

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vývoj vodních elektráren

vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.

2012

autor: Jan Aubrecht

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan AUBRECHT**
Osobní číslo: **E09B0102P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Vývoj vodních elektráren**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování:

1. Popište princip využití energie vody.
2. Porovnejte typy vodních elektráren a typy vodních turbín.
3. Porovnejte vývoj vodních elektráren ve světě a v ČR.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Škorpil, Kasárník: Obnovitelné zdroje energie 1. - Vodní elektrárny

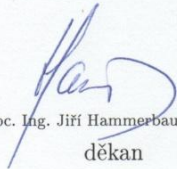
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Bělík, Ph.D.


Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tématem bakalářská práce jsou vodní elektrárny. Bakalářská práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsán princip využití vodní energie. Druhá část se zabývá jednotlivými typy vodních turbín a elektráren. Třetí část bakalářské práce obsahuje vývoj vodních elektráren v České republice a ve světě. V závěru práce jsou shrnuty získané poznatky.

Klíčová slova

Vodní elektrárna, vodní energie, vodní turbína, historie vodních elektráren, typy vodních elektráren

Abstract

Evaluation of hydro power stations

The topic of this bachelor thesis are hydro power stations. The bachelor thesis is divided into three parts. The first section describes the principle of hydropower. The second part deals with different types of water turbines and power plants. The third part of this work includes the development of hydroelectric power plants in the Czech Republic and in the world. The conclusion summarizes the lessons learned.

Key words

Hydro power station, water power, water turbine, history of hydro power stations, types of hydro power stations

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 bakalářské práce.

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

V Plzni dne 22. 5. 2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milan Bělík, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytování cenných rad a připomínek, které mi pomohly při řešení bakalářské práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
1 VODNÍ ENERGIE	10
1.1 CHARAKTERISTIKA VODNÍ ENERGIE	10
1.2 VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE	10
1.3 PROBLÉMY S VODNÍ ENERGIÍ	11
2 TYPY VODNÍCH ELEKTRÁREN A TYPY VODNÍCH TURBÍN	12
2.1 TYPY VODNÍCH TURBÍN	12
2.1.1 Kaplanova turbína	14
2.1.2 Šneková turbína	15
2.1.3 Francisova turbína	17
2.1.4 Bánkiho turbína	19
2.1.5 Peltonova turbína	21
2.1.6 Dériazova turbína	22
2.2 TECHNICKÉ POJMY	23
2.2.1 Kavítace	23
2.2.2 Savka	23
2.3 TYPY VODNÍCH ELEKTRÁREN	24
2.3.1 Přehradní a jezové (průtočné) vodní elektrárny	24
2.3.2 Derivační a náhonové vodní elektrárny	25
2.3.3 Přečerpávací vodní elektrárny	25
2.3.4 Přílivové vodní elektrárny	26
2.4 MÍSTA NEJVYŠŠÍCH PŘÍLIVŮ	27
2.5 DALŠÍ DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN	28
3 VÝVOJ VODNÍCH ELEKTRÁREN V ČESKÉ REPUBLICĚ A VE SVĚTĚ	29
3.1 VŠEOBECNÝ VÝVOJ	29
3.1.1 Vodní kola	30
3.1.2 Vodní trkač	31
3.1.3 Vodosloupové stroje	32
3.1.4 Cesta k turbínám	32
3.2 VÝVOJ VODNÍCH ELEKTRÁREN V ČESKÉ REPUBLICĚ	33
3.2.1 Největší vodní elektrárny v České republice	37
3.2.2 Vyhledky do budoucna	40
3.2.3 Množství vyrobené energie v roce 2011	41
3.3 VÝVOJ VODNÍCH ELEKTRÁREN VE SVĚTĚ	42
3.3.1 Historie vodních elektráren ve světě	42
3.3.2 Současná situace využívání vodní energie	44
3.3.3 Největší vodní elektrárny na světě	46
ZÁVĚR	53
POUŽITÁ LITERATURA	54
SEZNAM PŘÍLOH	58

Úvod

Téma obnovitelných zdrojů je v posledních letech velmi diskutovaným tématem. Ve své bakalářské práci jsem proto rozhodl věnovat tomu nejvíce využívanému, a to vodní energii.

Vodní elektrárny jsou v dnešní době nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem elektrické energie nejen v České republice, ale i v celosvětovém měřítku. Ve státech s lepší zeměpisnou polohou a přírodními podmínkami než má Česká republika, se v posledních letech rozmohly stavby velkých hydroelektráren. Česká republika svůj potenciál pro výstavbu velkých vodních elektráren téměř vyčerpala a v budoucnu se dá očekávat spíše stavba malých vodních děl.

Historie vodních elektráren sahá až do starověku a přes řadu inovací napříč stoletími získaly podobu, v jaké je známe dnes. V bakalářské práci je popsáno využití a funkce nejčastěji využívaných vodních turbín a také jednotlivých elektráren.

Na celém světě je vidět ústup od jaderné energie a uhelných elektráren směrem k obnovitelným zdrojům. Nárůst energie z obnovitelných zdrojů v České republice zásadně ovlivnila výstavba fotovoltaických elektráren. Prvenství v množství vyrobené energie z obnovitelných zdrojů přesto stále patří vodním elektrárnám.

1 Vodní energie

1.1 Charakteristika vodní energie

Voda je nositelem mechanické, tepelné a chemické energie. Mechanická energie vodních toků má největší význam, protože je obnovovaná působením Slunce. Působením slunečního záření voda získá svojí původní energii. Tím dojde k odpaření vody z hladiny moře a ve formě dešťových kapek nebo sněhových vloček se vrací zpět do míst vysoké potenciální energie.

Ve vodní energii je ukryt velký potenciál. Největší výhodou vodní energie je, že neznečišťuje životní prostředí a na mnoha místech planety zatím patří mezi nejlépe dostupnou energii. Stékáním vody z hor dochází k uvolnění nashromážděné energie, tam je její potenciální energie největší. Voda se potom vrací zpět do moře, kde je její potenciální energie nejmenší. Vodní energie zahrnuje tekoucí vodu a energii vodních rezervoárů, která v dnešní době představuje zhruba 3 % primární energie a 16 % celosvětové výroby elektrické energie.

Hlavní znaky vodní energie [1]:

- nevyčerpatelnost a kolísavost příkonu
- přirozená koncentrace nositele z povodí do hlavních toků
- značné investiční náklady pro výstavbu vodních děl
- nízké provozní náklady vodních elektráren

1.2 Využití vodní energie

Voda je jeden z nejlevnějších a ekologicky nejčistších zdrojů energie. Vodní energie již byla používána v době kamenné, ale nejprve jen k dopravě.

Možnost využití vodní energie:

- přímou přeměnou na mechanickou energii (hamry, vodní mlýny, apod.)
- přeměnou na elektrickou energii (vodní turbíny, Archimédův šroub, vodní čerpadla v generátorovém režimu).

Nejrozšířenější způsob využívání vodní energie je přeměna v elektrickou energii. Ve vodních elektrárnách jsou vodní turbíny roztočeny vodní energií a roztočené turbíny

pohání rotor elektrického generátoru. Výsledkem této činnosti je vyrobená elektrická energie, která se pak transformuje a rozvody dodává do spotřebních míst.

Na řekách a potocích se vodní energie přeměňuje pomocí mlýnů nebo elektráren, lze také využít skladování el. energie → přečerpávací elektrárny

Na mořích a oceánech se vodní energie přeměňuje pomocí přílivových elektráren. Z toho vyplývá, že lze vodní energii rozdělit na energii z řek, říček a potoků a energii z moře a mořských proudů.

1.3 Problémy s vodní energií

V období sucha nebo většího množství dešťových srážek může u vodní energie docházet k výpadkům. V České republice naposledy k většímu výpadku vodních elektráren došlo v roce 2002 následkem rozsáhlých záplav (viz obr. 1).



Obr. 1 Povodně v roce 2002 na vodní elektrárně Orlík [11]

2 Typy vodních elektráren a typy vodních turbín

2.1 Typy vodních turbín

Vodní turbíny rozdělujeme podle několika hledisek:

- orientaci proudění (tangenciální, radiální, diagonální, axiální)
- velikosti tlaku a způsobu přenosu energie vody (rovnotlaké, přetlakové)
- poloze turbíny (horizontální, vertikální)
- podle celkové konstrukce

a) podle orientace proudění vody v oběžném kole

- **axiální** – turbínou voda protéká v konstantní vzdálenosti od osy oběžného kola. [3]
- **diagonální** – kapalina turbínou protéká v šikmém směru k ose hřídele, lze to upravit podle natočení lopatek.
- **radiální** – u radiální turbíny kapalina protéká kanály kolmo k ose hřídele oběžného kola.
- **tangenciální** - je lopatkový stroj s tangenciálním (tečným) vstupem pracovní látky do oběžného kola.

b) podle tlaku a způsobu přenosu energie vody

- **Rovnotlaké (akční)** - tlak vody před oběžným kolem je stejný jako tlak za oběžným kolem rovnotlaké turbíny. Rovnotlaké turbíny se používají nad 400m a zároveň jsou to turbíny s volným odpadem vody.
- **Přetlakové (reakční)** - jsou to turbíny se sníženým tlakem. Tyto turbíny se používají se pro spády do 400m. Přetlakové turbíny se označují také jako turbíny reakční, neboť v kanálech oběžného kola dochází při urychlování proudu vody k reakčnímu působení na oběžné lopatky.

c) podle polohy hřídele [3]:

- **spirální** – spirála před rozvaděčem
- **kašnová** – kašna s volnou hladinou
- **kotlová** – kotlové těleso na konci tlakového přívodu
- **násoskové** – zavzdušněním lze přerušit průtok

- **přímoproudé** – přímý průtok od vstupu po výstup

d) podle polohy hřídele [3]:

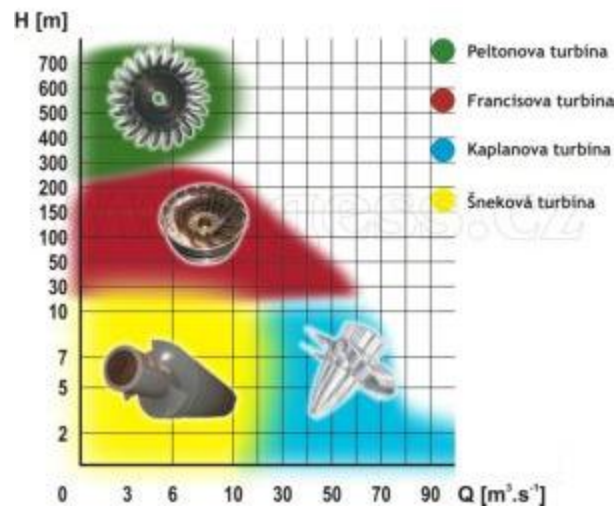
- **horizontální** – např. turbíny přímoproudé
- **vertikální** – většina typů turbín
- **šikmé** – většinou menší přímoproudé turbíny

e) podle celkové konstrukce [26]:

- Bánkiho turbína
- Davisova turbína
- Dériazova turbína
- Fourneyronova turbína
- Francisova turbína
- Girardova turbína
- Henckelova turbína
- Kaplanova turbína
- Peltonova turbína
- Savoniova turbína
- Setur turbína
- Teslova turbína
- Turgo turbína
- Zupingerova turbína

Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla (včetně vodní nádrže, řečiště či jiného zařízení usměrňujícího proud vody). Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu (Francisova nebo Kaplanova turbína) a to v mnoha provedeních. Na českých řekách se nejčastěji používají Kaplanovy turbíny s nastavitelnými lopatkami. Kaplanova turbína je reakční přetlakový stroj, který dosahuje několikanásobně vyšší rychlosti než je rychlost proudění vody. Je vhodná pro velká množství vody a pro menší spády. Pro vysoké spády se používá akční Peltonova turbína. Je to rovnotlaký stroj, jehož obvodová rychlost otáčení je nižší než rychlost proudění. Voda vstupuje do turbíny pouze v některých částech jejího obvodu a nezahltí celý obvod – vodu na lopatky tvaru misek přivádějí trysky. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používá reverzní Francisova turbína s přestavitelnými lopatkami, která při zpětném chodu funguje jako čerpadlo. V malých

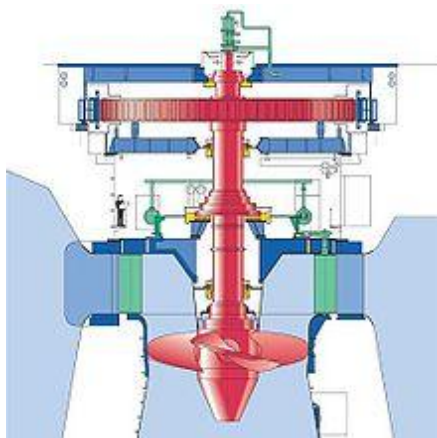
vodních elektrárnách se nejčastěji používá malá horizontální turbína Bánkiho spolu s upravenou jednoduchou turbínou Francisovou. [46]



Obr. 2 Přehled otáček v závislosti na spádu u nejpoužívanějších turbín [47]

2.1.1 Kaplanova turbína

Vynálezcem byl Viktor Kaplan, profesor brněnské techniky. V roce 1910-1912 navrhl nový tvar oběžného kola. Prototyp této turbíny vyrobila brněnská firma Ignác Storek v roce 1919. Následné testy ukázaly, že dosahuje účinnosti až 86 %. Poté, co došlo k odstranění problémů s kavitací, našla Kaplanova turbína velké uplatnění zejména u velkých vodních elektráren. Francisova turbína má v porovnání s Kaplanovo turbínou vyšší účinnost, ale je složitěji konstruovaná a dražší.



