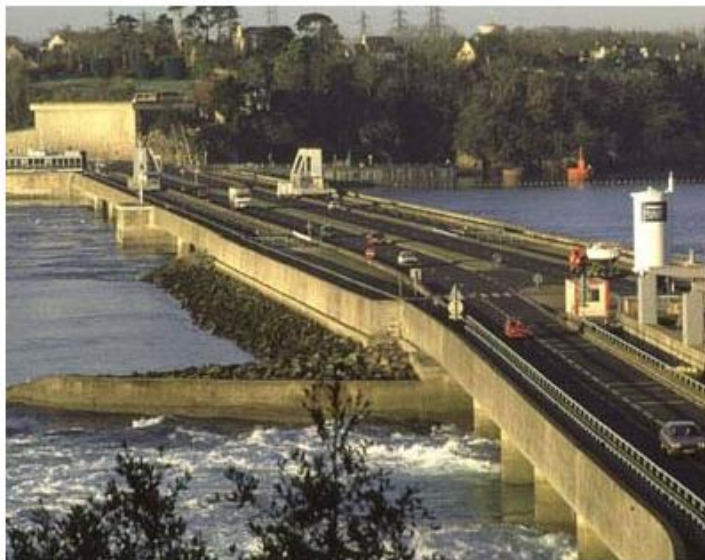
Přílivové přehradní elektrárny mají vysoké investiční náklady. V důsledku toho může být návratnost těchto počátečních investic mnoho let a investoři mohou být neochotni účastnit se takových projektů. Avšak provozní náklady jsou poté již velice malé, jedna turbína má například životnost přibližně 30 let. Vlády mohou financování přílivové elektrárny podpořit pomocí dotací, ale mnoho z nich je neochotných tento krok učinit, opět vzhledem k návratnosti peněz a odporu ze strany různých ekologických skupin. Například energetická politika Spojeného království uznává úlohu přílivové energie a vyžaduje, aby místní úřady porozuměli širším národním cílům získat elektrickou energii z obnovitelných zdrojů. Britská vláda však doposud nedokázala poskytnout dostatečně smysluplné pobídky k posunutí těchto cílů vpřed.[9][10]

Ekonomika přílivové elektrárny je velice komplikovaná. Optimální by byl případ, kdy by elektrárna vyráběla co nejvíce elektrické energie, ale měla také nejmenší možnou hráz.[10]

3.1.7 Příklady přílivových přehradních elektráren

Elektrárna La Rance ve Francii

Přehrada na řece Rance leží při jejím ústí do Atlantského oceánu v severozápadní části Francie na pobřeží Bretaně v departementu Côte d'Armor. Toto místo patří mezi jedno s nejpříznivějšími podmínkami na světě. Rozdíl hladiny moře mezi přílivem a odlivem zde dosahuje při ideálních podmínkách až 13,5 m. Jedná se o první moderní přílivovou elektrárnu na světě, obr. 6. Elektrárnu provozuje francouzská společnost Électricité de France a celý projekt stál zhruba 95 miliónu eur.[16]

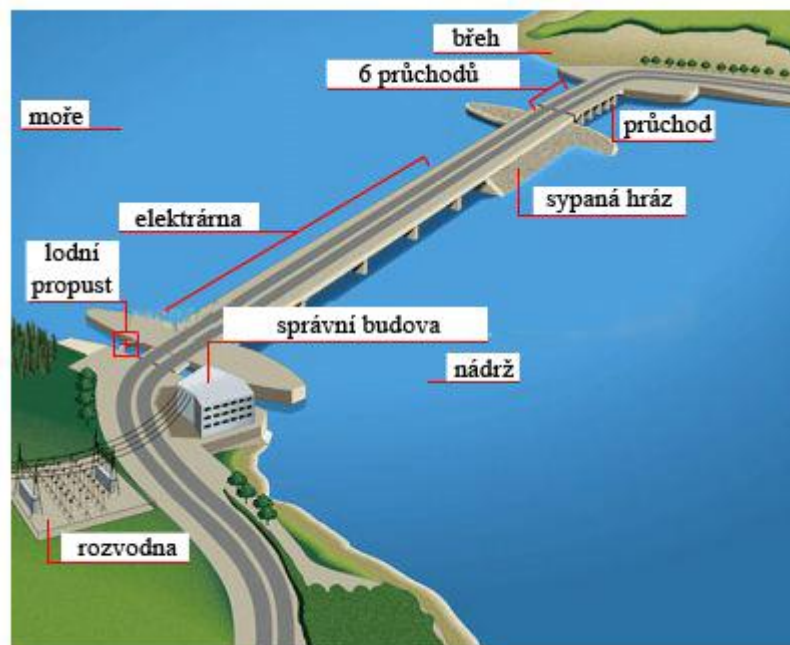


Obr. 3.10 Přílivová přehradní elektrárna při ústí řeky Rance ve Francii (převzato z [12])

Myšlenka stavby přílivové elektrárny na tomto místě vznikla někdy před druhou světovou válkou. Po 25 letech důkladných studií, výpočtů, modelování a zkoušek odolných materiálů a dalších úprav započala její stavba v lednu 1961 zapouštěním pilotů kolem budoucí přehradu a vyčerpáním vody ze stavební jámy. Celých dvacet let byly zkoumány stavební i konstrukční materiály odolné proti mořské vodě. Důkazem úspěšnosti je skutečnost, že za třicet let provozu elektrárny, což odpovídá přibližně 160 000 h a vyrobených 16 bilionů kWh, kdy bylo podle plánu započato s opravami soustrojí, nemusel být žádná z turbín umístěných v tunelech odstavena pro poruchu. Tehdejší prezident Francouzské republiky generál de Gaulle elektrárnu slavnostně otevřel dne 26. listopadu 1966. Poslední z 24 turbín byla spuštěna o rok déle.[16][17]

