

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Vodní elektrárny
Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.
Autor práce: David Znamenáček

Praha 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Znamenáček

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vodní elektrárny

Název anglicky

Hydroelectric power plants

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat fyzikální podstatu vodních elektráren, obecně charakterizovat jednotlivé typy vodních elektráren, porovnat jejich výhody a nevýhody.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 – 30 stran

Klíčová slova

Vodní elektrárna, fyzikální podstata, možnosti využití, náklady, přínosy, ekonomické zhodnocení.

Doporučené zdroje informací

HALPERN, A.: 3000 Solved Problems in Physics. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5

JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7

KOŠTÁL, K. – MECHLOVÁ, E. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, – OBDRŽÁLEK, J. – HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2015

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2017

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vodní elektrárny“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne: _____

Podpis: _____

David Znamenáček

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytnutí rad, trpělivost a za čas, který mi věnoval. Dále děkuji své rodině za podporu, kterou mi poskytla při zpracovávání této práce.

Abstrakt

Tato práce pojednává o problematice v oblasti vodních elektráren se zaměřením na Českou republiku. Cílem práce bylo provést literární rešerši v oblasti fyzikálního principu vodních elektráren, jejich rozdělení a možnosti rozvoje do budoucnosti.

Práce je rozdělena hned do několika částí. V první části jsou stručně definovány nejvýznamnější obnovitelné zdroje, jejich porovnání a rozvoj v posledních letech. To nám dává základní a velmi důležitý pohled do dále popisované problematiky.

V další části jsou podrobně definovány nejvýznamnější typy vodních elektráren společně s jejich největšími zástupci. Dochází také na řešení problematiky vodních turbín a jejich následnou vhodnou volbu do provozu.

Závěr práce pojednává o ekonomickém zhodnocení malých vodních elektráren v souvislosti s jejich výstavbou nebo případným rozšiřováním provozu.

Klíčová slova: Vodní elektrárny, fyzikální podstata, možnosti využití, náklady, přínosy, ekonomické zhodnocení.

Summary

This thesis is about the issue of hydroelectric plants with a focus on the Czech republic.

The purpose of this work was to do a literature search on the physical principle of hydroelectric plants, their distribution and opportunities of the development in the future. The work is divided into several parts. In the first part there are briefly defined the most important renewable resources and their comparison and development in recent years. This part gives us a fundamental and a very important insight into the issues described below.

In the next part there are defined the most important types of the hydroelectric plants along with their representatives. There is also described the issue of hydraulic turbines and their subsequent appropriate selection into operation.

In conclusion of this work there is an economic evaluation of the small hydroelectric plants in connection with the construction or expansion of operation.

Keywords: hydroelectric plants, physical principle, possibilities of use, costs, benefits, economic evaluation

Obsah

1. Úvod	1
2. Přenos elektrické energie	2
3. Co to je vodní elektrárna?	3
4. Historie vodní energie a vodních elektráren	4
5. Porovnání s ostatními obnovitelnými zdroji energie	5
5.1 Obnovitelné zdroje energie.....	5
5.2 Sluneční energie.....	5
5.3 Větrná energie.....	5
5.4 Biomasa.....	6
5.5 Vodní energie.....	6
5.6 Porovnání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů.....	7
6. Princip vodní elektrárny	8
7. Druhy vodních elektráren v ČR	9
7.1 Průtočné vodní elektrárny.....	9
7.1.1 Jezové vodní elektrárny.....	9
7.1.2 Derivační vodní elektrárny.....	9
7.2 Akumulační vodní elektrárny.....	10
7.3 Přečerpávací vodní elektrárny.....	11
7.3.1 Princip přečerpávací vodní elektrárny.....	12
7.3.2 Stavební část PVE.....	12
7.3.3 Volba vodní turbíny.....	13
7.3.4 Porovnání ostatních vodních elektráren s PVE v ČR.....	14
8. Vodní turbíny	14
8.1 Rozdělení vodních turbín.....	16
8.2 Další klasifikace turbín.....	16
8.3 Přehled nejčastěji používaných vodních turbín.....	18
8.3.1 Peltonova turbína.....	18
8.3.2 Francisova turbína.....	18
8.3.3 Kaplanova turbína.....	19
8.3.4 Bankiho turbína.....	19
9. Nejvýznamnější vodní elektrárny v ČR	20
9.1 Vodní elektrárna Dlouhé stráně.....	20
9.2 Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice.....	21
9.3 Vltavská kaskáda.....	22
9.4 Porovnání vodních elektráren v ČR.....	23