Obr. 3 Kaplanova turbína [48]

Princip činnosti

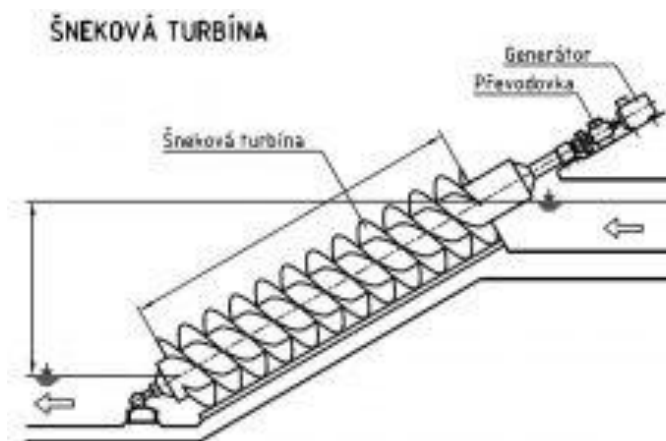
Kaplanova turbína je přetlaková axiální, která se dá velmi dobře regulovat, toho se využívá zejména v místech, kde není stálý průtok nebo dostatečný spád. U tohoto typu turbíny se dá regulovat náklon lopatek u oběžného i rozváděcího kola a dále se také vyznačuje menším počtem lopatek a zároveň se tím liší od Francisovy turbíny. Nevýhodou je, že při malých spádech se u turbín často setkáváme s kavitací, to vede k poškození turbíny a současně celkové neekonomičnosti vodního díla. Dále je potřeba montáž jemných česlí a s tím jsou spjaty i další náklady s čištěním česlí a následným tříděním odpadu.

Aplikace

Využívá se zejména pro spády 2 až 70,5m a pro průtoky od 0,15 do několika desítek m³/s, tedy pro malé spády a velké průtoky. Kaplanova turbína s největší hltností na světě je na vodní elektrárně Gabčíkovo na Dunaji, a to až 636 m³/s, při spádu 12,9 – 24,2m. Při instalaci záleží na rozdílu hladin a podle toho se instalují buď svislé nebo vodorovné osy otáčení. [27]

2.1.2 Šneková turbína

Funkce této turbíny je založena na principu Archimédova šroubu, kde proudí voda opačným směrem. Archimédův šroub byl používán už od starověku a díky relativně jednoduché konstrukci je účinný a spolehlivý. Obrácením šnekové hřídele začne čerpadlo fungovat jako turbína, tato turbína je velmi účinná. Uplatnění našla na malých vodních elektrárnách, kde jsou malé spády (od 1 do 10m) a velké kolísání průtoků.



Obr. 4 Šneková turbína [29]

Princip činnosti

Přitékající voda se vlévá do závitů šnekovnice. Současně voda působí svou hmotností po celé dráze svého klesání a jejím působením se médium vytvořené mezi sousedními šnekovými plochami, nosnou rourou a žlabem vine směrem dolů a tím dojde k roztočení celé šnekovnice.

Výhody Šnekových turbín [29]:

- Výrazně nižší náklady na stavební část MVE
- Nižší pořizovací náklady v porovnání s tradičními turbínami (cca o 30–40 %)
- Využití nízkých spádů (od 1 m)
- Jednoduchá konstrukce
- Dlouhá životnost – netrpí kavitací
- Vysoká účinnost
- Spolehlivost i při malém průtoku (již při 20 % hltnosti má účinnost 74 %)
- Jednoduchá obsluha – nízké provozní náklady
- Snadný přístup k činnému prostoru
- Možnost montáže do jezu
- Nevyžaduje jemné česle a je šetrný k vodním živočichům
- Okysličuje vodu, a tím přispívá ke zlepšení kvality vody v toku

Použití šnekových čerpadel [31]:

- čerpání a přečerpávání splaškových vod
- přečerpávání závlahové vody
- přečerpávání kalových vod z kalových polí tepelných elektráren
- v chemickém průmyslu
- v melioracích
- v zemědělství
- v papírenském průmyslu

2.1.3 Francisova turbína

Vývoj Francisovy turbíny

Předchůdcem Francisovy turbíny byla Fourneyronova turbína, která se již v současné době nepoužívá. Patřila k prvním prakticky použitelným turbínám, které se ve své době konkurovaly velmi rozšířeným vodním kolům. Typově se jednalo o přetlakovou vertikální turbínu s centrifugálním průtokem a stavěla se až do výkonu 40kW. Nevýhodou byla velká složitost, regulace, pomaluběžnost a citlivost na nečistoty. Přes tyto nedostatky byla dobrým motorem pro pohon přádelen, tkalcoven, skláren, železáren a větších manufaktur v první polovině 19. století. Na všech lokalitách, kde byla v minulosti Fourneyronova turbína používána, byla nahrazena Girardovo turbínou a později Francisovo turbínou.

Francisova turbína

Původním vynálezcem Francisovo turbíny je Benoit Fourneyron, vynalezl jí v roce 1826 s výkonností 80 %. Turbínu na podobném principu vynalezl již o šest let dříve Jean-Victor Poncelet a v roce 1838 získal S.B.Howd patent na další turbínu tohoto typu. James B. Francis v roce 1848 všechny tyto předešlé turbíny vylepšil a povedlo se mu dosáhnout výkonnosti až 90 %. Dodnes lze pomocí jeho metod výpočtů a měření navrhnout turbínu odpovídající potřebným požadavkům. Voda směřuje tangenciálně turbínou a tím ji roztáčí. Francisova turbína je přetlaková turbína, to znamená, že pracovní kapalina během své cesty strojem mění tlak a přitom odevzdává svou energii. Oběžné kolo turbíny se nachází mezi vysokotlakým příívodem a nízkotlakou savkou většinou v patě přehrady [33, 34]



Obr. 5 Francisova turbína [33]

Použití

Používají se pro střední a větší průtoky a spády. Nejvíce se tyto turbíny uplatňují u přečerpávacích elektráren.

Francisova turbína se podle uložení hřídele dělí na:

- vertikální
- horizontální

Francisova vertikální turbína

Vertikální turbína se velmi využívala již v minulosti, zejména na jezových vodních dílech nebo derivačních s otevřeným přivaděčem v nížinách a řekách s větším průtokem. Nejvíce byly využívány jako pohon mlýnů nebo hamrů, městských elektráren a průmyslových závodů.

Princip činnosti

Na dně turbínové kašny naplněné vodou je umístěná vlastní turbína. Hřídel od turbíny vede svisle vzhůru do strojovny. Voda teče z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Následně při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V zakřivených mezilopátkových kanálech oběžného kola voda mění směr i rychlost, a tím předává svoji energii. Po odtoku z oběžného kola se voda odvádí do odpadního kanálu. Turbína je z důvodů snadné údržby a oprav umístěna nad spodní hladinou a voda je odváděna savkou. [33]

Aplikace

Francisova vertikální turbína se uplatňuje zejména na spádech od 1,5 m (s použitím násoskové kašny již od 0,5m) do cca 4–5 m, při středních a velkých průtocích (přibližně 600–8000 l/s) Vertikální turbína má ve v porovnání s horizontální turbínou větší účinnost, díky přímé savce. To se však záhy ztratí v převodu. Na menších spádech má za ozubeným převodem ještě druhý převod řemenový. U moderních rekonstrukcí se někdy vystačí jen se samotným řemenovým převodem na vertikálně postavený pomaloběžný generátor. U velkých turbín jsou mnohapólové generátory umístěny přímo na ose. Menší a starší turbíny jsou konstruovány s oběžným kolem tzv. normáloběžným, ale velká část strojů má oběžné kolo rychloběžné. [33]

Francisova horizontální turbína

V minulosti patřila horizontální Francisova turbína mezi nejrozšířenější vodní motory. Používala se nejčastěji na derivačních vodních dílech s otevřeným přivaděčem nebo tlakovým přivaděčem, avšak s otevřenou kašnou. Nejčastější uplatnění měly jako hlavní nebo doplňkový přímý mechanický pohon mlýnů nebo pil. Mnoho těchto strojů se zachovalo do současnosti. Některé z nich jsou provozovány jako MVE. [33]

Princip činnosti

Vlastní turbína je umístěna ve stěně turbínové kašny naplněné vodou. Její osa je dostatečně vysoko nad spodní vodou, aby nedošlo k zaplavení stroje. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole voda předává svoji energii a po odtoku z oběžného kola se odvádí do odpadního kanálu. Jelikož je turbína ve stěně kašny a vysoko nad spodní hladinou, řeší se to pomocí kolenové savky. Kolenová savka kruhového průřezu je pro toto horizontální uspořádání typická. [33]

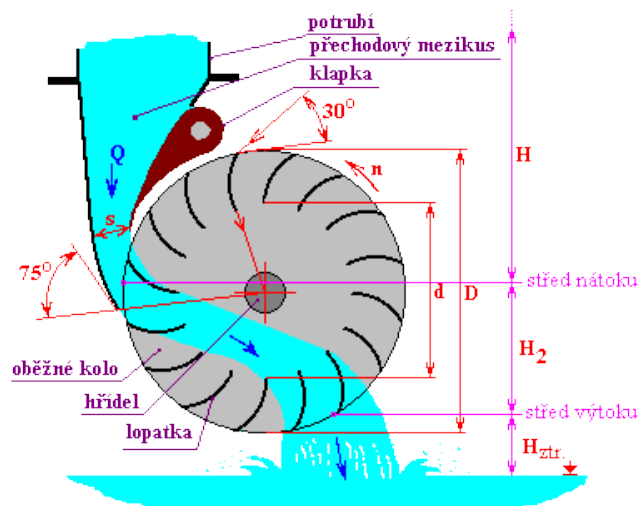
Aplikace

Francisova horizontální turbína se používá na spádech 2–8 m při malých a středních průtocích (přibližně 100–2000 l/s). Horizontální turbína má v porovnání s vertikální turbínou o několik procent nižší účinnost. To je však vyváženo spoustou jiných výhod. Mezi hlavní z nich patří vodorovná hřídel, vycházející z turbíny přímo do prostoru strojovny. Tím se výrazně zjednoduší převody. Mnohokrát se vystačí jen s řemenovým převodem, a tak se celková bilance účinnosti vyrovnává. Nejčastěji jsou tyto turbíny tzv. normáloběžné, pouze větší turbíny na malé spády, případně turbíny přímo spojené s generátorem mohou být rychloběžnější. [33]

2.1.4 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je radiální turbína s dvojnásobným průtokem, lopatky oběžného kola jsou obtékány ve dvou směrech. Australský inženýr A.G.M. Mitchel v roce 1903 navázal na Ponceletovu teorii vodního kola. V následujících letech v této teorii pokračoval prof. D. Bánki, který v letech 1912 – 1919 prováděl s tímto typem turbíny vědecké práce a v rámci těchto prací dodal turbíně vstupní těleso a vypracoval teorii jeho řešení. Kompletně byla

dokončena v roce 1917 a dodnes se používá u malých vodních elektráren. Účinnost Bánkiho turbíny dosahuje 70-85%. [35, 36]



Obr. 6 Průtok vody Bánkiho turbínou [49]

Princip činnosti

Voda se k turbíně přivádí potrubím kruhového průřezu. Před turbínou je umístěn mezikus, který mění kruhový průřez na obdélný. Na konci tohoto vstupního dílu je umístěn regulační orgán, nejčastěji klapka. Ve štěrbině mezi zakřivenou stěnou a klapkou se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí tangenciálně do oběžného kola hustě osazeného dlouhými lopatkami. Lopatky se snaží odklonit směr tekoucí vody do středu kola k hřídeli. Předání energie oběžnému kolu je způsobeno změnou směru. Při prvním průtoku lopatkami se turbíně předává asi 79 % z celkového výkonu. [35]

Aplikace

Bánkiho turbína má velmi široké využití a pro svou konstrukční jednoduchost se často používá u malých vodních elektráren, kde by konstrukce dokonalejších (a tím i dražších) typů turbín byla neekonomická. Je vhodné ji používat pouze tehdy, kdy její průměr 5-10krát menší, než spád „H“. Nevýhodou je část ztraceného spádu, to lze vyřešit savkou. Není vhodná tam, kde hrozí vzestup spodní vody. Výhodou je rychlá a snadná regulace. Turbína není náchylná ke kavitaci. Ložiska jsou uložena mimo vodu, takže je možno pracovat i s pitnou vodou bez nebezpečí jejího znečištění. Turbína se může točit bez vody a neklade odpor, to je výhodné na přečerpávacích elektrárnách a při kombinování více turbín k jednomu generátoru, kdy se nemusí spojkou odpojovat. [35, 36]

2.1.5 Peltonova turbína

Peltonova turbína patří mezi nejvíce využívané rovnotlaké turbíny. Tato turbína má poměrně jednoduchý hydraulický a konstrukční řešení. V roce 1880 ji vynalezl Lester Allan Pelton. U malých turbín je účinnost 80 až 85% a u velké turbíny 85% až 95%.