Přehrada je zakotvena granitovém podloží, měří 750 m a dosahuje výšky 25 m od dna moře. Ve své přílivové nádrži zadržuje zhruba 184 milionů m^3 vody v jezeru o rozloze 2 200 hektarů. Špičkový okamžitý průtok hrází je 18 000 m^3 za sekundu. Těsně u břehu je vybudována lodní propust o rozměrech 65 x 13 m. Stavba pokračuje vlastním tělesem elektrárny dlouhým 410,8 m. Uvnitř elektrárny je vybudována hala o rozměrech 390 x 33 m, rozdělena do 28 oddílů pro 24 soustrojí, 3 oddíly transformátorů a velín. Přehrada pokračuje 163,3 m sypanou hrází, která je svou pravou částí umístěna do skalnatého ostrůvku Chalibert. Zbytek mezi skálou Chalibert a pravým břehem tvoří 115 m přehradního tělesa se šesti průchody pro případné vyrovnávání hladin. Silnice, která vede po koruně hráze a byla zprovozněna roku 1. července 1967, zkrátila cestu mezi Saint-Malo a Dinardem o 30 km. Moderní technologie umožnila využívat jak příliv, tak odliv. Díky zcela počítačově řízené

elektrárně dokáže elektrárna vyrábět elektřinu v době, kdy je jí nejvíc zapotřebí. 24 axiálních Kaplanových turbín žárovkového typu je konstruováno pro obousměrný provoz a můžou tak pracovat jako turbína, nebo jako čerpadlo. Mají proto nastavitelný sklon a mohou se otáčet na obě strany. Turbína o průměru 5,35 m váží 470 tun a pracuje při 93,75 otáčkách za minutu. Turbíny jsou přímo spojeny na společné ose se vzduchem chlazeným generátorem. Průtok soustrojím je 275 m³ za vteřinu. Jmenovitá kapacita turbíny spojené s alternátorem je 10 MW, při 24 turbínách je to tedy 240 MW. Ročně elektrárna produkuje 840 GWh a je tak schopna zásobit elektřinou město se 300 000 obyvateli. I přes vysoké náklady vývoje projektu, jsou již tyto nutné počáteční investice zpět a náklady na výrobu elektřiny jsou nyní nižší než u jaderné energie (0,45Kč za 1kWh oproti 0,62Kč za 1kWh). [16][17][18][19]



Obr. 3.11 Schéma přílivové elektrárny La Rance [34]

Elektrárna pracuje v obousměrném provozu, využívá tedy přílivu i odlivu. Turbíny jsou schopny navíc po vyrovnání hladin přečerpávat další vodu a zvednout účinnou výšku zadržené vody až o 2 m navíc, či při odlivu odčerpat další vodu z přehrad. To samozřejmě významně prodlouží dobu, po níž je spád dostatečně velký a tím i dobu generování elektrické energie.[17]

Schéma elektrárny sice vypadá jednoduše, ale řídicí algoritmus musí brát v potaz nejen příliv, jenž se jeho maximum mění s denní i roční dobou, ale i dobu, kdy je energie potřeba a řadu dalších faktorů. Jeden z rozhodujících faktorů je ekologický. Celý systém je regulován s ohledem na zachování biologické rovnováhy v okolí elektrárny.[16]

Elektrárna Sishwa Lake v Jižní Koreji

Přílivová elektrárna Sishwa Lake leží v Jižní Koreji a je v současné době největší přílivovou elektrárnou na světě. V roce 2011 elektrárna zahájila plný provoz s celkovou kapacitou 254 MW a překonala tak po 45 letech 240 MW přílivovou elektrárnu La Rance ve Francii. Přílivová hráz byla postavena již v roce 1994 pro zmírnění povodí a k zemědělským účelům. Poté bylo do hráze instalováno deset 25,4 MW turbín žárovkového typu. Elektrická energie je generována jen v průběhu přílivu vzhledem ke kompromisu zachování stávajícího využití půdy, využívání vody a zachování životního prostředí. Náklady na projekt byly vyčísleny na 355,1 milionu dolarů. Maximální přílivové dmutí hladiny zde dosahuje 7,8 m a přílivová nádrž má rozlohu přibližně 30 km². [35][36]



Obr. 3.12 Přílivová přehradní elektrárna Sishwa Lake v Jižní Koreji [35]

3.2 Přílivové turbíny

Přílivový proud je název pro horizontální proudění vody přes oceán způsobené přílivem a odlivem. Na rozdíl od vodních proudů, které proudí spojitě, jednosměrně a tvoří stabilní horizontální pohyb vody tekoucí směrem dolů v řekách, potocích atd., přílivový proud mění svoji rychlost, směr a horizontální pohyb pravidelně, podle přílivových a odlivových sil, které ho ovládají. Přílivový proudový režim využití přílivové energie je jedním z dalších způsobů, jak zachytit kinetickou energii vody. [38][14]

Příliv a odliv způsobuje na pobřeží, nebo v jeho blízkosti, dmutí hladin podél pláže. Některá voda je vtlačována do přílivových vpustí, povodí a ústí řek, zatím co většina je

vytlačována do strany podél břehu. Tento pohyb z něj v několika specifických přílivových oblastech vytváří předvídatelnou kontrolovanou formu energie z obnovitelných zdrojů. Přílivový proud je obvykle silnější blíže k pobřeží, kde je mělčí voda, než je tomu v hloubkách dále od pobřeží.[38][14]

Přílivové turbíny generují elektrickou energii v mnoha ohledech podobně, jako je tomu v podmínkách výroby energie pomocí větru. Horizontální turbínové generátory, někdy také nazývané „mořské proudové turbíny“, jsou ale připevněny k mořskému dnu. Přílivový proud proudí skrz lopatky umístěné na turbínách a způsobuje tak jejich rotaci, která pohání generátor podobně, jako když vítr pohání lopatky turbíny na větrné elektrárně. Ve skutečnosti přílivové turbínové oblasti v moři vypadají jako podmořské větrné elektrárny. Elektřina se přenáší na břeh a poté do sítě pomocí tzv. podmořských kabelů. Tyto pobřežní turbíny mohou být částečně nebo úplně ponořeny pod vodu. Částečně ponořené turbíny mají jednodušší a méně nákladnou údržbu.[38][14]