10. Ekonomické zhodnocení	24
10.1 Ekonomika malé vodní elektrárny	24
10.2 Ekonomika rozšíření MVE	25
11. Výhody a nevýhody	26
11.1 Výhody vodních elektráren	26
11.2 Nevýhody vodních elektráren	26
12. Závěr	27
Seznam použitých zkratk	29
Seznam obrázků	30
Seznam tabulek	31
Seznam použité literatury	32

1. Úvod

V dnešní moderní době si jen těžko dokážeme představit i třeba jen běžný život bez elektrické energie. Dnešní doba je založená na zjednodušování a ulehčování manuální práce. Tato činnost se však bez elektřiny neobejde. Každý z nás se denně setkává s nespočetně velkým množstvím elektroniky nebo i jen obyčejného osvětlení a ani si neuvědomí, jaké úsilí je zapotřebí, aby se elektřina vyrobila a k danému spotřebiči dostala.

V tuto chvíli si tak můžeme říct, že bez elektřiny by nefungovalo skoro nic. Velkým problémem při výrobě elektrické energie však je to, že neobnovitelné zdroje energie, jako je především uhlí, postupně docházejí. O této situaci všichni dobře víme, a proto se musíme poohlížet po alternativních zdrojích energie. Jako nejperspektivnější obnovitelné zdroje energie se nám jeví především voda, vítr a slunce. Tyto přírodní živly skýtají velké možnosti uplatnění a využití.

Například energie vody se získává výstavbou vodních elektráren, které mají jednu velkou výhodu. A sice možnost regulace výroby v závislosti na každodenní poptávce.

2. Přenos elektrické energie

Rozvod elektrické energie se uskutečňuje po celém území České republiky pomocí složité přenosové soustavy, v které je střídavé napětí transformováno na různé hodnoty. Přenos na delší vzdálenosti je uskutečňován při vysokém napětí, to může být 110 kV, 220 kV nebo 400 kV. Přenosový výkon se pak vlivem ztrát snižuje. Chceme-li dosáhnout co nejmenších ztrát, musí být i Joulovo teplo co nejnižší hodnoty. Takového stavu lze dosáhnout například menším proudem ve vedení a tím následně většího napětí. Z tohoto důvodu dochází k přenosu elektrické energie vysokým napětím.

Na kratší vzdálenosti se přenáší elektrická energie pomocí menšího napětí. To se pohybuje okolo 22 kV a získává se transformací energie v rozvodnách, které jsou napojené na dálkový přenos.

Přenosová soustava je pak ukončena transformační stanicí, kde získáváme trojfázové napětí 3 x 400 V / 230 V. To se nakonec rozvádí za pomoci kabelů k jednotlivým spotřebičům.

Hlavní částí přenosové soustavy je elektrárna, ve které se elektrická energie získává za pomoci přeměny z jiných forem energie:

- 1) uhelná elektrárna
- 2) jaderná elektrárna
- 3) vodní elektrárna
- 4) solární elektrárna

Největší producent elektrické energie v České republice je společnost ČEZ, a.s., ta zajišťuje okolo 80 % veškeré elektrické energie. Společnost vlastní 51 elektráren a z toho je 11 uhelných, 2 jaderné, 2 větrné, 1 sluneční a 35 vodních.

Nejvíce nebezpečné z hlediska produkce škodlivých látek jsou uhelné elektrárny. Z toho důvodu se pracuje na několika projektech zabývajících se odsířením jejich spalin, snížením N_xO , CO a prachu. Vzhledem k této problematice se výstavby dalších uhelných elektráren neplánují. Požadavky na elektrickou energii budou pokrývány provozem jaderných elektráren. Ty představují, při dodržení bezpečnostních hledisek, zdroj energie, který svým provozem nenarušuje životní prostředí. Nevýhodou však je nákladná a technologicky náročná výstavba, která vyžaduje vysoké investice. [1]

3. Co to je vodní elektrárna?

Vodní elektrárny jsou zdroje energie, které pracují na principu využívání naakumulované energie vody k výrobě elektrické energie. Primárním zdrojem je zde voda, která odevzdává svou kinetickou a potenciální energii prostřednictvím vodní turbíny.