Obr. 7 Peltonova turbína [10]

Princip činnosti

Voda proudí turbínou tečně na obvod rotoru pomocí trysek. Rozvaděčem je dýza na přívodním potrubí, z níž voda vystupuje kruhovým paprskem a dopadá na lopatky lžičkovitého tvaru. Každá z lopatek se postaví proti směru toku vody, a tak otočí její směr. Výsledkem vzniklých sil je pohyb rotoru turbíny. Peltonova turbína je nejefektivnější v případě vysokého tlaku přívodní vody. Jelikož voda je jen obtížně stlačitelná, téměř všechna její energie je předána turbíně. Proto stačí pouze jediné oběžné kolo k převedení energie vody na energii rotoru. Průtok vody, a tím i výkon turbíny, se reguluje změnou výtokového průřezu dýzy zasouváním regulační jehly. K posuvu jehly se většinou používá servomotor. Rychlý zásah regulace (snížení výkonu) se provádí odkloněním vodního paprsku. [37]

Aplikace

Účinnost těchto turbín dosahuje 90 %. Peltonovy turbíny se používají pro vysoké spády, kdy výtoková rychlost vody je až 500 km/h, proto musejí být tyto turbíny vybaveny zařízením (tzv. odchylovač vodního paprsku), které v případě potřeby odchýlí vodní paprsek mimo lopatky turbíny (přívod vody nelze naráz uzavřít, protože silný dynamický ráz by měl za následek roztržení potrubí). Jsou vyráběny ve všech možných velikostech. Pro použití v energetice se využívá vertikální uložení a výkon až 200 MW. Nejmenší turbíny jsou veliké

několik desítek centimetrů a používají se pro malé vodní elektrárny s velkým spádem a relativně menším průtokem. Rozsah použití je 15–1800 m. [37]

2.1.6 Dériazova turbína

Dériazova turbína je přetlaková diagonální turbína. Voda vstupuje do oběžného kola diagonálně. Rozváděcí i oběžné lopatky jsou nastavitelné pro střední spády 40 až 120 metrů a střední průtočná množství vody. Rotor má větší průměr a proto na něm může být uloženo více lopatek. Účinnost turbíny dosahuje 93 %. Dériazova turbína je často využívána jako reverzní. To znamená, že může pracovat buď jako turbína, nebo jako čerpadlo. [39]



Obr. 8 dériazova turbína [51]

Výhody Dériazovy turbíny [40]:

- Přetlakový vodní motor s diagonálním průtokem vody -> Jedná se o konstrukční variantu Kaplanovy turbíny
- Výhoda: Náboj velkého průměru -> Větší počet oběžných lopatek než na Kaplanově turbíně (při spádu přes 70 je problém umístit 11 lopatek)
- Lze použít jako reverzní stroj -> Při novém nastavení úhlu oběžných i rozváděcích lopatek ve funkci difuzoru a smyslu otáčení může turbína pracovat jako diagonální čerpadlo v přečerpávací hydrocentrále

2.2 Technické pojmy

2.2.1 Kavitace

Kavitace je vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, následovaný jejich implozí. Pokles tlaku může být důsledkem lokálního zvýšení rychlosti, případně průchodu intenzivní akustické vlny v periodách zředění. Kavítace je zprvu vyplněna vakuem, potom se vyplní párou okolní kapaliny nebo do ní mohou difundovat plyny z okolní kapaliny. Při vymizení podtlaku, který kavítaci vytvořil, její bublina kolabuje za vzniku rázové vlny s destruktivním účinkem na okolní materiál. Kavítace vzniká například na lopatkách lodních šroubů, turbín, na čerpadlech a dalších zařízeních, která se velkou rychlostí pohybují v kapalině. [57]

Hlavní nevýhodou kavítace je, že zapříčiňuje hluk, snižuje účinnost strojů a také může způsobit mechanické poškození. Kavítaci způsobuje především velikost podtlaku, soudržnost (povrchové napětí) kapaliny a teplota: čím je nižší, tím menší je kavítace. [57]



Obr. 9 Poškození Francisovy turbíny kavítací [69]

2.2.2 Savka

Savka (sací roura) je nedílnou součástí přetlakové turbíny. Jedná se o pozvolně se rozšiřující kovovou trubici běžně kruhového průřezu, umístěna za oběžným kolem přetlakové turbíny a zanořená do spodní vody pod turbínou. Zvyšuje efektivitu turbíny tím, že za oběžným kolem vytváří podtlak. Díky použití savky může být turbína umístěna i relativně vysoko nad spodní hladinou. Se savkou se nejčastěji setkáme u Francisovy turbíny. V závislosti na orientaci osy turbíny se instaluje savka přímá nebo kolenová. [58]



Obr. 10 Savka přepadové turbíny [58]

2.3 Typy vodních elektráren

- **Jezové (průtočné)** - spád je vytvořen jezem.
- **Derivační (náhonové)** - spád je vytvořen umělým kanálem (náhonem).
- **Přehradní (akumulační)** - spád je vytvořen pomocí přehrady.
- **Přečerpávací** - slouží k vyvažování energetických špiček v rozvodné síti.
- **Přílivové** - využívající energii mořského přílivu.

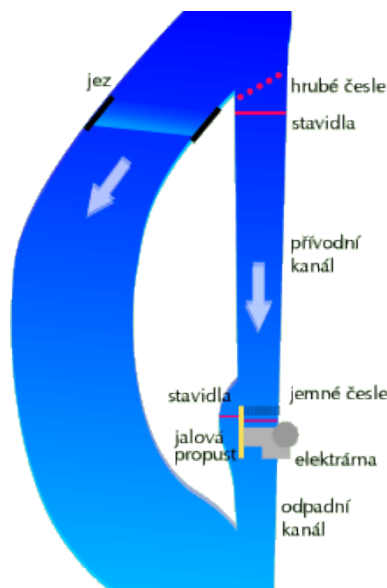
2.3.1 Přehradní a jezové (průtočné) vodní elektrárny

Na vodní tok navazuje vtokový objekt (jez, přehrada), který soustřeďuje průtok a zvyšuje spád vodního toku. Voda je přivedena přivaděčem přes česle, které zadržují mechanické nečistoty, do strojovny. Tam se energie vody v turbíně mění na mechanickou energii, která je přes hřídel přenášena do generátoru, kde se mění na elektrickou energii. Jezy lze dosáhnout spádů jen 10 až 20 m. Vodním elektrárnám konstruovaným pro tyto malé spády říkáme nízkotlaké průtočné. Kaplanovy turbíny je možné použít i pro velmi malé spády okolo 0,6 metrů i na těch nejmenších jezích. Přehradou lze vzdout vodu až do výše 100 m. Takovým elektrárnám říkáme středotlaké. Pokud používají spády ještě vyšší, nazýváme je

vysokotlaké. V České republice je dnes většina vodních elektráren postavena právě při přehradách, v minulosti však bývaly malé vodní elektrárny v provozu téměř na každém jezu. [43]

2.3.2 Derivační elektrárny

Derivační neboli říční elektrárny, využívají přirozeného toku řeky. K turbínám pohánějící generátor vyrábějící elektrickou energii je část toku řeky odkloněna kanálem nebo přivaděčem a tím voda získává větší výškový rozdíl. K zadržení určitého množství vody lze použít přehradu nebo odklonění. Klimatické podmínky a sezonní kolísání výšky hladiny řeky může způsobovat značné změny produkované energie.



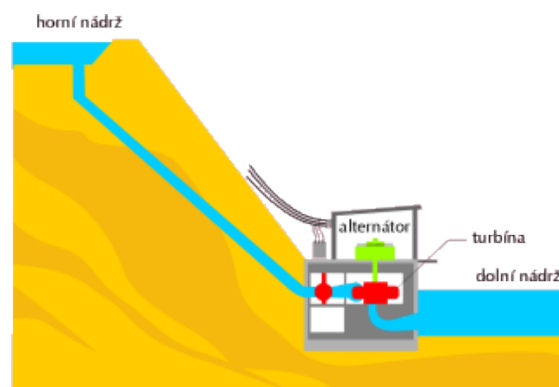
Obr. 11 Schéma derivační elektrárny [43]

2.3.3 Přečerpávací vodní elektrárny

Slouží ke skladování (akumulaci) elektrické energie prostřednictvím gravitační potenciální energie vody. Přečerpávací elektrárny řeší problém rozdílné spotřeby elektrické energie během dne. Je to doposud jediný technicky proveditelný způsob, jehož pomocí lze vyrobenou elektrickou energii ve velkém měřítku po delší dobu skladovat.

Přečerpávací vodní elektrárna má dvě vodní nádrže. Jedna z nich je umístěna na níže položeném místě (dolní nádrž), druhá pak na vyšším místě (horní nádrž). Obě dvě nádrže jsou spojeny spádovým potrubím o velkém průměru. V noci se využívá přebytečná energie z elektrorozvodné sítě a voda se přečerpává z dolní nádrže do horní (elektrárna se v tomto

režimu chová jako velký spotřebič elektrické energie vyrobené z jiných zdrojů energie). V horní nádrži se tak vytvoří velké zásoby vody. Ve chvíli, kdy vznikne v napájecí elektrorozvodné síti potřeba většího množství špičkové energie, je voda řízeně vypouštěna z horní nádrže do dolní nádrže přes turbínu vodní elektrárny a elektrická energie spotřebovaná na její noční přečerpání se tak během dne vrací zpět do elektrorozvodné sítě. Během přečerpávání se spotřebovává určitá část energie, za každou kilowatthodinu elektrické energie, kterou je třeba během špičky použít, je nutné mimo ni akumulovat asi 1,3 kWh do potenciální energie vody. Celková energetická účinnost obvykle nepřevyšuje 80 %. [43]



Obr. 12 Schéma derivační elektrárny [53]

Výhody a nevýhody

Výhodou je, že dokáží rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě elektrické energie a jejich poměrná jednoduchost na obsluhu i údržbu. Nevýhodou je vysoká investice, náročnost stavby a také možnost stavby jen ve vhodných terénních podmínkách.

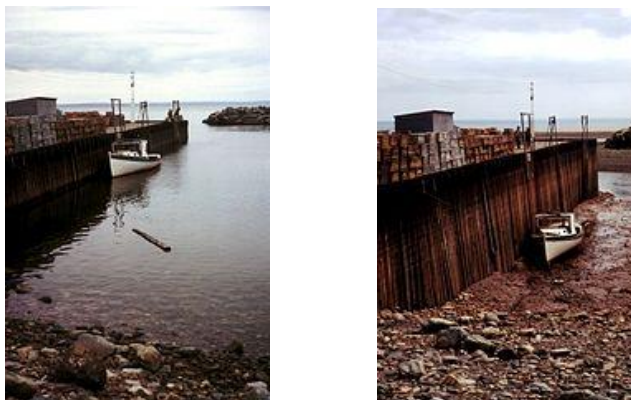
2.3.4 Přílivová vodní elektrárna

Přílivová elektrárna pro roztočení turbín využívá pravidelného opakování přílivu a odlivu moře a tím nepřímo kinetickou energii rotující soustavy Země a Měsíce a jejich pohybu okolo Slunce.

Přílivové elektrárny se mohou stavět pouze v oblastech, kde je vysoký rozdíl mezi přílivem a odlivem. V současnosti se upozorňuje i na značné ekologické dopady na okolí, jelikož zabraňují přirozenému vodnímu proudění, transportu horninových částí a znemožňují migraci biosféry. V současné době nejsou přílivové elektrárny masově využívány, ale je v nich velký příslib do budoucnosti.

2.4 Místa nejvyšších přílivů

V místech velmi silných přílivových a odlivových proudů se někdy stavějí přílivové elektrárny (např. v místě nejvyššího přílivu na světě v zálivu Bay of Fundy na východním pobřeží Kanady, to je patrné z Obr. 14). V oblastech velkých přílivů a odlivů vznikají často poměrně silné proudy. Silnější jsou při odlivu a mohou dosáhnout rychlosti až 22 kilometrů v hodině.