Hlavní oceánské proudy jako je například Golfský proud, proudí výrazně pomaleji než vítr. Nicméně, voda má přibližně 800 krát větší hustotu než vzduch. Proto vodu můžeme na rozdíl od vzduchu vidět. Jediná přílivová turbína umístěná na mořském dně poskytuje významné množství energie oceánských proudů při nízkých rychlostech přílivových proudů. Dokáže získat více energie než větrná turbína podobného či stejného typu. Vzhledem k tomu, že energetický výkon závisí na hustotě média (Kg/m^3) a na průtokové rychlosti (m^3/s), můžeme vidět, že při rychlosti vody zhruba 16 km/h (asi 8,6 uzlu v námořnickém měřítku), turbína produkuje stejně či dokonce více energie, než větrná elektrárna při proudění vzduchu rychlostí 145 km/h. Proto může i malé zvýšení rychlosti vést k podstatným změnám v množství získatelné energie.[38][14]

3.2.1 Typy upevnění přílivových turbín

Na rozdíl od suchozemských větrných elektráren, které mohou být poškozeny bouří, přílivové turbíny jsou mnohem lépe chráněné. Operují totiž těsně pod hladinou a jsou trvale připevněny k mořskému dnu. Turbíny se skládají ze stejných částí jako větrné turbíny, tedy z rotoru, převodovky a elektrického generátoru. Tyto tři části jsou namontovány na ocelové podpěrné konstrukce tří typů.[38]

Ocelový sloup

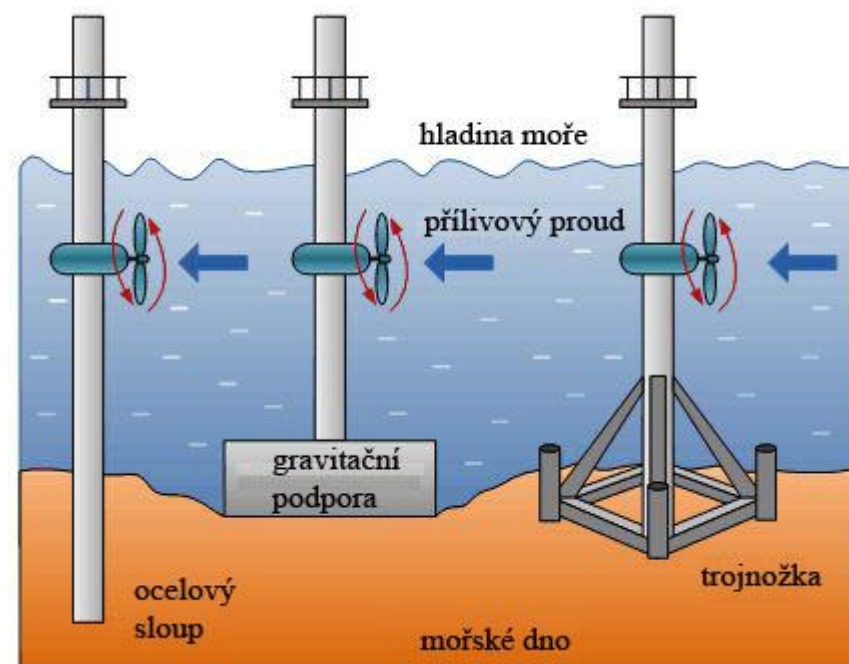
V tomto typu je turbína připevněna na jednom ocelovém sloupu, potopeném a zakopaném hluboko do mořského dna, s generátorem připevněným k němu. Podpora je zde méně tuhá než u jiných typů a sloup se může časem ohnout po působení třecích přílivových sil, pokud jsou užívány v mělkých vodách.[38]

Gravitační podpora

Gravitační podpora obecně používá velký těžký betonový blok nebo bloky, které sedí na mořském dně. Vzhledem k vysoké hmotnosti betonového bloku, je struktura tužší a tím i odolnější proti ohýbání.[38]

Trojnožka

Podpora pomocí trojnožky, využívá trubkový rám s mnohem větší podpůrnou plochou mořského dna. Tento typ se používá i v ropném průmyslu a je tak známou používanou technologií.[38]



Obr. 3.13 Typy podpůrných zařízení přílivových turbín [38]

3.2.2 Typy a příklady použití přílivových turbín

Axiální turbíny

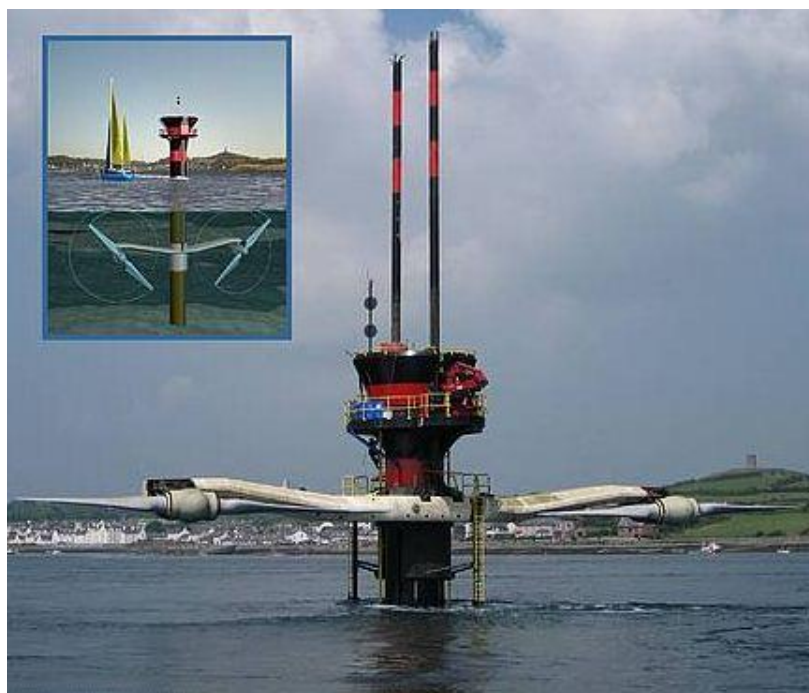
Svoji konstrukcí se nejvíce podobají větrným elektrárnám a patří mezi nejvyužívanější a nejslibnější technologie přílivových turbín.[14]