Na základě přírodního koloběhu, kde dochází k vypařování a kondenzaci, se voda neustále obnovuje. Z tohoto důvodu jsou tak vodní elektrárny nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem energie.

Velkou výhodou je, že neznečišťují ovzduší, prokysličují vodní toky, nevyžadují žádné palivo, na rozdíl od ostatních elektráren, a jsou také bezodpadové a bezpečné.

Díky možnosti regulace množství vyrobené elektrické energie podle aktuální potřeby a schopnosti její akumulace se zvyšuje efektivnost provozu elektrizační soustavy. Každá vodní elektrárna má svou akumulaci nádrží, která se může využít jako zdroj pro odběr průmyslové vody nebo vody určené pro zavlažování, případně pro úpravu na vodu pitnou. Zlepšuje kvalitu vody a svou schopností zadržet vodu snižuje nebezpečí povodní. V letních obdobích sucha naopak zvyšuje minimální průtoky a zkvalitňuje plavební podmínky. [2]

V České republice se můžeme setkat například s Vltavskou kaskádou. Jedná se o skupinu několika vodních elektráren, které byly vybudovány ve 30. letech 20. století a to na řece Vltavě. Konkrétně se zde můžeme setkat s 9 vodními díly. Mezi největší patří Lipno I, Orlík a Hněvkovice. Další významné vodní elektrárny je možné vidět na následující mapě. [3]



Obrázek 1 - Mapa vodních elektráren v ČR [4]

2. Historie vodní energie a vodních elektráren

Na území České republiky má vodní energie dlouholetou tradici. V počátcích jejího vzniku se využívala jako přímý pohon hamrů, pil, čerpadel a mlýnů. Například vodní kolo bylo velice důležitým zdrojem mechanické energie využívané v dřívějších provozech, jako byly mlýny a později manufaktury (obr. 6). Rozvoj výroby elektrické energie je úzce spjat hlavně s prvními dálkovými přenosy elektrického proudu a rozvojem elektrizační soustavy. Tuto soustavu lze v Čechách rozdělit do tří fází. Na místní elektrizaci v předválečném období, oblast v meziválečném a celostátním poválečném období. Rozvoj přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti umožnil stavět elektrárny přímo u zdrojů energie bez omezení na místo spotřeby.

Rozmach na přelomu 19. a 20. století byl zapříčiněn několika významnými faktory. Již bylo možné využití vhodné a účinné vodní turbíny a také neustálý růst ceny uhlí. Byla též snaha vyrábět energii v dříve odstavených mlýnech. Vodní energie tak napomáhala k postupné elektrizaci obcí a dalšímu rozvoji výroby.

Výkonnost významných vodních elektráren této doby na našem území se pohybovala od 10 do 100 kW. Dnes už je jejím hlavním úkolem pouze výroba elektrické energie. [2]

Vodní toky v Čechách však nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody a z tohoto důvodu je podíl vyrobené elektrické energie ve vodních elektrárnách oproti celkové výrobě poměrně nízký. [5]



Obrázek 2 - Vodní mlýn [6]

5. Porovnání s ostatními obnovitelnými zdroji energie

5.1 Obnovitelné zdroje energie

Jedná se o přírodní energetické zdroje, které mají schopnost buď částečné, nebo úplné obnovy. Hlavními zástupci jsou biomasa, sluneční, větrná a vodní energie. V některých oblastech je možné využít energie mořského přílivu nebo geotermální energie.

V našich podmínkách má největší potenciál biomasa. Naopak rozvoj vodních elektráren je v ČR prakticky vyčerpán. Menší vodní elektrárny je ale možné stále rozvíjet. Sluneční energie společně s větrnou se v České republice využívá jen částečně, ale vzhledem k dotacím a podpoře od Evropské unie se situace postupně zlepšuje. [7]

5.2 Sluneční energie

Slunce předává svou energii formou záření. Toto záření je základním obnovitelným zdrojem energie. Většina dalších obnovitelných zdrojů má svůj původ v energii Slunce. Například solární energii je možné pomocí termických a fotovoltaických kolektorů přeměňovat na teplo a elektřinu.