Obr. 13 a) záliv Fundy za přílivu, b) Záliv Fundy za odlivu [56]

Tab. 1 Rozdíl v metrech mezi max. přílivem a max. odlivem v daném místě [55]

Severní Amerika	záliv Fundy	Kanada	19.6
Jižní Amerika	ústí řeky Gallegos	Argentina	18.0
Evropa	ústí řeky Severn	Velká Británie	17.3
Austrálie a Oceánie	King Sound	Austrálie	14.4
Asie	Penžinský záliv	Rusko	13.2



Obr. 14 Místa na světě, kde je příliv větší než 4 metry [56]

2.5 Další dělení vodních elektráren

Dle tlaku proudící vody/ spádu [47]:

- nízkotlaké / spád do 20 m
- střednětlaké / spád do 100 m
- vysokotlaké / spád nad 100 m

Dle velikosti instalovaného výkonu [3]:

- velké s výkonem nad 200MW
- střední s výkonem od 10 do 200MW
- malé s výkonem do 10MW

Dle charakteru provozu:

- průtočné
- akumulční

Malé vodní elektrárny se dále dělí na [3]:

- domácí s výkonem do 35 kW
- mikroelektrárny s výkonem od 35 kW do 100 kW
- minielektrárny s výkonem od 100 kW do 1MW
- průmyslové vodní elektrárny s výkonem od 1 MW do 10 MW

Dle užití technologie:

- vodní kolo
- Archimédova šneková turbína
- Bánkiho turbína
- Francisova turbína
- Kaplanova turbína
- Peltonova turbína
- a jiné

3 Vývoj vodních elektráren v České republice a ve světě

3.1 Všeobecný vývoj

Tab. 2 Historické mezníky [75]

r. 600 př. n. l. - Chaldejci použili čerpací kolo na dopravu vody do závlahových kanálů
r. 230 př. n. l. - V Egyptě bylo použito hnací lžicové kolo na pohon věder k čerpání vody
r. 150 př. n. l. - V římské říši bylo použito vodní kolo na spodní vodu, v téže době používají v Řecku vodní mlýny s vodním kolem s vertikální osou (obdoba systému Savonius)
r. 50 př. n. l. - se o vodních mlýnech zmiňuje řecký zeměpisec Strabo
r. 361 - byly zbudovány první vodní mlýny v Německu na řece Mosel
r. 536 - v Římě byl zřízen první plovoucí lodní mlýn na řece Tibeře
r. 718 - tesař Halak postavil první vodní mlýn ve střední Evropě mlynáři Svachovi v Žatci na řece Ohři
r. 955 - byl postaven první vodní mlýn ve středním Německu u Wurzenu
od 12. stol. je vodní kolo již známo po celé Evropě
r. 1227 - byl uveden do provozu první plovoucí vodní mlýn na Labi
r. 1550 - Francouz Besson vyvinul sudové kolo pro mlýn v Toulouse
r. 1738 - Jozef Karol Hell postavil vodní vahadlový stroj na potenciální energii vody
r. 1749 - Jozef Karol Hell na Slovensku sestrojil vysokotlaký vodosloupcový stroj
r. 1750 - sestrojil lékař Johann Andreas Segner reakční vodní kolo
r. 1753 - Segnerovo kolo zdokonalil Leonard Euler
r. 1818 - bylo v Německu postaveno první celoželezné vodní kolo
r. 1824 - 1826 - vyvíjel Francouz prof. Claude Burdin první přetlakovou turbínu
r. 1827 - byla první Burdinova turbína uvedena do provozu
r. 1827 - 1833 - Burdinův žák, Benoit Fourneryon pracuje na novém typu odstředivé přetlakové turbíny
r. 1834 - Fourneryon staví svou turbínu pro francouzské železárně
r. 1837 - Fourneryonova turbína byla německým technikem Henschlem doplněna o savku
r. 1837 - 1841 - byla vynalezena Henschel-Jonvalova turbína
r. 1844 - vynalezl Redtenbacher stupňovitou turbínu
r. 1844 - sestrojil inženýr Zuppinger ve Švýcarsku první rovnotlakou turbínu s vnějším vstřikem
r. 1847 - 49 - americký inženýr anglického původu James Bicheno Francis zdokonalil Howdovu turbínu a vyvinul tak univerzálně použitelnou (vertikální i horizontální) přetlakovou turbínu
r. 1848 - vyvinul hornický technik Schwamkrug v Rudohoří rovnotlakou turbínu s vnitřním vstřikem
od r. 1860 - původní přenos hnací síly řešený po celé provozovně dřevěnými hřídeli a výlučně ozubenými koly je nahrazován celoželeznými transmisemi a plochými řemeny z hovězí kůže, ozubená kola zůstávají pouze jako první převod u vodních kol.
r. 1863 - byla vynalezena rovnotlaká Girardova turbína
r. 1870 - přes původní odpor zaznamenává Francisova turbína výrazné rozšíření po evropském kontinentě

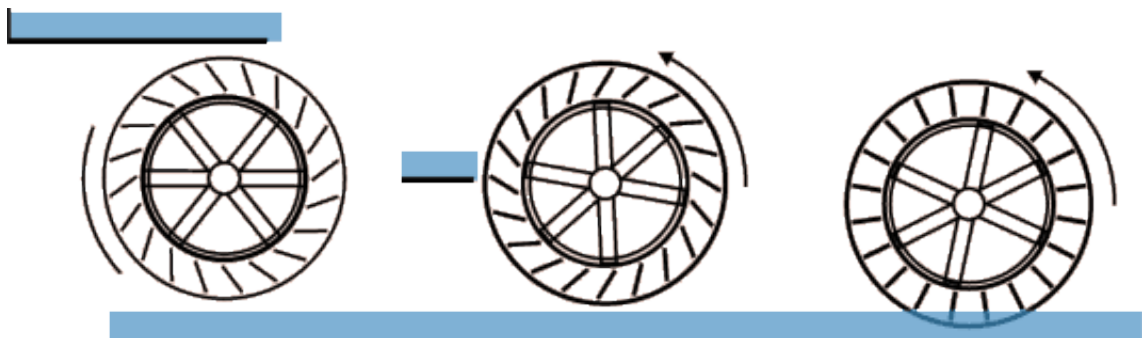
r. 1877 - Američan Lester Allen Pelton uvažuje nad přímotlakou turbínu s lžicovitými lopatkami
r. 1878 - německý profesor R. Fink doplňuje Francisovu turbínu natáčivými rozváděcími lopatkami
r. 1886 - sestrojuje Pfarr spirálovou Francisovu turbínu s pevným rozváděčem pro velké spády r. 1900 - A.G. Michael teoreticky vynalezl bubnovou turbínu, která se později stane předlohou pro maďarského profesora Bánkiho
r. 1912 - vyvíjí v Brně Prof.Ing.Dr.h.c. Viktor Kaplan vrtulovou turbínu
r. 1913 - vyvíjí Prof.Ing.Dr.h.c. Viktor Kaplan turbínu s natáčivými oběžnými lopatkami a systém patentuje
r. 1918 - byla matematicky vyřešena Bánkiho turbína
r. 1918 - je vyrobena první Kaplanova turbína (brněnskou slévárnou Ignace Storka)
r. 1919 - je (26.3.) první Kaplanova turbína uvedena do provozu v Ulmu
r. 1919 - profesor Banki uvádí v Budapešti do provozu rovnotlakou turbínu
r. 1920 - E. Crewdson staví rovnotlakou turbínu pro velké spády nazvanou "Turgo"
r. 1921 - se rozbíhá první Kaplanova turbína v Československu v Poděbradech
r. 1938 - Kaplanova turbína byla použita na spád 38 metrů
r. 1950 - úpravou Kaplanovy turbíny vzniká diagonální Deriazova turbína
r. 1951 - začala hromadná likvidace malých vodních mlýnů a přidružených provozů
r. 1953 - Kaplanova turbína byla použita na spád 56 metrů
r. 1958 - Kaplanova turbína byla použita na spád 71 metrů
r. 1993 - Prof. Ing. Karel Brada, DrSc. – vyvíjí Archimédovu šnekovou turbínu v Praze na ČVUT.
r. 1996 – realizace první Archimédovy šnekové turbíny

3.1.1 Vodní kola

Nejstarší zmínky předchůdců vodních elektráren jsou o vodních kolech. Nejdříve byla kola horizontální. Voda byla přiváděna na lopatky horizontálního kola dřevěnou troubou. Hřídel kola procházela volně spodním mlýnským kamenem a byla přímo upevněna do horního, otáčejícího se mlýnského kamene. Tento druh mlýna je velice jednoduchý, protože u něho nejsou žádné převody. Další z výhod je, že k jejich pohonu stačí malé množství vody, pokud je zajištěn dostatečný spád vody. Nejvíce se používaly v horských oblastech na prudkých potocích a říčkách. Hlavní nevýhodou mlýnů s horizontálními koly je poměrně malá účinnost, ale i přes tuhle nevýhodu se díky chybějícím převodům udržely v méně vyspělých oblastech světa až do 21. Století.

Svislá vodní kola budovali už staří Římané a po mnoha století to byl nejspolehlivější zdroj energie. Svislá vodní kola se používala na pohánění pily, valchy, hamrů, ale nejčastější

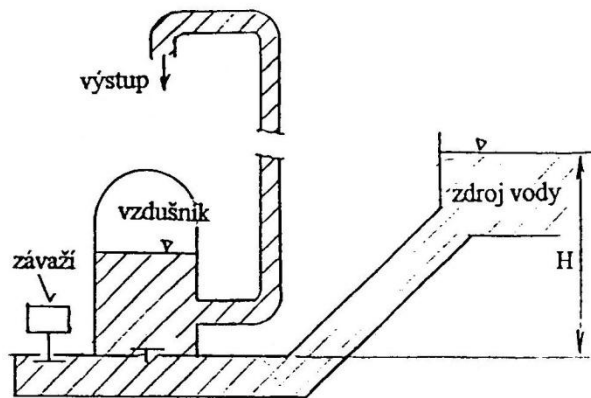
uplatnění měly u mlýnů na obilí. Podle toho se vodnímu kolu později začalo říkat mlýnské kolo. Vodní kola byla používána v rudných dolech k těžení rudy na povrch nebo k čerpání vody. Tato kola dosahovala velkých rozměrů. Voda ke kolům se často přiváděla z velkých vzdáleností. Další velkou výhodou těchto kol byla tzv. vratnost. Vratnost je možnost se točit oběma směry, to spočívalo ve změně svrchního náhonu. Nejčastěji se této výhody využívalo pro spouštění těžní nádoby.



Obr. 15 Vodní kola na svrchní, střední a spodní vodu [61]

3.1.2 Vodní trkač

O vodní trkač se zasloužil Josef Montgolfiér, byl to jeden z bratrů proslavených svými vzduchoplaveckými pokusy. Přivedená voda je vedena potrubím, které je zakončeno záklopkou. Dochází ke zvyšování tlaku v potrubí, což způsobí otevření další záklopkou, která otvírá malou nádrž neboli tzv. větrník. Voda tedy postupuje do nádrže a odtud potrubím do další výše položené nádrže. Začne-li v určitém okamžiku tlak klesat, záklopka větrníku se uzavře. Začne-li tlak stoupat, záklopka se v určitém okamžiku otevře a začne z potrubí vytékat do potoka. To způsobí snížení tlaku v potrubí a dojde k uzavření záklopkou vlastní hmotností. Tento proces se neustále opakuje. Nevýhodou vodního trkače je malá účinnost, protože jen malá část vody se dostane do vyšší nádrže, větší část vody proteče bezúčelně potokem. Největší uplatnění vodní trkač našel zejména tam, kde byl velký dostatek vody a nebyla možnost využít jiné zdroje energie.



Obr. 16 Schéma vodního trkače [60]

3.1.3 Vodosloupové stroje

Jsou založeny na podobném principu jako je parních strojů, ale zde se místo páry přivádí na píst voda pod tlakem. Tyto stroje byly využívány k čerpání důlních vod. Vodosloupové stroje nedosahovaly výkonů parních strojů, jejich provoz byl však pochopitelně levnější. Díky tomu se udržely v provozu ještě koncem 19. Století, např. na Slovensku v Banské Štiavnici.

3.1.4 Cesta k turbínám

V době, kdy už se nedalo vodní kolo dále zlepšovat, nastal čas přijít s novou technologií. Velký pokrok v tomto ohledu přinesly turbíny. Byl to výsledek dlouhodobého vědeckého bádání a výpočtů. První, kdo matematické bádání popsal a uvedl zákony v praxi byl francouzský fyzik Daniel Bernoulli. Z jeho teoretických předpokladů později vyšel profesor Göttingenské univerzity Jan A. Segner, který sestavil předchůdce turbíny Segnerovo kolo. Segnerovo kolo je založeno na jednoduchém principu. Voda je hnána pod tlakem středem stroje do trysek, z kterých tryská ven a podle zákona akce a reakce roztáčí systém.