Ačkoli ještě jako prototyp, byla jako první axiální turbína s výkonem 300 kW připojena do sítě dne 13. listopadu 2003 u Norského pobřeží v oblasti Kvalsund. Další axiální turbína typu Seaflow byla instalována společností Marine Current Turbines u pobřeží Lynmouth v Anglii v roce 2003. Turbína má průměr 11m a je namontována na konstrukci ocelového sloupu, na kterém je ponořována pod hladinu moře.[14]



Obr. 3.14 Seaflow turbína [39]

První komerční přílivová proudová turbína s názvem SeaGen začala vyrábět a distribuovat elektřinu do sítě v dubnu 2008 ve Stragford Lough v Severním Irsku. Turbína dosáhla v prosinci roku 2008 při plné síle produkce 1,2MW elektrické energie při rychlosti proudění vody 2,4 m/s (5 uzlů). To vystačí pro zásobování asi 1500 domácností. Z technologického hlediska vypadá SeaGen jako podvodní větrný mlýn. Skládá se ze dvou axiálních rotorů a podpůrné konstrukce. Každé z jeho hnacích ústrojí váží 27 tun a je vybaveno rotorem o rozměrech 16 m v průměru. Pro minimalizování nákladů jsou turbíny nainstalovány na konstrukci ocelového sloupu. Aby bylo možné využívat přílivu i odlivu, mohou se listy turbíny otáčet o 180 stupňů. To znamená, že systém může vyrábět elektřinu po dobu až 20 hodin denně bez ohledu na počasí. Během provozu jsou rotory umístěny nejméně 3 metry pod mořskou hladinou. Pro bezpečnou a snadnou údržbu můžou být nosník však vyzdvižen nad hladinu.[14][22]



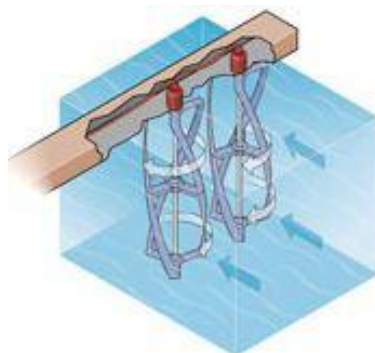
Obr. 3.15 Turbína SeaGen (převzato z [11])

Vertikální a horizontální turbíny

Vertikální a horizontální proudové turbíny vynalezl v roce 1923 Georgeus Darreius a byly patentovány v roce 1929. Tyto turbíny mohou být nasazeny vertikálně nebo horizontálně.[14]

Gorlova turbína

Gorlova turbína je varianta Darreiusovy turbíny komerčně využívaná ve velkém rozsahu v Severní Koreji. Tento projekt odstartoval 1 MW přílivovou turbínou v květnu 2009 a dále se rozšiřuje do plánované maximální 90 MW produkce do roku 2013.[14]



Obr. 3.16 Gorlova turbína (převzato z [25])

Turbína TGU

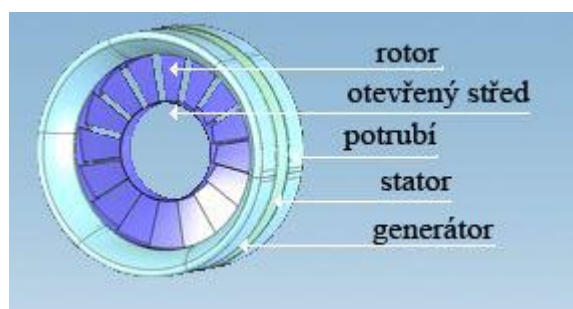
Na rozdíl od většiny vodních turbín, které mají axiální či radiální tok vody skrz turbínu, v TGU turbíně prochází voda skrz turbínu příčně. Technologie turbíny je založena na OCG technologii, která využívá turbíny k pohonu generátorů s permanentními magnety, které se nachází mezi turbínami a jsou připojeni ke stejné hřídeli. Jsou známé dva druhy této turbíny a to do mělkých a do hlubokých vod, kde jsou turbíny umísťovány až 30 m pod mořskou hladinu, což by bylo bezpečné z hlediska lodní dopravy. V dubnu roku 2008 společnost Ocean Renewable Power Company (ORPC) úspěšně dokončila testování této turbíny, a poté v březnu 2012 zahájila stavbu instalací spodní části podpůrného rámu své přílivové elektrárny v zátocě Maine v Severní Americe. ORPC plánuje nasadit ještě čtyři další TGU turbíny s celkovou kapacitou 4,5 MW. Elektrárna bude 29 m dlouhá, 15,2 m široká a 9,5 m vysoká. ORPC také vyvinula návrhy TGU turbín, které mohou být použity pro výrobu elektrické energie z řek.[23][24][14]



Obr. 3.17 TGU turbína (převzato z [24])

Přílivová turbína s otevřeným středem

Tento typ turbíny nazývaný turbína s otevřeným středem byla zkonstruována Skotskou společností OpenHydro. Turbína má pomalu se pohybující rotor a umožňuje bezolejový provoz. Je zde pouze jedna pohyblivá část, která nevyžaduje žádné těsnění, což je uzavřený rotor s permanentními magnety umístěnými na jeho vnějším okraji. [12][32]



Obr. 3.18 Turbína s otevřeným středem [32]