Sluneční záření lze využít i pasivními metodami a to bez technických zařízení formou solární architektury.

Efektivnost využívání sluneční energie je ovlivněna dvěma faktory. Prvním je intenzita záření, která je ve středoevropských oblastech mezi 950 až 1340 kWh na m² za rok. Druhým hlavním faktorem je doba slunečního záření. Ta se v průměru pohybuje mezi 1300 až 1800 hodinami ročně. Díky tomuto faktoru je v našich podmínkách rozdíl mezi množstvím záření v jednotlivých ročních obdobích podstatně velký. Z tohoto důvodu výrazně zasahuje do hodnocení ekonomické efektivity solárního systému. [7]

5.3 Větrná energie

Tato energie je formou sluneční energie. A to z důvodu, že vzniká při nerovnovázném ohřívání Země. Tento jev způsobuje tlakové rozdíly v atmosféře, které se vyrovnají proudícím vzduchem. Energie větru se v dnešní době využívá především k výrobě elektřiny.

Větrné elektrárny můžeme rozdělit na dva druhy. Systémy, které dodávají elektřinu do rozvodné sítě (grid-on) a nezávislé na rozvodné síti (grid-off).

Nejdůležitější veličinou pro využívání větrné energie je rychlost větru. Oblast, která se dá považovat za vhodnou lokalitu je taková, která má průměrnou rychlost větru minimálně 5 m/s. V České republice by se tak dalo uvažovat o horských lokalitách.

Podle propočtů je možné, že by elektrárny mohly pokrýt 3-4 % celkové roční spotřeby. Tento typ elektráren se však setkává s negativními ohlasy na jejich výstavbu. Hlavním důvodem je především narušení krajinného rázu. [7]

5.4 Biomasa

Jedná se o hmotu organického původu. Energie biomasy má původ ve slunečním záření a proto je řazena mezi obnovitelné zdroje. K energetickým účelům se využívá cíleně pěstovaná rostlinná biomasa a také odpady lesní, zemědělské nebo potravinářské produkce.

Výhodou biomasy je její využitelnost jak pro výrobu elektřiny, tak pro pohon vozidel. energii lze získat chemickými procesy. Nejvyužívanější technologií je spalování, které doplňují technologie typu zplynování, zkapalnění, esterifikace nebo kvašení. [7]

5.5 Vodní energie

Vodní energie vzniká během koloběhu vody na povrchu Země vlivem působení gravitační síly a sluneční energie. Využívá se pro výrobu elektřiny ve vodních elektrárnách. Zde výrobu zajišťuje proudící voda, která má potenciální a kinetickou energii. O potenciální energii se stará rychlost a spád toku, o kinetickou pak gravitace společně s výškovým rozdílem hladin.

Podle velikosti a výkonu rozlišujeme dva typy:

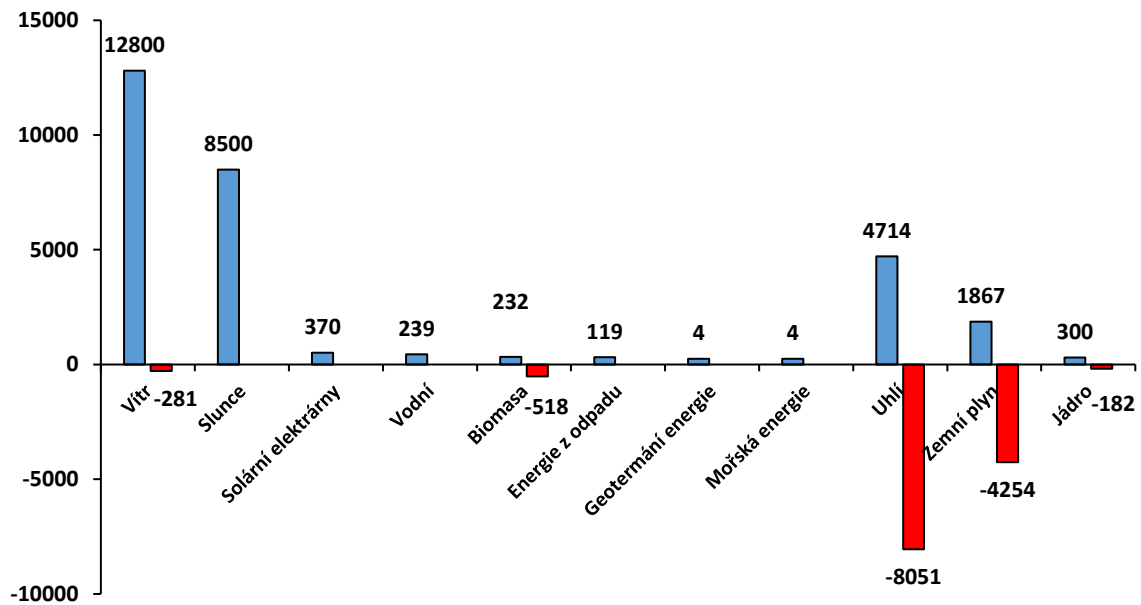
- a) velké vodní elektrárny
- b) malé vodní elektrárny