Nepřímo na to navázal inženýr francouzského původu B. Fourneyron. Ten vyšel z myšlenky, že pro vodní kolo bude výkonnější vodorovné kolo než svislé vodní kolo. Pro potvrzení svých teorií postavil malou pokusnou turbínu, která měla účinnost do té doby neuvěřitelných 80%. Fourneyron, tak dal nový motor, který je vysoce účinný, ekologicky neškodný a prakticky zadarmo fungující motor. Fourneyronovým objevem se však vývoj vodních turbín nezastavil. Zatímco Fourneyrova turbína byla radiální tzn. voda protéká oběžným kolem turbíny ve směru jeho poloměru. Následně byly konstruovány i turbíny axiální u těchto

turbín voda protéká ve směruosy. Další zásadní pokrok do této vědy vnesl i J.B.Francis, který při konstrukci použil v tehdejší době moderní metodu- modelování. Turbíny vytvořené touto metodou sice měly dobré parametry, ale nešly matematicky vyjádřit. A to byl hlavní důvod odmítnutí této metody u evropských vědců. Avšak praktické zkoušky této metody ukázaly, že lepší turbíny neexistují a poté se začaly šířit i v do té doby výrazně skeptické Evropě. Následovaly turbíny bez rozváděcího kola, o které se zasloužil konstruktér Pelton. Vodu na lopatky ve tvaru misek přivádějí trysky. Také k metodě Peltonova kola evropští hydrotechnici zaujali odmítavý postoj. Netrvalo dlouho a ukázalo se, že na malých tocích s velkým pádem je nenahraditelná.

Zatímco energie vodního kola byla využívána pro velký rozsah lidských činností, moderní vodní turbíny slouží výhradně při výrobě elektrického proudu. Díky vodní energii jsme schopni vytvořit elektrický proud téměř zadarmo. Ovšem za předpokladu, že náklady na výstavbu elektrárny a vodního díla zaručují pro elektrárnu dostatečný a soustavný přívod vody nejsou příliš vysoké. To je hlavní důvod, kvůli kterému se vodní elektrické energie využívá především v oblastech prudkých toků s velkými spády, které jsou pro tento způsob nejvhodnější. Proto mezi země s nejrozšířenějšími vodními elektrárnami patří např. hornaté Švýcarsko nebo Norsko.

Nejvhodnější by bylo stavět vodní elektrárny na vodopádech. To byl i důvod proč jedna z prvních elektrických elektráren byla vybudována na niagarských vodopádech. Technické provedení u vodopádů je takové, že voda nad vodopády je vedena potrubím do elektrárny, která je umístěna pod vodopádem. Z toho vyplývá, že k pohonu turbín je využíván spád.

3.2 Vývoj vodních elektráren v České republice

V podmínkách ČR se využívá energie řek, říček a potoků. První vodní mlýn byl na území České republiky postaven v roce 718 na řece Ohři u Žatce. Tento vodní mlýn byl také první ve střední Evropě a vybuodoval ho tesař Halak mlynáři Svachovi. Kromě mletí obilí se tyto mlýny využívaly také k řezání dříví, roztloukání rudy, valchování sukna, k výrobě střelného prachu, k drcení sádry nebo pohonu měchů u kovářských či hutnických výhní. Z toho vyplývá, že se uplatňovaly v mnoha oblastech. Na konci 14. století mělo téměř každé venkovské město větší množství mlýnů. Využívaly se i mlýny s několika vodními koly. [2,9]

V naší zemi jsou nejstarší zmínky o vodních hamrech z 1. poloviny 14. Století. Velké množství jich bylo vybudováno v Podbrdí, kde byla výroba železa díky všudypřítomné rudě. Nejstarší dochovaný vodní hamr byl nejspíše založen v roce 1505 u Hut'ského rybníka na rokycansku v obci Dobřív. Datum vybudování je nejisté, protože nejsou dochování zprávy o jeho založení. Trvale je v provozu od roku 1657, poté co byl obnoven po vypálení švédským vojskem v roce 1634. V roce 1702 byl vybudován na stejném místě nový hamr, který v roce 1705 částečně vyhořel. Do roku 1774 se nechal za provozu postupně vyzdít a od roku 1774 se vzhled stavby a technologie téměř nezměnily. Vodní hamry odstranily nadlidskou dřinu, protože kovací stroj zmechanizoval výrobu a tím umožnil zvýšit objem výroby. Princip je založen na tom, že se voda přivádí náhonem z potoka nebo řeky do retenční nádrže (vyrovnávací nádrž). Budovy hamrů jsou stavěny vždy pod úrovní hladiny, aby bylo možno využít efektu korečkového kola. Nádrž u hamrů je opatřena propustí, která umožňuje regulaci průtoku vody do koryta (vantroků). Přebytečná voda přepadá a odtéká zpět do původního toku. Vantroky jsou realizovány z trámů a fošen, které přivádějí vodu nad jednotlivá kola, jejichž hřídele jsou osazeny v ložiskách ve zdech stavby. Vyzděný dvorek pod korytem, kde se otáčejí kola a kudy odtéká využitá voda, se nazývá lednice. Vantroky jsou najednou schopny pojmout několik desítek tun vody a v jejich dně jsou tzv. okna, která lze jednoduchým pákovým mechanismem ovládaným z vnitřku budovy otevřít, aby voda proudila na korečky jednotlivých vodních kol. U vodního hamru Dobřív má každé ze čtyř vodních kol výkon kolem 8 kW. Ty pohánějí stroje i elektrický generátor. [72]



Obr. 17 Čelní pohled na vodní Hamr v Dobřívě na Rokycansku

První vodní elektrárna byla postavena v Písku v roce 1888. Čeňkova pila, která je dnes národní kulturní památkou byla vybudována v roce 1912. Mezi nejstarší velké vodní elektrárny patří Vrané a Střekov, na kterých byl provoz spuštěn v roce 1936. Ve 20. století byla postavena většina vodních elektráren v České republice (Tab. 2).[71]



Obr. 18 Vodní elektrárna v Písku

Na počátku 20. století existovaly dvě vodní elektrárny v Praze. Jedna z nich je dodnes na pražské Štvanici. Elektrárna Štvanice je vybavena třemi Kaplanovými turbínami o výkonu 1,89 MW, celkem tedy 5,67 MW. Elektrárna je plně automatizovaná, ovládaná z centrály ve Štěchovicích. Po povodních v roce 2002 prošla elektrárna rekonstrukcí.



Obr. 19 Pohled na vodní elektrárnu na pražské Štvanici [71]

Využití vodní energie má u nás dlouhou tradici. Ještě v roce 1930 bylo v tehdejší Československu evidováno téměř 17 tisíc elektráren, mlýnů, pil, hamrů a dalších zařízení využívajících vodní energii. V padesátých letech 20. století byla však většina z nich cíleně zlikvidována, protože představovala konkurenci centrálně řízenému socialistickému hospodářství. Počátkem osmdesátých let bylo v ČR pouze asi 135 malých vodních elektráren, během následujících deseti let vzrostl tento počet zhruba na 900. V současné době je v České republice přes 1300 malých vodních elektráren s výkonem do 1 MW. [4, 73]

V České republice je hlavním posláním vodních elektráren pracovat jako doplňkové elektrárny k jiným velkým energetickým zdrojům. Hlavní výhodou je rychlost náběhu ve velice krátké době a zároveň velkým výkonem, čímž mohou vyrovnávat okamžitou energetickou bilanci v elektrizační síti. Je to způsobeno především tím, že v ČR je nedostatek

vodních zdrojů, kde by se mohly vodní elektrárny účinně postavit, protože v zeměpisné poloze České republiky mnoho řek pouze pramení, a to má za následek rozptýlení vodní energie v malých tocích. Další z nevýhod je, že řeky v České republice nemají často ani dostatečný spád a dostatek vody. V letních měsících se často z mnoha řek stávají pouze říčky, což k situaci stavení vodních děl také nenahrává.

Stavba vodních elektráren byla v minulých desetiletích zaměřena především na velké údolní přehradu. V České republice je postaveno 10 velkých hydroelektráren, které jsou převážně vybudovány na toku Vltavy, kde tvoří tzv. vltavskou kaskádu. Provoz elektráren na vltavské kaskádě je řízen z centrálního dispečinku ve Štěchovicích a jejich provoz je automatický.

Tab. 3 Přehled vodních elektráren provozovaných skupinou ČEZ v České republice [74]

Elektrárna	Instalovaný výkon (MW)	Rok uvedení do provozu
Akumulační a průtočné vodní elektrárny		
Lipno I	2 x 60	1959
Orlík	4 x 91	1961–1962
Kamýk	4 x 10	1961, rekonstrukce 2008
Slapy	3 x 48	1954–1955
Štěchovice I	2 x 11,25	1943–1944
Vrané	2 x 6,94	1936, rekonstrukce 2007
Střekov	19,5	1936
Malé vodní elektrárny		
Lipno II	1,5	1957
Hněvkovice	2 x 4,8	1992
Kořensko I	2 x 1,9	1992
Kořensko II	0,94	2000
Želina	2 x 0,325	1994
Mohelno	1 x 1,2; 1 x 0,56	1997, 1999
Dlouhé Stráně II	0,16	1996
Přelouč	2 x 0,68; 2 x 0,49	1927, rekonstrukce 2005
Spálov	2 x 1,2	1926, rekonstrukce 1999
Hradec Králové I	3 x 0,25	1926
Práčov	9,75	1953, rekonstrukce 2001
Pastviny	3	1938, rekonstrukce 2003
Obříství	2 x 1,679	1995
Les Království	2 x 1,105	1923, rekonstrukce 2005
Předměřice nad Labem	2,6	1953, rekonstrukce 2009
Pardubice	1,96	1978
Spytihněv	2 x 1,3	1951, rekonstrukce 2009

Brno Kníničky	3,1	1941
Brno Komín	1 x 0,106; 1 x 0,140	1923, rekonstrukce 2008
Vydra	2 x 3,2	1939
Hracholusky	2,55	1964
Čeňkova Pila	0,096	1912
Černé jezero I	1,5	1930
Černé jezero II	0,04	2004
Černé jezero III	0,37	2005
Bukovec	2 x 0,315	2007
Mělník	0,59	2010
Přečerpávací vodní elektrárny		
Štěchovice II	45	1948, rekonstrukce 1996
Dalešice	480	1978, rekonstrukce 2008
Dlouhé Stráně I	650	1996

3.2.1 Největší vodní elektrárny v České republice

1. Vodní elektrárna Dlouhé Stráně (650 MW)

Jedná se o nejvýkonnější vodní elektrárnu s instalovaným výkonem 2x325 MW a spádem 510,7 metrů. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně patří společnosti ČEZ a je vybudována na řece Divoká Desná v chráněné krajinné oblasti Jeseníky. Z ekologických důvodů musel být provoz umístěn v podzemí. Výstavba elektrárny začala v roce 1978, ale do provozu byla uvedena až v roce 1996. Celkové náklady na stavbu dosáhly zhruba 6,5 miliardy korun, avšak díky svému výkonu se tyto náklady podařilo zaplatit již po sedmi letech provozu. Elektrárna se může pyšnit největšími reverzními Francisovými turbínami v Evropě (2 x 325 MW). Podzemní vybavení elektrárny je zařízení z důmyslně propojených sítí komunikačních, větracích a odvodňovacích tunelů a šachet s celkovou délkou 8,5km. Provoz elektrárny je řízen dálkově, z centrálního dispečinku společnosti ČEZ. Horní nádrž je umístěna na vrcholu hory Dlouhé Stráně ve výšce 1 350 metrů, dolní nádrž (s výškou hráze 56 metrů) se nachází na řece Divoká Desná ve výšce 824,7 metrů. Je zde vybudován i tunel s plošinovým výtahem pro případ, že by se k horní nádrži nedalo dostat po silnici. [5]



Obr. 20 Vodní elektrárna Dalešice [50]

2. Vodní elektrárna Dalešice (480MW)

Leží na řece Jihlavě pod 104 metrů vysokou hrází vodní nádrže Dalešice a je také součástí Skupiny ČEZ. Do provozu byla spuštěna v roce 1978. O celkový výkon elektrárny se starají 4 Francisovy reverzní turbíny a každá z nich má výkon 120MW. Všechny turbíny najednou jsou používány velmi zřídka, obvykle se využívá pouze jednoho či dvou soustrojí. Elektrárna Dalešice je součástí komplexu Dukovany a v případě náhlé poruchy dokáže nahradit jeden blok této jaderné elektrárny. Zároveň elektrárna je nejrychleji nabíhající přečerpávací vodní elektrárna v České republice. Z klidové fáze se na plný výkon rozběhne za necelých 55 sekund. Stejně jako u předchozí elektrárny je i elektrárna Dalešice ovládána z pražské centrály. [5]



Obr. 21 Pohled na vodní elektrárnu Dalešice [5]

3. Vodní elektrárna Orlík (364 MW)

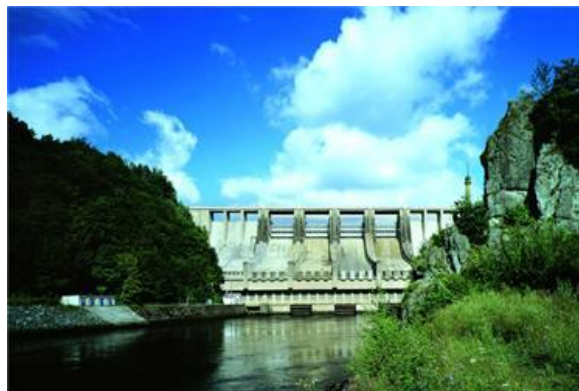
Akumulační hydroelektrárna Orlík se nachází se na stejnojmenné vodní nádrži na řece Vltavě a je součástí tzv. vltavské kaskády. Dosahuje výkonu 364MW a ve strojovně jsou umístěny 4 Kaplanovy turbíny pro spád 70,5 metrů. Zprovozněna byla v roce 1961 – 1962 a je také majetkem společnosti ČEZ. [5]