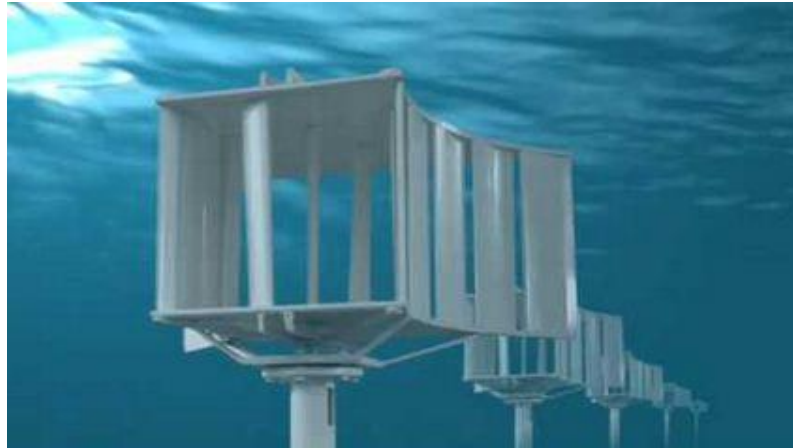
Společnost OpenHydro v prosinci roku 2006 úspěšně instalovala první turbínu tohoto typu v Evropském námořním středisku (EMEC) v Orkney ve Skotsku. Společnost dále plánuje postavit několik přílivových turbín tohoto typu u ostrova Alderney, který je součástí Normanských ostrovů v Lamanšském průlivu a zálivu Fundy v Novém Skotsku v Kanadě.[32]



Obr. 3.19 Přílivová turbína v Orkney, Skotsko (převzato z [12])

Turbíny Davidson-Hill s využitím Venturiho efektu

Vznikajících přílivových proudů se využívá také umístěním turbíny do uzavřeného kanálu či krytu a využitím Venturiho efektu. Je to efekt zvýšení rychlosti a snížení tlaku kapaliny, při průchodu zúženou částí. To umožňuje až 4 krát zvýšit výkon turbíny a její účinností zvýšit na 59 procent. Australská společnost Tidal Energy zahájila první komerční testy toho způsobu využití přílivových proudů v roce 2002 v Queensland v Austrálii. Na rok 2012 je plánováno instalování několika modulů s 5 metrovými rotory turbín o výkonu přibližně 1 MW v kanálu Rainbow v Queensland v Austrálii. Hlavní nevýhodou tohoto typu turbíny je, že kvůli rychlému otáčení vrtule dochází k uvíznutí a usmrcení vodních živočichů uvnitř krytu.[26][14]



Obr. 3.20 Turbína Davidson-Hill s využitím Venturiho efektu (převzato z [26])

3.2.3 Dopady na životní prostředí

Zatím byl prováděn jen malý přímý výzkum přílivových turbín v oblasti životního prostředí. Většina výzkumů spočívala v označování ryb, které byly následně vypouštěny po přílivovém proudu proti točícím se rotorům turbín. Jedna studie společnosti Roosevelt Island Tidal Energy například využívá 24 rozdělených paprsků pro sledování pohybu ryb v okolí turbín. V průběhu výzkumu bylo zjištěno, že ryby, které zde žijí, se lopatkám turbín většinou samy vyhýbají. Předpokládají se však obecně mnohem menší vlivy na životní prostředí než mají přílivové přehradní hráze.[14]

3.2.4 Výpočet výkonu přílivové turbíny

Pro výpočet výkonu přílivové turbíny platí vzorec:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 c_p \quad [\text{W}] \quad (3.2)$$

kde:

- ρ [kg/m³] - hustota mořské vody ($\rho = 1025$ kg/m³)
- A [m²] - plocha rotoru opisovaná špičkou vrtule
- v [m/s] - rychlost proudění vody
- c_p [-] - účinnost turbíny

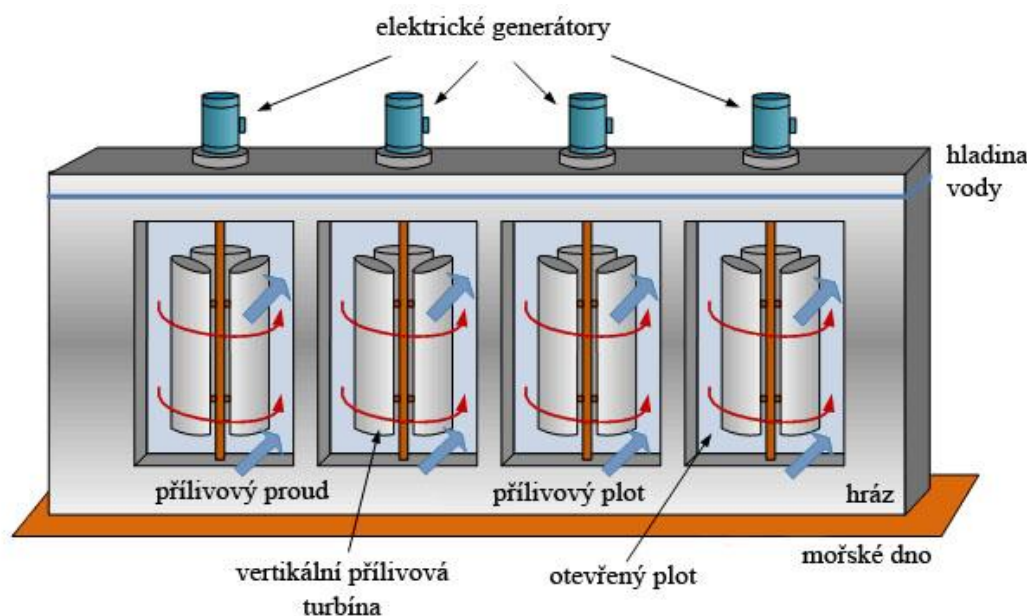
3.3 Přílivový plot

Přílivový plot je další forma využití přílivového proudu. Využívá jak přílivové hráze, tak i přílivových turbín. Na rozdíl od klasických přílivových turbín, které jsou volně umístěny vedle sebe, má přílivový plot nainstalován po jedné vertikální turbíně v každém bloku přílivového betonového plotu. Tyto ploty působí jako ponořené přílivové hráze. Přílivové proudy jsou nuceny proudit kolem lopatek turbín, což způsobuje jejich otáčení a následně

pohánění generátorů. Na rozdíl od přílivové přehradní elektrárny, přílivové ploty umožňují neustálé proudění vody a tím levnější metodu využití přílivové energie. Jak název napovídá, této metody se využívá v rychle tekoucích oblastech vody, jako jsou kanály mezi dvěma zemskými masami, kde je voda tlačena skrz turbíny. Hlavní výhodou této technologie je, že umožňuje mořským živočichům proplouvat skrz tyto ploty na rozdíl od přílivové přehradní elektrárny. Také jsou otvory plně otevřeny, takže nemají žádný vliv na proudění přílivového proudu nebo nepřírozenému ovlivňování výšky hladiny vody.[12][30]