V ČR se považuje za malou vodní elektrárnu zdroj s instalovaným výkonem do 10MW. V evropském měřítku je to pak do 5MW.

Vodní elektrárny jsou na našem území v současné době mezi obnovitelnými zdroji dominantním zdrojem elektřiny. Nejvýznamnější podíl na tom mají především velké zdroje, jako je vltavská kaskáda. Co se týká malých vodních elektráren, jejich počet je v současné chvíli okolo 500 a jejich potenciál není vyčerpán. [7]

5.6 Porovnání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů

Porovnání nově zavedených a ukončených energetických zdrojů v Evropě pro rok 2015



Obrázek 3 - Nové zdroje energie v Evropě 2015 [8]

Za rok 2015 došlo k výstavbě 29 GW nových výrobních kapacit energie. Z toho tvoří více jak dvě třetiny obnovitelné zdroje. A jak můžeme vidět v grafu, hlavními zástupci byly větrné a sluneční elektrárny. Podíl obnovitelných zdrojů tak v Evropě překročil 16 % a to hlavně díky rozvoji Německa, Francie a Velké Británie. Česká republika patří mezi devět zemí, kterým se podařilo splnit cíl pro obnovitelné zdroje pro rok 2020. [8]

6. Princip vodní elektrárny

Vodní elektrárny jsou založené na principu přitékající vody přívodním kanálem. Voda zde předává svou kinetickou a potenciální energii turbíně, ta roztáčí generátor, který je připojený ke společné hřídeli. Vzniká zde rotační energie, která se v generátoru mění díky elektromagnetické indukci na energii elektrickou. Ta se transformuje a odvádí do míst, kde se spotřebuje. Tomuto soustrojí, tedy turbíně a generátoru, říkáme turbogenerátor.

Výběr správné turbíny je velmi důležitý. Závisí na podmínkách a účelu celého vodního díla. Sem řadíme vodní nádrže, řečiště nebo další zařízení, které slouží k usměrnění proudu vody. Nejčastěji se využívají reakční turbíny typu Francisovy nebo Kaplanovy turbíny. Tyto dvě varianty mají bohaté množství modifikací.

Výkon turbíny je závislý na velikosti spádu, účinnosti a průtoku vody turbínou. Tento výkon lze definovat jako:

$$P = \rho * Q * g * H * \mu \text{ [W]} \quad (1)$$

kde ρ je hustota vody, Q je průtok, g je tíhové zrychlení, H je spád a μ je účinnost turbíny.

Pro naše podmínky se na řekách nejčastěji využívá Kaplanovy turbíny a to ve variantě s nastavitelnými lopatkami. Tato turbína je v podstatě přetlakový reakční stroj, který může dosahovat několikanásobně vyšších rychlostí než je rychlost vody zde proudící. Její použití je nejvhodnější pro velké množství vody a menší spády.

Pro vysoké spády, činící někdy až 500 m, se používá Peltonova akční turbína. Jedná se o rovnotlaký stroj, jehož obvodová rychlost otáčení je nižší než rychlost proudění. Voda zde proniká do turbíny jen v některých částech obvodu. To je způsobeno tím, že voda je na lopatky ve tvaru misky přiváděna tryskami.