Obr. 22 Vodní elektrárna Orlík

4. Vodní elektrárna Slapy (144 MW)

Akumulační vodní elektrárna Slapy je také součástí vltavské kaskády a majetkem společnosti ČEZ. Je umístěna na vodní nádrži Slapy a provoz na ni byl spuštěn v roce 1956, čímž se stala první velkou stavbou vltavské kaskády po druhé světové válce. O celkový výkon se starají 3 Kaplanovy turbíny (každá 48 MW) pro spád 56 metrů. Přímou v hrázi je umístěna strojovna elektrárny a další vybavení, jako například rozvodny, transformátory nebo i administrativní místnosti. [5]



Obr. 23 Pohled na vodní elektrárnu Slapy [5]

5. Vodní elektrárna Lipno (120 MW)

Stejně jako akumulční vodní elektrárna Orlická a Slapy je i Lipno součástí vltavské kaskády a také majetkem společnosti ČEZ. Elektrárna leží na stejnojmenné vodní nádrži na Vltavě. Poprvé byla spuštěna v roce 1959 a o celkový výkon se starají 2 Francisovy turbíny (každá 60 MW). Nachází se v hloubce 160m pod terénem v blízkosti hráze. [5]



Obr. 24 Pohled na vodní elektrárnu Lipno [5]

3.2.2 Vyhlídky do budoucna

V současné době jsou v České republice 3 velké přečerpávací elektrárny, které jsou majetkem skupiny ČEZ. Společnost ČEZ v nejbližší době neplánuje stavbu dalších přečerpávacích elektráren. Realizace nových přečerpávacích elektráren tedy závisí především na tom, zda se najdou soukromí investoři, kteří stavbu přečerpávací elektrárny zaplatí. Ministerstvo průmyslu a obchodu vytypovalo 6 lokalit vhodných pro stavbu nových přečerpávacích vodních elektráren a bude záležet na rozhodnutí investorů, do kterého projektu budou chtít investovat svoje peníze. Investice do výstavby se pohybuje mezi 20-30 miliardami korun, ale podle odhadů odborníků, by se investorům měly vrátit peníze během 7 až 10 let. [6]

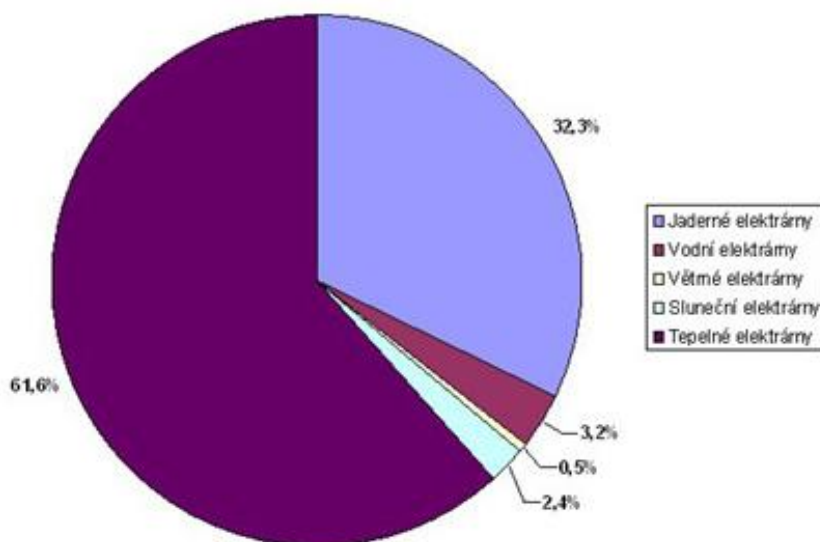
U přečerpávacích elektráren je nutné mít potřebné převýšení mezi dolní a horní nádrží, proto všechna vytipovaná místa leží v horách. Mezi vybrané lokality patří Šumný důl a Červená jáma v Krušných horách, Smědavský vrch v Jizerských horách, Spálená a Velká Morava v Jeseníkách nebo Slavič v Beskydech. Ze všech vyjmenovaných projektů je na tom zatím nejlépe projekt přečerpávací elektrárny v lokalitě Šumný důl v Krušných horách. Před necelými třemi lety začala projekt připravovat firma Synergion. Loni projekt převzal nový investor, společnost Energion. V případě úspěšného dotažení projektu se předpokládá, že by elektrárna mohla být zprovozněna už v roce 2020. O celém projektu se ještě musí jednat na

ministerstvech průmyslu a obchodu a životního prostředí. Stavbu také bude muset posvětit Ústecký kraj, který by musel změnit územní plán. Vedení ústeckého kraje je však proti stavbě. Hlavním argumentem je, že vybrané území je cennou přírodní oblastí. Zastánci stavby však dokládají, že vybraná oblast je geologicky a hospodářsky nejlepší. Bude tedy záviset na vzájemné shodě, jak to s plánovaným projektem dopadne. [6]

3.2.3 Množství vyrobené energie v roce 2011

Podle tiskové zprávy, kterou vydala společnost ČEZ začátkem letošního roku, vyrobily vodní elektrárny v roce 2012 elektřinu pro 460 tisíc domácností v celé ČR. Vodní elektrárny skupiny ČEZ, a.s. loni dodaly do sítě více než 1,629 miliardy kWh elektřiny. Nejsilnějším měsícem roku 2011 byly z hlediska dodávky ve vodních elektrárnách ČEZ, a. s., leden (do sítě dodáno 212,7 milionu kWh), únor (168,9 milionu kWh), březen (159,4 milionu kWh) a prosinec (147,3 milionu kWh). Mezi čísly o dodávce jednotlivých vodních elektráren ČEZ, a. s., dominují tradiční velké zdroje: přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně (do sítě dodaly 403,5 milionů kWh), Dalešice (335,5 milionů kWh), vodní elektrárny Orlický (299,9 milionů kWh) a Slapy (Vltava; 255,9 milionů kWh). [16, 17]

V roce 2011 proběhly rekonstrukce na vodní elektrárně ve Vraném nad Vltavou a přečerpávací vodní elektrárna ve Štěchovicích. V předešlých letech modernizace také proběhly na vodních elektrárnách v Kamýku nebo Mohelnu. V následujících letech se počítá s revitalizací elektráren Slapy, Orlický a Lipno. Modernizace jednotlivých elektráren umožní zvýšení jejich účinnosti o 5%. [17]



Obr. 25 Podíl zdrojů na výrobě elektrické energie v ČR v roce 2011 [38]

3.3 Vývoj vodních elektráren ve světě

3.3.1 Historie vodních elektráren ve světě

První plán na vodní elektrárnu vypracoval v Anglii William George Armstrong v roce 1878 na řece Cragside v Northumberlandu. Schoelkopfova elektrárna č.1 byla postavena v blízkosti Niagarských vodopádů na americké straně a produkovat elektřinu začala v roce 1881. První Edisonova vodní elektrárna, Vulcan Street Plant, začala vyrábět elektřinu 30. září 1882, v Apletonu ve státě Wisconsin. Její výkon byl zhruba 12,5 kW. V roce 1886 už v USA a Kanadě bylo 45 vodních elektráren. Do roku 1889 se počet vodních elektráren rozrostl zejména ve Spojených státech. V roce 1889 jejich počet na území spojených států dosahoval téměř 200. [15]

Na počátku 20. Století, bylo velké množství vodních elektráren vybudováno v horách blízko městských částí. V USA do roku 1920 pocházelo 40% energie z vodní energie. Poté byl přijat zákon pro regulaci vodních elektráren na federální půdě a vodních tocích. Začaly se budovat přehrady, které měly fungovat pro další záměry např. ochrana před povodněmi a zavlažování. K tomuto účelu byla v roce 1928 postavena Hooverova přehrada nebo přehrada Bonneville, která byla vybudována v roce 1937. Hooverova elektrárna dosahovala výkonu 1345 MW (po modernizaci v roce 1961 dosahuje výkonu 2074 MW) a ve své době byla největší na světě. V roce 1942 jí o prvenství připravila vodní elektrárna Grand Coulee s výkonem 6809 MW. V roce 1984 prvenství připadlo vodní elektrárně Itaipu v Jižní Americe s výkonem 14 000 MW. Překonala ji Vodní elektrárna Tři soutěsky v Číně v roce 2008 s výkonem 22 500 MW. V současné době mají Spojené státy americké více než 2000 vodních elektráren, které dodávají 49 % své elektřiny z obnovitelných zdrojů. [15]

Přilivové elektrárny

První zmínka o stavbách přilivových mlýnů pochází z Francie a Itálie ze 13. století. Přilivová vlna se vlévala přímo do nádrží a při odlivu se vypouštěla na mlýnská kola. Za nejstarší přilivovou elektrárnu je považovaná Dee Hydro Station, která byla postavena už v roce 1913 v Anglii v hrabství Cheshire. Její výkon byl pouze 635 kWh. Druhá významná přilivová elektrárna, podstatně výkonnější a modernější byla postavena v roce 1966 ve Francii v Bretani, v ústí řeky Rance. Výkon elektrárny je 240 MW, je vybavena 24 reverzními turbínami, což jí umožňuje využívat jak přílivu, tak odlivu a produkuje 540 milionů kWh elektrické energie. [13, 30]

V minulosti existoval ambiciózní projekt v Sovětském svazu na přehrazení úžiny mezi poloostrovem Kola a kontinentální Asií, kde měly být postaveny dvě přílivové elektrárny. Nakonec se tento projekt nerealizoval. [45]

V současné době je několik rozjednaných projektů na stavbu rozsáhlých přílivových elektráren, především v Jižní Koreji a dále například v indickém státu Gudžarát a na dalších místech. Jedním ze států, které se o energii přílivu zajímají, je také Skotsko. Podle rozhodnutí skotské vlády z března 2011 má být první elektrárna o výkonu 10 MW dodávaném 10 turbínami postavených na mořském dně vzniknout v sousedství ostrova Islay. Podobnými projekty se intenzivně zabývají také Kanada a USA. [45]



Obr. 26 – Přílivová elektrárna na ústí řeky Rance ve Francii [54]

Mezi nevýhody přílivových elektráren patří fakt, že jejich pracovní doba mnohdy nesouhlasí s energetickou špičkou elektrizačních soustav a místa vhodná pro výstavbu těchto elektráren jsou často značně vzdálena od míst spotřeby produkované energie. Přesto energie přílivů a odlivů je nadějným energetickým zdrojem pro využití v budoucnosti.

Přečerpávací elektrárny











První přečerpávací vodní elektrárny byly použity již v roce 1890 v Itálii a Švýcarsku. Ve Spojených státech amerických se poprvé použily v roce 1930 v Connecticutu. Ve světě se dnes nachází stovky přečerpávacích vodních elektráren. Jen v Německu je cca 35 PVE a na světě se jich nachází přes 60 s výkonem nad 1000 MW. Oproti tomu je na světě přes 500 přečerpávacích elektráren s výkonem nad 100 MW. V přímořských a ostrovních státech je možné na vhodných lokalitách stavět mořské přečerpávací elektrárny. Elektrárny vzniknou vybudováním umělé dolní nádrže na hladině moře a voda se přečerpává do horní umělé nádrže. Taková elektrárna je např. přečerpávací elektrárna Okinawa Yanbaru na japonském ostrově Okinawa. Umělou nádrž má umístěnou 150 metrů nad hladinou moře a je do ní

přečerpávána mořská voda. Další stavby podobných elektráren jsou plánovány Havajských ostrovech nebo v Irsku. [44, 68]

3.3.2 Současná situace využívání vodní energie

Vodní energie se produkuje ve 150 zemích, výroba elektřiny z vodní energie v celosvětovém měřítku činí 16,6 % a mezi obnovitelnými zdroji dosahuje téměř 92 % .

Tab. 4 Deset z největších výrobců energie z vodních elektráren [15]

Země	Roční vodní produkce	Instalovaný výkon (GW)	Kapacita	% Z celkové Kapacity
Čína 	652,05	196,79	0,37	22,25
Kanada 	369,5	88,974	0,59	61,12
Brazílie 	363,8	69,08	0,56	85,56
Spojené státy 	250,6	79,511	0,42	5,74
Rusko 	167	45	0,42	17,64
Norsko 	140,5	27,528	0,49	98,25
Indie 	115,6	33,6	0,43	15,8
Venezuela 	85,96	14,622	0,67	69,2
Japonsko 	69,2	27,229	0,37	7,21
Švédsko 	65,5	16,209	0,46	44,34

Na rozdíl od České republiky v některých státech světa vodní energie pokrývá velkou část spotřeby elektrické energie. Ve větších státech je vodní energie nepostradatelným prvkem elektrické energie. Státy, které mají dostatečné množství vodních toků a zároveň finančních prostředků, se zaměřily na stavbu velkých hydroelektráren. Největší vodní elektrárny jsou postaveny v Číně, Brazílii, Kanadě a Rusku.