Přílivové ploty využívají svislých turbín, podobně jako Savoniova či Darreiusova větrná turbína, seřazených pod hladinou v řadě vedle sebe v jednotlivých komorách. Vzhledem k tomu, že je plot plně otevřen, jsou zde jen nepatrné rozdíly v tlaku vody, což má za následek relativně pomalý proud vody, který je však vyvážen velkým množstvím. Jedním ze způsobů jak vylepšit tento problém, je snížit průřez otvoru a přinutit protékat vodu menším otvorem rychleji.[30]

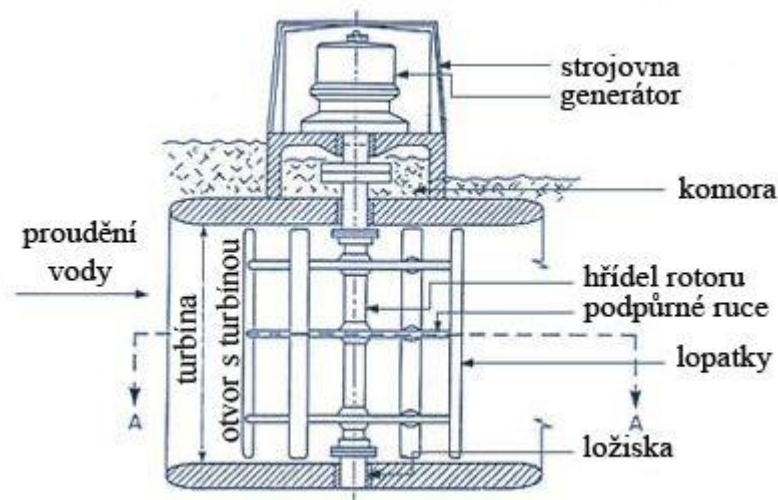
Výhodou přílivového plotu je, že všechny elektrické generátory, strojní zařízení a kabeláž mohou být umístěny dostatečně vysoko nad hladinou, kde jsou snadno přístupné při údržbě a opravách. Také může být na rozdíl od přílivové přehradní hráze, umístěn v otevřených přílivových spojení mezi pevninou nebo mezi dvěma ostrovy. [30]



Obr. 3.21 Přílivový plot [30]

Kanadská společnost Blue Energy chtěla postavit 2.2 GW přílivový plot v San Bernadinovo průlivu na Filipínách. Tento projekt, který by stál zhruba 2,8 miliardy amerických dolarů, byl však z důvodu politické nestability pozastaven. Společnost Blue

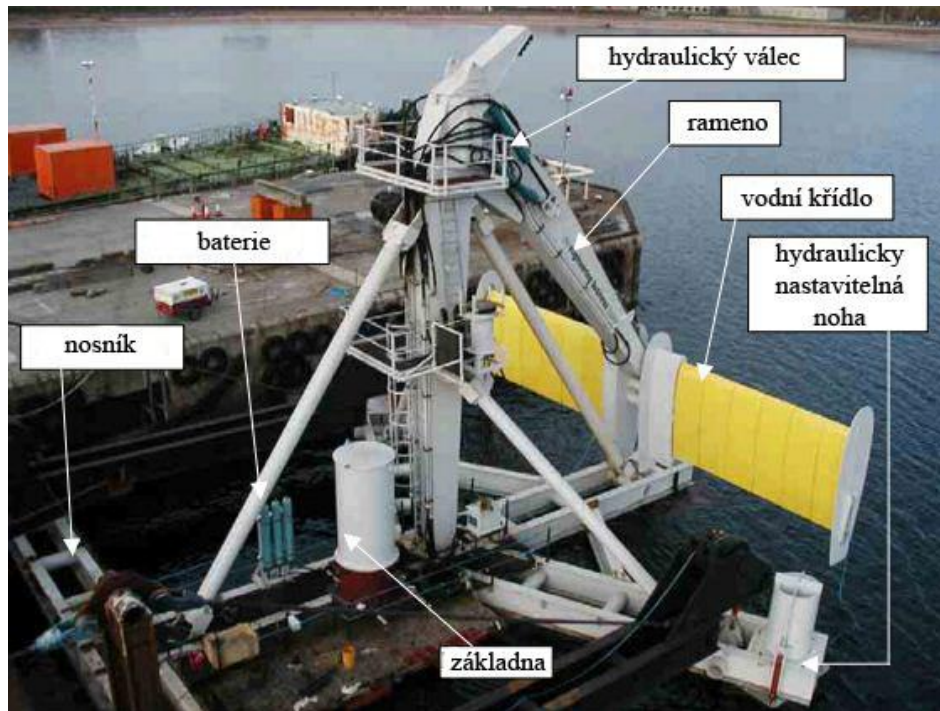
Energy vylepšila v posledních letech přílivový plot na tzv. přílivový most. Tento most by sloužil jak pro výrobu elektrické energie pomocí přílivového plotu, tak by spojoval například dva ostrovy silnicí a železnicí, která by na mostě vedla. Aktuální technologie přílivového mostu využívá Darreiusovo vodní turbínu (Obr. 3.22).[31][12]



Obr. 3.22 Darreiusova turbína [31]