V přečerpávacích vodních elektrárnách se využívá rezervní Francisova turbína, která má přednastavitelné lopatky. Při zpětném chodu se používá jako čerpadlo.

V malých vodních elektrárnách se instalují převážně malé horizontální zařízení, typu Bankiho turbíny s upravenou Francisovou turbínou. [9], [10]

7. Druhy vodních elektráren v ČR

V České republice se vyskytuje velké množství vodních elektráren, přičemž tyto elektrárny můžeme dělit podle několika základních parametrů:

Podle instalovaného výkonu

- malé (MVE) – do 10 MW
- střední – do 100 MW
- velké – nad 100 MW

Podle využívaného spádu

- nízkotlaké – spád do 20 m
- středotlaké – spád od 20 do 100 m
- vysokotlaké – spád nad 100 m

Podle využití vodního toku

- průtočné
- akumulční
- přečerpávací

7.1 Průtočné vodní elektrárny

Jedná se o elektrárny, které využívají přirozený průtok řeky. Tento průtok nelze ovlivnit. Pokud dojde k překročení průtoku, na který je elektrárna dimenzovaná, dojde z hlediska bezpečnosti k odvodu přebytečné vody bez jejího využití. Tento druh elektráren se následně dělí na jezové a derivační. [10]

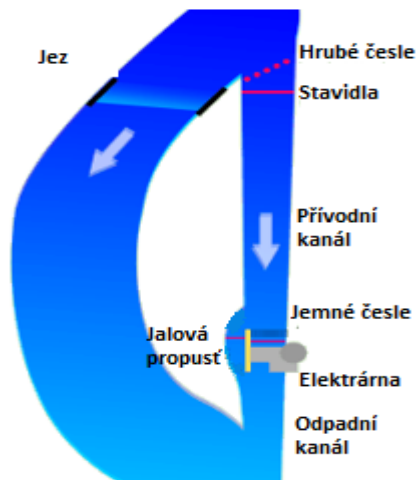
7.1.1 Jezové vodní elektrárny

Tyto elektrárny využívají jez k vzedmutí hladiny a tím usměrnění spádu. Spád se v těchto situacích pohybuje mezi 10-20 m. Z tohoto důvodu se jedná o nízkotlaké vodní elektrárny. Spodní část elektrárny musí být masivní, protože na ní působí plný tlak horní vody. Z hlediska technické stránky musí být i všechny pohyblivé části konstrukce ovladatelné a to i během celého zimního provozu. [10]

7.1.2 Derivační vodní elektrárny

Hlavní článek elektrárny je derivační přivaděč. Může se jednat o štolu, potrubí či kanál a jeho hlavním úkolem je odvod vody z koryta řeky a její usměrnění k vodní turbíně. Po využití vodní energie je voda vrácena prostřednictvím odpadního

kanálu zpět do řečiště. Derivační kanál se vždy vytváří a využívá tak, aby se konkrétní úsek řeky zkrátil a tím se i zvýšil potřebný spád (obr. 4). [10]

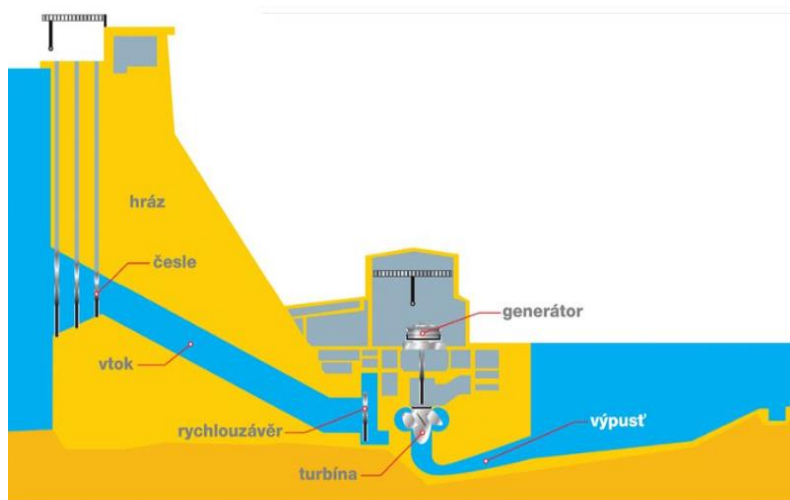


Obrázek 4 - Derivační kanál [10]

Jelikož není možné u průtočných elektráren regulovat průtok vody, jsou využívány hlavně k pokrytí základního zatížení.