Mezi státy, které jsou schopni téměř pokrýt výrobu elektrické energie pomocí hydro – elektráren patří Brazílie, Kanada, Norsko, Nový Zéland, Venezuela, Paraguay či Švýcarsko. Nejlépe z vyjmenovaných států je na tom Paraguay, která je takto schopna pokrýt téměř 100% své potřeby a ještě 90% z vyrobené energie vyváží do sousedních států jako je Argentina a

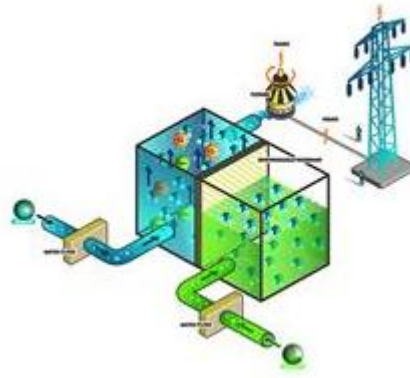
Brazílie. Paraguay patří mezi největší světové vývozce elektrické energie. Z tabulky č. 4 je vidět, že tepelné elektrárny se na výrobě elektrické energie podílejí pouze 0,1%.

Tab. 5 Přehled výroby elektrické energie ve státě Paraguay [70]

Zdroj	Instalovaný výkon (MW)	Instalovaný výkon (% z celku)
Itaipu Itaipu	7000	86 %
Yacyretá	900	11 %
Acaray	210	2,9 %
Tepelné	6	0.1 %
CELKEM	8116	100 %

Další ze států, který vyrobí velké množství elektřiny z hydroelektrických zdrojů, přesněji až 99 % , je Norsko. V Norsku můžeme díky zeměpisné poloze nalézt nejen tisíce jezer, ale i velké množství řek a nespočet vodopádů. V roce 2002 v Norsku nastal rozmach výstavby malých vodních elektráren. Jedním z hlavních argumentů výstavby většího množství elektráren byl důvod, že výstavba malých vodních elektráren je šetrnější k životnímu prostředí. Poukázala na to i celá řada výzkumných projektů financovaných norskou vládou. A tak už v roce 2002 bylo uvedeno do provozu 250 nových malých vodních elektráren a do roku 2007 už jich fungovalo téměř 800. Plánuje se, že do roku 2020 bude až 10 milionů MWh elektřiny pocházet z malých vodních elektráren postavených od roku 2002. V Norsku zbylé procento produkce elektrické energie zajišťují malé tepelné elektrárny a větrné elektrárny. V zemi se do budoucna plánuje s výstavbou bioenergetických zdrojů a rozvojem větrných elektráren. [7]

Norsko se také může pyšnit výstavbou první tzv. osmotické elektrárny ve městě Tofte u Osla, která byla postavena před třemi lety. Pro vybudování je potřeba dostatečné množství slané i sladké vody, aby osmóza fungovala. Poté, co firma Statkraft ověřila technologii, chce začít s plným využitím osmotické energie v roce 2015.



Obr. 27 Schéma fungování osmotické elektrárny [7]

3.3.3 Největší vodní elektrárny na světě

V posledních desetiletích nastal velký rozmach megalomanských projektů po celém světě. Mezi největší projekty posledních let patří následující vodní díla.

1. Vodní elektrárna Tři soutěsky, Čína

Největší vodní elektrárna na světě je vodní elektrárna Tři soutěsky v Číně. Začala se budovat v roce 1994 na řece Jang-c'-ťiang u města I-čchanhg v provincii Chupej v Číně. Přehradní hráz byla v roce 2006 dokončena a posléze se začala napouštět vodou. Rozsáhlost projektu si vyžádala přestěhování 1,3 milionu lidí, kteří obývali 13 velkoměst, 140 měst a přes 1300 vesnic. Výška přehradní hráze je 185 metrů a délka dosahuje 2 309 metrů. Vzniklý vodní koridor je 660 kilometrů dlouhý, průměrně 1,1 kilometru široký a hloubka je kolem 170 metrů. Velikost Tří soutěsků dokazuje už jen to, že dokáží pojmout 39 miliard krychlových metrů vody. Hydroelektrárna má 26 generátorů a obsah výkonu dosahuje zhruba 22 500 MW (to je téměř 62krát více, než výkon Orlíku). Roční produkce dosahuje 84,7 TWh elektřiny. Elektrárna svým rozsahem pokryje až desetinu celkové spotřeby elektřiny v Číně. Náklady na Tři soutěsky dosáhly 37,23 miliardy dolarů (to je zhruba 651,7 miliardy Kč), a tím byly náklady na elektrárnu nakonec čtyřnásobně vyšší, než se předpokládalo. Původní předpoklady totiž odhadovaly cenu 8,35 miliardy korun dolarů. [8]



Obr. 28 Vodní elektrárna Tři soutěsky [8]

2. Vodní elektrárna Itaipu, Brazílie/Paraguay

Druhá největší vodní elektrárna na světě je vodní elektrárna Itaipu. Elektrárna byla spuštěna v roce 1984 na řece Paraná, jež tvoří hranici mezi Brazílií a Paraguají. Přehradní hráz dosahuje výšky 196 metrů, jezero za přehradou dosahuje hloubky až 100 metrů a délka jezera je až 170 kilometrů. Hráz elektrárny spojuje obě země, které Itaipu využívají k získání velkého množství energie. Paraguai díky tomu pokryje až 91% a Brazílie 25% veškeré spotřeby. O celkový výkon 14 GW (Temelín má výkon 2 GW, čili Itaipu má výkon jako 7 Temelínů) se stará 20 turbogenerátorů, které ročně vyrobí zhruba 94,7 TWh elektřiny. [8]



Obr. 29 Vodní elektrárna Grand Coulee [62]

3. Hydroelektrárna Guri, Venezuela

Tato obří vodní elektrárna je součástí přehrady Guri. Byla vystavěna v roce 1986 na řece Caroni zhruba 100 kilometrů před jejím soutokem s jihoamerickým veletokem Orinoko. Přehradní hráz je vysoká 162 metrů a zadržuje 138 km³ vody. Hydroelektrárna je s instalovaným výkonem 10,7 GW největším dodavatelem elektřiny do rozvodné sítě v zemi, přičemž Venezuela spotřebuje nejvíce elektrické energie ze všech jihoamerických států.

Elektrárnu na přehradě Guri pohání 10 turbogenerátorů, které ročně vyprodukují 46 TWh elektřiny. [8]



Obr. 30 Strojovna hydroelektrárny Guri [63]

4. Vodní elektrárna Tucuruí, Brazílie

Hydroelektrárna Tucuruí čerpá energii z vody řeky Tocantins protékající regionem Pará v Brazílii. Toto vodní dílo se nachází se v amazonském deštném pralese, začalo se budovat v roce 1975 a bylo dokončeno a napuštěno vodou o devět let později. Délka přehrady je téměř 12,5 kilometrů a hráz je vysoká 78 metrů. Elektrárna má celkem 25 turbín a dosahuje výkonu 8 370 MW. Ročně vyrobí 21,4 TWh elektřiny. Tucuruí zásobuje energií 13 milionů lidí, avšak 60% vyrobené elektřiny využívá průmysl. [8]



Obr. 31 Vodní elektrárna Tucuruí [64]

5. Vodní elektrárna Grand Coulee, spojené státy americké

Je to vůbec jedna z nejstarších vodních elektráren, avšak se svým celkovým výkonem 6,8 GW patří mezi největší vodní elektrárny světa. Byla postavena již v roce 1942 na řece Columbia ve státě Washington. Přehradní hráz má výšku 176 metrů a celkovou délku 1272 metrů. Hydroelektrárna Grand Coulee dodává elektrickou energii celému severozápadu Spojených států. Elektrárna se skládá z 24 turbogenerátorů, jejichž roční produkce elektřiny je 20TWh. [8]



Obr. 32 Vodní elektrárna Grand Coulee [8]

6. Sajano Šušenská hydroelektrárna, Rusko

Jedna z největších vodních elektráren je v Rusku umístěna na Sibiřském veletoku Jeniseji. Tato elektrárna byla uvedena do provozu v roce 1989 a leží poblíž rusko- mongolských hranic. Přehradní hráz v nejvyšším bodě dosahuje výšky 242 metrů a na délku má více než jeden kilometr. Tato impozantní stavba se bohužel často potýká s různými technickými problémy, proto se v současné době uchýlili k rekonstrukci, která by měla být dokončena v roce 2014. Nefunkční elektrárna s výkonem 6,4 GW a roční produkcí elektřiny 26,8 TWh by pro Rusko znamenala velkou ztrátu, protože pokrývá téměř 3% spotřebu elektrické energie. [8]



Obr. 33 Hydroelektrárna Sajano Šušenská [64]

7. Vodní elektrárna Krasnojarsk, Rusko

Krasnojarsk také leží na řece Jenisej a hranice přehrady jsou u stejnomenného města. Stavba této elektrárny začala v roce 1961 a trvala jedenáct let. Hráz elektrárny je vysoká 120 metrů. Dosahuje výkonu 6 GW, ale většinu roční produkce elektřiny 20,4 TWh dodává do blízké továrny na zpracování hliníku, která je druhou největší na světě. [8]



Obr. 34 Vodní elektrárna Krasnojarsk [64]

8. Hydroelektrárna Robert- Bourassa, Kanada

Osmá největší elektrárna světa je postavena na řece la Grande v kanadské provincii Quebec. Začala se budovat v roce 1974 a provoz byl spuštěn roku 1981. Hydroelektrárna Robert-Bourassa je součástí projektu James Bay. V rámci tohoto projektu jsou na stejné řece vybudovány ještě další přehradní hráze, které společně vytvářejí rozsáhlý komplex vodních staveb. Dříve se elektrárna jmenovala La Grande-2, ale později byla přejmenována po premiérovi Quebecu Robertu Bourassovi, který měl zásadní vliv na zahájení projektu James Bay. O celkový výkon 5616 MW se stará 16 generátorů, přičemž strojovna se nachází

v podzemí pod vodním tokem. Voda je vedena potrubím, které zesílí její proud, a odvádí se podzemním kanálem. [8]



Obr. 35 Přepadový kanál "Spielway" nad podzemní elektrárnou Roberta Bourassa [65]

9. Vodní elektrárna Churchill Falls, Kanada

Tato hydroelektrárna je vybudována v Kanadě na řece Churchill na poloostrově Labrador. Jedná se o podzemní elektrárnu, která byla spuštěna v roce 1971. Strojovna s 11 obřími Francisovými turbínami je umístěna v hloubce 300 metrů pod povrchem. Churchill Falls má celkový výkon 5, 428 GW a ročně vyrobí 35 TWh elektřiny. [8]



Obr. 36 Pohled na vodopády pod nimiž je vybudována elektrárna [66]

10. Hydroelektrárna Longtan, Čína

Stavba hydroelektrárny Longtan na řece Hongshui v Číně byla zahájena v roce 1990 a dokončena v roce 2009. V dnešní době má výkon 4,900 GW, ale plánuje se výkon až 6 426 MW, o to se postará 9 turbín, které ročně vyrobí 18,7 TWh elektřiny. [8]



Obr. 37 Pohled na hydroelektrárnu Longtan v Číně [67]

Závěr

Cílem této práce bylo popsat vývoj vodních elektráren. Nezbytnou součástí vodní elektrárny jsou vodní turbíny. Postupem času se vodní turbíny inovovaly. V dnešní době se nejvíce montuje Peltonova, Kaplanova a Francisova turbína. Peltonova turbína se využívá pro velké spády a to 30 až 1800m. Kaplanova turbína našla svoje uplatnění pro spády 2 až 70m, tedy pro malé spády a velké průtoky. Francisovy turbíny jsou nejčastěji vidět na přečerpávacích elektrárnách, tedy tam kde jsou větší spády a průtoky.

První vodní elektrárna na světě byla postavena v Appletonu ve státě Wisconsin již v roce 1882. O pouhé čtyři roky později bylo v USA a Kanadě vybudováno 45 vodních elektráren. V České republice se první vodní elektrárna postavila v Písku v roce 1888, tedy o šest let později, než první vodní elektrárna na světě. V některých státech např. v Paraguaji, Norsku nebo Kanadě je vodní energie nepostradatelným prvkem elektrické energie. V České republice se bohužel nepodaří dosáhnout takového úspěchu z důvodu, že zde není dostatek vodních zdrojů, kde by se mohly postavit vodní elektrárny s přijatelnou účinností.

V České republice se v posledních desetiletích budovaly velké vodní elektrárny na údolních přehradách, ale v dnešní době je již tento vodní potenciál téměř vyčerpán a dají se očekávat spíše stavby malých vodních elektráren. Ve světě se naopak v posledních letech rozmohly stavby velkých hydroelektráren, a to zejména v Číně, kde se do roku 2020 počítá se stavbou téměř desítky velkých vodních děl s výkonem nad 2000MW viz. příloha 1.