3.4 Oscilační zařízení

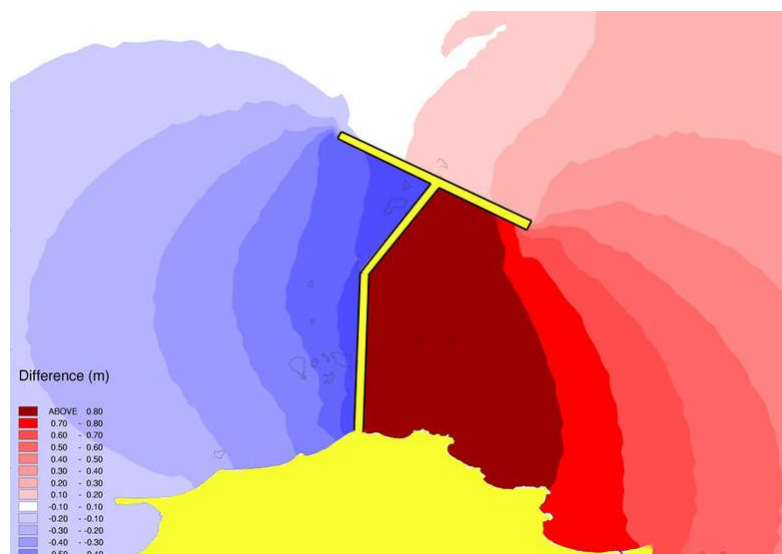
Oscilační přístroje nemají točivé součásti, ale místo toho používají tvaru křídla, které je rozpohybováno přílivovými proudy. První zařízení tohoto typu o výkonu 150kW jménem Stingray, jež bylo testováno v roce 2003 u skotského pobřeží. Stingray, využívá svá křídla pro vytváření oscilace, což umožňuje vytvořit hydraulickou energii. Tato hydraulická síla je poté využívána pro pohon hydraulického motoru, který se poté mění na generátor. Společnost Pulse Tidal dostala v nedávné době finanční prostředky od Evropské unie pro realizování několika 1 MW elektráren tohoto typu v ústí řeky Humber v Anglii. Společnost by měla uvést zařízení do provozu v průběhu roku 2012.[27][14]



Obr. 3.23 Stingray [27]

3.5 T-přehrada

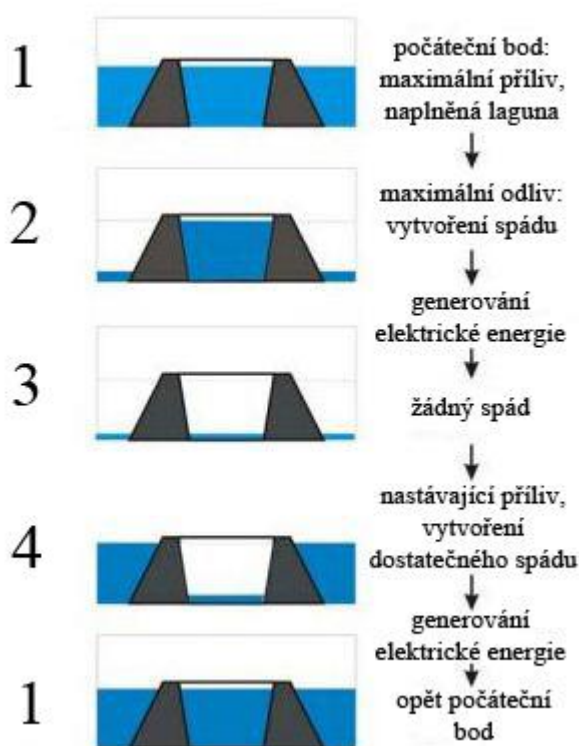
T-přehrada je nejnovější nevyzkoušená metoda využívající generování elektrické energie díky dynamické energii přílivu. Spočívá ve vybudování obrovské 30 až 60 km hráze, která by vedla od pobřeží přímo do oceánu či moře, a připomínala by svým tvarem velké písmeno T. Tato obrovská T-přehrada by využívala silných přílivových vln, které běží podél pobřeží kontinentálních šelfů a vytváří silné hydraulické proudy. Tyto proudy jsou typické pro několik oblastí v Číně, Koreji a Velké Británii. Tento koncept byl vynalezen a patentován v roce 1997 holandskými inženýry Keesem Hulsbergenem a Robem Steijnem.[13]



Obr. 3.24 T-přehrada (převzato z [13])

3.6 Přílivová laguna

Přílivová laguna je nový přístup k přílivové elektrárně, která řeší ekologické problémy přílivové přehradní elektrárny. Tato metoda využití energie přílivu a odlivu obnáší vybudování tzv. bazénu umístěného v moři či oceánu ve vzdálenosti jen několika km od pevniny. Dle výpočtů je jedna přílivová laguna schopna vyrobit 3,3 W na 1 m². Dvě laguny působící v různých časových intervalech můžou zaručit trvalý výkon kolem 4.5 W/m². Tyto uměle vytvořené přehradní nádrže neblokují proudění přílivových proudů a jsou tak vhodnější alternativou pro přílivové přehradní elektrárny. Jejich realizace je však zatím jen v počátcích.[9]



Obr. 3.25 Cyklus generování elektrické energie přílivové laguny [40]

Závěr

Stěžejní částí mé bakalářské práce je kapitola 3, ve které popisují princip přeměny mořské energie na elektrickou. Dále se zde zabývám jednotlivými technologiemi využívajícími slapové jevy, jejich výhodami a nevýhodami a uvádím realizovaná díla a plánované projekty.

Jak je z práce patrné, existuje mnoho různých způsobů jak získat elektrickou energii pomocí přílivu a odlivu. Avšak většina využitelných zařízení je zatím jen ve fázi projektu, či jsou provozována jako prototypy. Podle mého názoru je toto zapříčiněno dostatkem fosilních paliv a lidstvo tak není tolik tlačeno vyvíjet nové technologie pro využívání obnovitelných zdrojů.

Příliv a odliv hrají velmi důležitou roli při formování globálního klimatu a ekosystému oceánu. Jsou však také zdrojem podstatného množství obnovitelné energie pro budoucí lidskou generaci. Vyčerpáním zásob ropy, vznikající emise skleníkových plynů spalováním uhlí a dalších fosilních paliv, stejně jako uchovávání jaderného odpadu z jaderných elektráren nutí lidstvo nahradit tento tradiční zdroj energie obnovitelnými zdroji. Přílivová energie je jedním z nejlepších kandidátů.