7.2 Akumulační vodní elektrárny

Spád i akumulace vody je zajištěna pomocí přehrazení řeky a to výstavbou hrází. Hráze jsou umístěny hned pod vodní elektrárnou. V některých případech je zajištěno spojení pomocí tlakového přivaděče, stejně jako u výše zmíněné derivační vodní elektrárny. U těchto elektráren se využívá řízený odběr vody z akumulací nádrže. Odběr je přímo závislý na aktuálních požadavcích elektrizační soustavy. Zatížení mimo hlavní špičku pak pokrývají elektrárny s denní akumulací vody a špičkové zatížení je prací pro vysokotlaké akumulací elektrárny. [10]



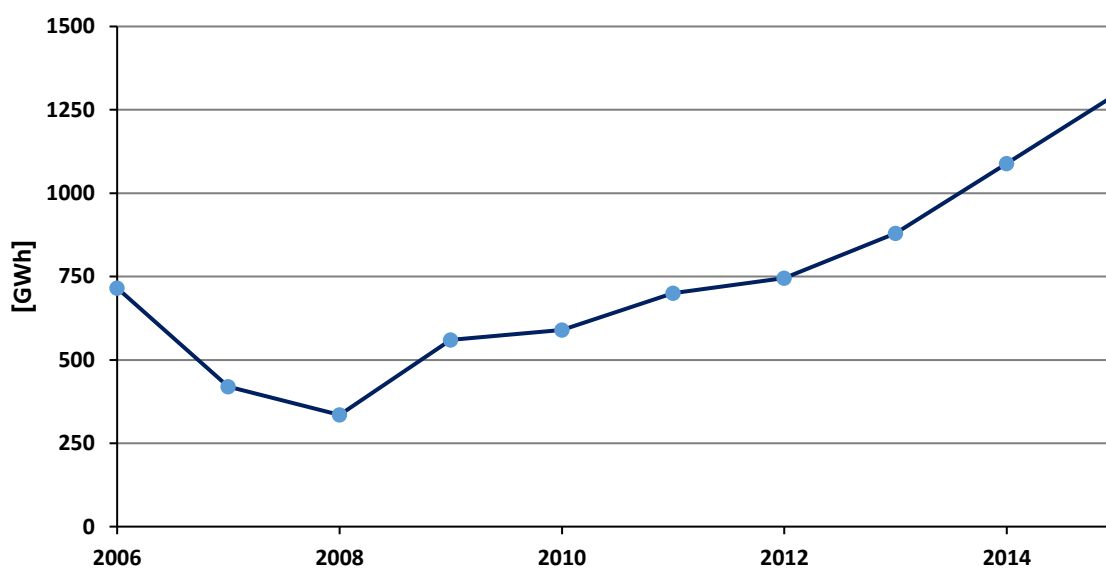
Obrázek 5 - Akumulační vodní elektrárna [11]

Kromě akumulování elektrické energie je výhodou tohoto typu elektrárny také to, že stabilizuje vodní tok a má možnost zabránit vzniku povodní. Nádrže se mohou využívat v mnoha případech i jako zdroj pitné vody pro vodárny, zemědělství nebo technologické vody pro různá odvětví průmyslu. [10]

7.3 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny, zkráceně také PVE, jsou velice důležité z hlediska zajištění spolehlivosti v dodávkách elektrické energie. To je způsobeno tím, že tato vodní elektrárna si dokáže energii v podobě naakumulované vody uložit sama a následně ji využít ve špičce.