Použitá literatura

- [1] Kaminský, J., Vrtek, M.: *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999, ISBN 80-7078-445-8.
- [2] Augusta, P.: *První česká obrazová encyklopedie energetiky*. Praha: REPRO-MEDIA, 1994.
- [3] ŠKORPIL, J., KASÁRNÍK M.: *Obnovitelné zdroje energie I.: vodní elektrárny*. 2. vydání. Plzeň: ZČU, 2000, ISBN 80-7082-675-4.
- [4] BUKAČ, Petr. *Nazeleno: Malá vodní elektrárna: Kolik elektřiny vyrobí? Vyplatí se?* [online]. 09. 03. 2010 [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/mala-vodni-elektrarna-kolik-elektriny-vyrobi-vyplati-se.aspx>
- [5] VINŠOVÁ, Michaela. *Nazeleno: 5 největších vodních elektráren v České republice* [online]. 12. 05. 2011 [cit. 2011-11-5]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/5-nejvetsich-vodnich-elektraren-v-ceske-republice.aspx>
- [6] VINŠOVÁ, Michaela. *Nazeleno: Výstavba nových vodních elektráren v ČR: Jaké jsou plány?* [online]. 18.08.2011 [cit. 2011-12-14]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vystavba-novych-vodnich-elektraren-v-cr-jake-jsou-plany.aspx>
- [7] LESCHINGEROVÁ, Marie. *Nazeleno: Výstavba nových vodních elektráren v ČR: Jaké jsou plány?* [online]. 12. 10. 2011 [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/norsko-vyrabi-99-elektriny-ve-vodnich-elektrarnach.aspx>
- [8] 10 největších vodních elektráren světa. VINŠOVÁ, Michaela. *Nazeleno* [online]. 12. 01. 2011 [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/10-nejvetsich-vodnich-elektraren-sveta.aspx>
- [9] FARTÁK, Josef. *Studie: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění na Šumavě*. 2009. [online]. [cit. 2011-11-29]. Dostupné z: <http://www.npsumava.cz/gallery/5/1610-vyuzitiozenasumave.pdf>
- [10] Peltonova turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://sl.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina
- [11] *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/ke-stazeni/fotogalerie/dalsi-fotografie/1.html>
- [12] Obnovitelné zdroje energie a zdroje ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_obnovitelne_zdroje_-_nahled.pdf
- [13] Energie moří a oceánů. *Alternativní zdroje energie* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/energie-prilivu-priboje.htm>
- [14] Slovníček. *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vodni-energie.dic>
- [15] Hydroelectricity. *Wikipedia* [online]. 18 February 2012 [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity>
- [16] Vodní elektrárny poráží fotovoltaické: Vyrobí 3 380 GWh. SCHUHOVÁ, Tereza. *Nazeleno.cz* [online]. 19. 04. 2011 [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/vodni-elektrarny-porazi-fotovoltaicke-vyrobi-3-380-gwh.aspx>
- [17] SCHREIER, Martin. Vodní elektrárny ČEZ dodaly loni čistou elektřinu pro 460 tisíc domácností, ušetřily 1,5 milionu tun uhlí. *Skupina ČEZ* [online]. 30. 1. 2012 [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/3671.html>
- [18] Vodní turbíny. *Vodní elektrárny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/vodni-turbiny>
- [19] Diagonální turbína. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Diagon%C3%A1ln%C3%AD_turb%C3%ADna

- [20] *Cojeco* [online]. © 1999-2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=79062&title=radi%ED%20turb%EDna&s_lang=2
- [21] Tangenciální turbína. *Vseved* [online]. © 2005–2011 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://encyklopedie.vseved.cz/tangenci%C3%A1ln%C3%AD+turb%C3%ADna>
- [22] Encyklopedie Energie. *Energyweb* [online]. © 1999 - 2002 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=rovnolák_vodturb.html
- [23] Slovník odborných výrazů. *Energetickyporadce: Rovnotlaká turbína* [online]. 2008 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/slovník/rovnolaka-turbina>
- [24] Encyklopedie Energie. *Energyweb* [online]. © 1999 - 2002 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=pretlak_vodturb.html
- [25] Slovník odborných výrazů. *Energetickyporadce* [online]. 2008 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/slovník/pretlakova-turbina.html>
- [26] Vodní turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_turb%C3%ADna
- [27] Kaplanova turbína. *Vodni-elektrarny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/kaplanova-turbina>
- [28] planova turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna
- [29] Šneková turbína. *Vodni-elektrarny* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/snekova-turbina>
- [30] Přílivová elektrárna. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADlivov%C3%A1_elektr%C3%A1rna
- [31] Použití. *Gess* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.gess.cz/cz/pouziti.html>
- [32] Šneková turbína. *Bbgreeneurope* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.bbgreeneurope.sk/vodne-turbiny/snekova-turbina>
- [33] Francisova turbína. *Vodni-elektrarny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/francisova-turbina>
- [34] Francisova turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova_turb%C3%ADna
- [35] Bánkiho turbína. *Vodni-elektrarny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/bankiho-turbina>
- [36] Bánkiho turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna
- [37] Peltonova turbína. *Vodni-elektrarny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/peltonova-turbina>
- [38] Jadro versus fotovoltaika. *3pol* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: 75 <http://3pol.cz/1209/print>
- [39] Stroje a zařízení: vodní motory. *Eamos* [online]. © 2002-2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=6&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=6&id_set_test=&search=&kat=&startpos=3
- [40] <http://strojirenstvi-ucivo.blogspot.com/2011/04/217122-deriazova-turbina.html>
- [41] Bánkiho turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna
- [42] Peltonova turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turb%C3%ADna
- [43] ŠIMAN, Libor. Vodní energie. *Svět fyziky SOUE Plzeň* [online]. 2009 [cit. 2012-05-14].

Dostupné z: http://www.svetfyziky.souepl.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=99:vodni-energie&catid=48:obnovitelne-zdroje&Itemid=76

- [44] Přečerpávací vodní elektrárna. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna
- [45] Přílivová elektrárna. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C3%ADlivov%C3%A1_elektr%C3%A1rna
- [46] Princip fungování vodních elektráren. *ČEZ* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/flash-model-jak-funguje-vodni-elektrarna.html>
- [47] Vodní elektrárny. *Malé vodní elektrárny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/vodni-elektrarny>
- [48] Kaplanova turbína. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna
- [49] Bankiho turbína. *Mve.energetika* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [50] Největším divem olomouckého kraje jsou Dlouhé Stráně. *Deník* [online]. 24.10.2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.denik.cz/zajimavosti/nejvetsim-divem-olomouckeho-kraje-j20111024.html>
- [51] Turbina deriaza. *Turbiny wodne* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.uwm.edu.pl/kolektory/turbiny-wodne/turbiny_deriaza.html
- [52] Slapové jevy. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slapov%C3%A9_jevy
- [53] Cesty k akumulaci elektrické energie. *Energyweb* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=6.1.6
- [54] Přílivová elektrárna na řece Rance. *Infoglobe* [online]. 2009 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.infoglobe.cz/zajimavosti/prilivova-elektrarna-na-rece-rance/>
- [55] Gambiery – vstupní brána do Francouzské Polynésie. *Kompas.estranky.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.kompas.estranky.cz/clanky/clanky---australie_-oceanie-a-antarktida/gambiery-mangareva-rikitea-francouzska-polynesie.html
- [56] Zátoka Fundy. *Wikipedia.infostar.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://wikipedia.infostar.cz/b/ba/bay_of_fundy.html
- [57] Terminologie. *Malé vodní elektrárny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/terminologie>
- [58] Savka. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Savka>
- [59] Fourneyronova turbína. *Mve.energetika* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/fourneyron.htm>
- [60] Stroje a zařízení. *Eamos* [online]. © 2002-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=15&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=15&id_set_test=&search=&kat=&startpos=8
- [61] Voda. *Energyweb* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=1.1.2
- [62] CIHELKA, Petr. Itaipu dam. *Idnes* [online]. 2002 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://cestovani.idnes.cz/itaipu-dam-nejvetsi-nadrz-sveta-dnm-/igsvet.aspx?c=A020129_231709_igsvet_kah
- [63] ABB připravuje modernizaci největší vodní elektrárny. *Abb* [online]. 2006 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www02.abb.com/global/czabb/czabb013.nsf!OpenDatabase&db=/>

- global/czabb/czabb017.nsf&v=2DC6&e=cz&url=/global/seitp/seitp202.nsf/0/496F6F3999D54846C1257124004AB488!OpenDocument
- [64] Hydroelectric power stations. *Pcgladiator.blogspot* [online]. 2009 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://pcgladiator.blogspot.com/2009/01/hydroelektric-power-stations.html>
- [65] Podzemní vodní elektrárny. *Technik* [online]. 2010 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-47944450-podzemni-vodni-elektrarny>
- [66] Churchill Falls. *Heritage* [online]. 2006, 2010 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.heritage.nf.ca/law/churchillfalls.html>
- [67] *Chinatechgadget* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.chinatechgadget.com/longtan-hydropower-station-strategic-projects-of-power-transmission-from-west-to-east.html>
- [68] Pumped-storage hydroelectricity. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity
- [69] Cavitation. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation>
- [70] Electricity sector in Paraguay. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_sector_in_Paraguay
- [71] Zdymadlo Štvanice. In: *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rna_%C5%A0tvanice#Elekt.C3.A1rna_.C5.A0tvanice
- [72] HNÍZDIL, Pavel. Vodní hamr v Dobříví aneb trocha historie. *Český kutil* [online]. 11.08.2008 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/tvorime/stara-remesla-a-tradice/vodni-hamr-v-dobrivi-aneb-trocha-historie>
- [73] Malé vodní elektrárny. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny
- [74] Vodní elektrárny v ČR. *Vodní a tepelné elektrárny* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/vodni-elektrarny-cr.htm>
- [75] Zajímavosti. *Vodní elektrárny* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/zajimavosti>
- [76] První elektrárna fungující na principu osmózy. *Inuru* [online]. 12. 5. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.inuru.com/index.php/nove-zdroje/energie/304-prvni-elektrarna-fungujici-na-principu-osmozy>

Seznam příloh

Příloha 1 - Plánované stavby vodních elektráren ve světě

Příloha 2 - Přehled výkupních cen

Příloha 1 – Plánované stavby vodních elektráren ve světě [15]

Jméno	Maximální kapacita	Země	Stavba byla zahájena	Plánované dokončení	Komentáře
Xiluodu přehrada	12.600 MW	Čína	26. prosince 2005	2015	Stavební práce se jednou zastavily kvůli nedostatku studie dopadů na životní prostředí.
Belo Monte přehrada	11.181 MW	Brazílie	Březen, 2011	2015	
Siang přehrada	11.000 MW	Indie	4.09	2024	Vícefázové konstrukce po dobu 15 let. Stavba byla zdržena kvůli sporu s Čínou.
TaSang přehrada	7110 MW	Barma	Března 2007	2022	Kontroverzní 228 metrů vysoká hráz s kapacitou na výrobu
Xiangjiaba přehrada	6400 MW	Čína	26. listopadu 2006	2015	
Nuozhadu přehrada	5850 MW	Čína	2006	2017	
Jinping 2 vodní elektrárna	4800 MW	Čína	30.1.07	2014	K vytvoření této přehrady, musí být přesunuto 129 místních obyvatel.
Diamer-bhasha přehrada	4500 MW	Pákistán	18.10.11	2023	
Jinping 1 vodní elektrárna	3600 MW	Čína	11. listopadu 2005	2014	
Jirau přehrada	3300 MW	Brazílie	2008	2012	Stavební práce se zastavily v březnu 2011 kvůli nepokojům pracovníků.
Guanyinyan přehrada	3000 MW	Čína	2008	2015	
Lianghekou přehrada	3000 MW	Čína	2009	2015	
Boguchan přehrada	3000 MW	Rusko	1980	2013	
Dagangshan přehrada	2600 MW	Čína	15.8.08	2014	
Tocoma přehrada Bolívar stát	2160 MW	Venezuela	2004	2014	Výstavbou této elektrárny se jejich počet rozroste na šest elektráren na stejné řece, včetně 10.000 MW přehrady Guri .
Ludila přehrada	2100 MW	Čína	2007	2015	

Příloha 2 – Přehled výkupních cen elektřiny pro rok 2012 [4]

Zdroj	Výkupní cena	Zelený bonus
Vodní elektrárny		
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	3,19 Kč za kWh	2,14 Kč za kWh
Biomasa		
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2012	4,58 Kč za kWh	3,53 Kč za kWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2012	3,53 Kč za kWh	2,48 Kč za kWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2012	2,63 Kč za kWh	1,58 Kč za kWh
Bioplynové stanice		
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF1 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	4,12 Kč za kWh	3,07 Kč za kWh
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF2 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	3,55 Kč za kWh	2,50 Kč za kWh
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	2,23 Kč za kWh	1,79 Kč za kWh
Fotovoltaika		
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6,16 Kč za kWh	5,08 Kč za kWh