Vybudováním přílivových přehradních elektráren či přílivových turbínových farem lze získat významné množství energie. Takovéto elektrárny mohou zajistit čistou energii malým obcím i větším městům. Existuje však mnoho nevýhod, které nás od využívání této energie mohou odrazovat. Hlavní z nich je to, že vybudování přehrady ovlivňuje podvodní ekosystém. Mořští živočichové nejsou schopni migrovat, oceán nemůže proudit jako před vybudováním hráze a nepřirozené materiály zasahují do oceánu, kam nepatří. Ochránci přírody většinou zabrání vzhledem k těmto problémům vybudování kteréhokoliv typu přílivové elektrárny. Lidstvo se musí snažit nevýhody zmenšit na únosnou mez, či úplně odstranit. Pak bychom mohli získat mnoho megawattů elektrické energie z tohoto druhu obnovitelných zdrojů.

Použitá literatura

- [1] THURMAN, Harold V. a Alan P. TRUJILLO. *Oceánografie: Tajemný svět moří a oceánů*. 2005. vyd. Brno: Computer Press, 2005.
- [2] BRÁZDIL, Rudolf. *Úvod do studia planety Země*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988.
- [3] Slapové jevy: příliv a odliv: Oceánografie. *Strány potápěčské* [online]. [cit. 2012-02-01]. Dostupné z: <http://www.stranypotapecske.cz/teorie/priliv-odliv.asp>
- [4] *Encyklopedie fyziky: Formulace Newtonova gravitačního zákona* [online]. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/55-formulace-newtonova-gravitacniho-zakona>
- [5] Slapové jevy. *Astronomia: Astronomie pro každého* [online]. [cit. 2012-02-01]. Dostupné z: <http://planety.astro.cz/zeme/1961-slapove-jevy>
- [6] Technology - History of Tidal Power. *Tidal electric* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://tidalelectric.com/technology-history.shtml>
- [7] The History Of Tidal Energy. *Explore Green Energy* [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.exploregreenenergy.com/tidal/history-of-tidal-energy.php>
- [8] Přílivová elektrárna. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADlivov%C3%A1_elektr%C3%A1rna
- [9] Tidal barrage. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_barrage
- [10] Tidal Power. *University of Strathclyde* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/Tidal%20Power.htm
- [11] Futuristiske energikilder. *Climate Minds* [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.climateminds.dk/index.php?id=693>
- [12] Tidal Barrage & Tidal Turbines. *Murdoch University* [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/tidal/index.html>
- [13] Dynamic tidal power. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_tidal_power
- [14] Tidal stream generator. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-02-16]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_stream_generator

- [15] Tidal Barrage Generation. *Alternative energy tutorials* [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z :
<http://www.alternative-energy-tutorials.com/tidal-energy/tidal-barrage.html>
- [16] Přeřada na Rance. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ehrada_na_Rance
- [17] Přílivová elektrárna Rance. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/b1ac7bfeb353ef638025680f002d9524?OpenDocument>
- [18] La Rance, France. *Encyclopedia of Earth* [online]. [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: http://www.eoearth.org/article/La_Rance,_France
- [19] Oceanická energie. *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/AZE_II/7AZE.II.pu.pdf
- [20] Types of Tidal Turbines. *EHow* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: http://www.ehow.com/list_7277023_types-tidal-turbines.html
- [21] The Severn Estuary Tidal Barrage Project: Design of Water Turbines for Tidal Barrage. *Brighthub* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://www.brighthub.com/engineering/civil/articles/69198/p2/>
- [22] Ocean Power: Energy from below the surface of the seas. *Siemens* [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-generation/renewables/hydro-power/ocean-power.htm?stc=wwecc120553#content=The%20world%E2%80%99s%20first%20commercial%20tidal%20current%20power%20plant%2>
- [23] Ocean Renewable Power Company. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_Renewable_Power_Company
- [24] *Ocean Renewable Power Company* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.orpc.co/default.aspx>
- [25] Alexander's Marvelous Machine. *Natural Resources Defense Council* [online]. [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://www.nrdc.org/onearth/05spr/gorlov1.asp>
- [26] *Tidal Energy Pty Ltd* [online]. [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://tidalenergy.net.au/index.html>
- [27] Stingray Tidal Stream Energy Device. *Cavendish Laboratory, Cambridge: The Inference Group* [online]. [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/tide/StingrayPhase3r.pdf>

- [28] Tidal Energy. *GCK Technology* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf>
- [29] Vodní elektrárny - mikro, malé i velké - druhy, principy, provedení. *Automatizace* [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>
- [30] Tidal Fence: Ocean Tidal Fences Harnessing the Power in the Tides. *Alternative energy tutorials* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/tidal-energy/tidal-fence.html>
- [31] *Blue Energy* [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.bluenergy.com/index.html>
- [32] *OpenHydro* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.openhydro.com/home.html>
- [33] Slapové jevy. *Wikipedie* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slapov%C3%A9_jevy
- [34] Tidal Power. *Almohandes* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.almohandes.org/vb/showthread.php?t=53494>
- [35] Are Korea's Sihwa Station and Jeju Windpark the answer to the World's Energy Problems?. *Advanced Technology KOREA* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.advancedtechnologykorea.com/7299>
- [36] Sihwa Lake Tidal Power Station. *Wikipedia* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Plant
- [38] Tidal Stream: Using the Power of the Tidal Streams to Generate Electricity. *Alternative energy tutorials* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/tidal-energy/tidal-stream.html>
- [39] ETI models UK tidal resources. *ReNews Europe* [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://renews.biz/story.php?page_id=71&news_id=838
- [40] Tidal Power: Directory of Resources Regarding Tidal Power. *Pure Energy Systems* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://peswiki.com/energy/Directory:Tidal_Power
- [41] Tidal Barrage: The Different Modes. *Wyre Tidal Energy* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.wyretidalenergy.com/tidal-barrage/the-different-modes>