Význam těchto elektráren roste se stoupajícím podílem výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů a to hlavně větrných a solárních elektráren. Tuto skutečnost lze odvodit z rekordní výroby českých přečerpávacích elektráren v posledních letech, jak znázorňuje následující graf. [10], [12]



Obrázek 6 - Výroba elektrické energie v PVE [10]

Na předchozím grafu je znázorněn vývoj výroby elektrické energie v přečerpávacích elektrárnách za období od roku 2006 do roku 2015, které vydal Energetický regulační úřad. Z graficky znázorněných statistik je patrné, že od roku 2008 výroba v PVE neustále roste. To je způsobeno především neustálým zlepšováním technických možností stávajících přečerpávacích elektráren. V roce 2014 byla překonána i hranice 1 TWh a v celkovém zhodnocení mezi lety 2008 až 2015 došlo ke zvýšení

výroby o 260 %. V dnešní době je neustálá snaha přijít s novými řešeními, ale i přes to z pohledu instalovaného výkonu vychází PVE nejlépe v měřítku elektrizačních soustav. [10]

7.3.1 Princip přečerpávací vodní elektrárny

Princip je v podstatě jednoduchý. Využívají se dvě vodní nádrže a to horní a dolní. V čase, kdy klesá spotřeba a nároky elektrizační soustavy, přechází PVE do čerpadlového režimu. V tomto režimu se využívá méně hodnotná elektrická energie na čerpání vody z dolní do horní nádrže. Voda pak v horní nádrži slouží jako zásoba a to do té chvíle, než přijde příkaz z dispečinku přenosové soustavy. Příkaz přichází v čase špičky, kdy je zatížení elektrizační soustavy největší, nebo když je zapotřebí pokrýt chybějící výrobu. Po spuštění turbínového režimu, je turbína poháněna vodou z horní nádrže a je vyráběna elektrická energie. [10], [12]

Účinnost aktuálně provozovaných přečerpávacích elektráren se pohybuje kolem 75 %. S ohledem na vývoj této problematiky se dá s velkou pravděpodobností očekávat její další nárůst. Ovšem už pouze v jednotkách procent. Účinnost je zde snižována hlavně tepelnými, hydraulickými a mechanickými ztrátami.

Výsledná využitelnost je pak dána součinem účinností každé části technologického procesu. Pro zjištění účinnosti přečerpávacích elektráren, je nutno určit, zda jde o účinnost malého či velkého cyklu. To především z toho důvodu, že u velkého cyklu je zapotřebí zahrnout i ztráty způsobené přenosem elektrické energie mezi zdrojem a čerpadlem. [12]

7.3.2 Stavební část PVE

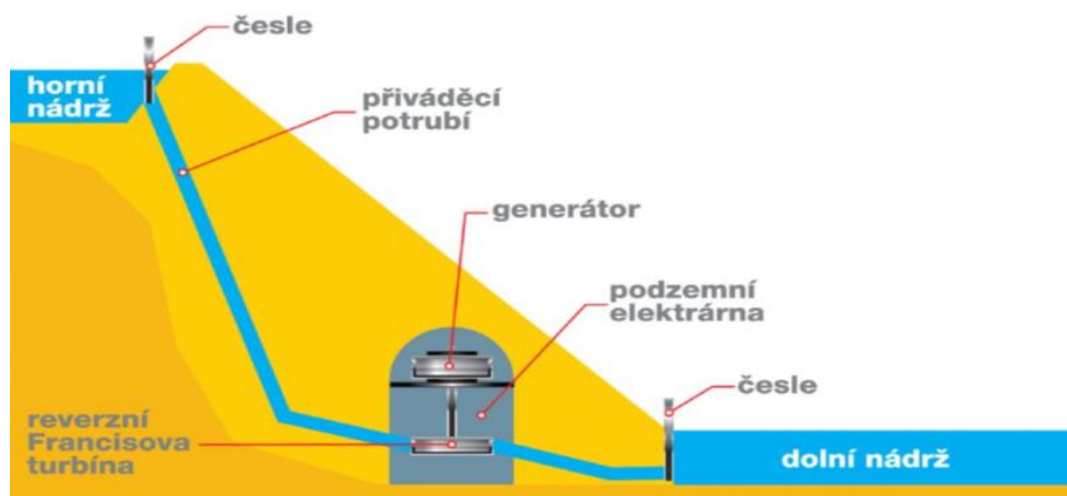
Při návrhu elektrárny je zapotřebí zajistit, aby byl co největší rozdíl hladin mezi horní a dolní nádrží. Velký důraz je kladen na co nejmenší délku přivaděčů. Tato vlastnost je vyjádřena parametry H/L , kde H je rozdíl hladin a L označuje délku přivaděče. Na základě výsledků lze určit lokalitu vhodnou pro výstavbu.

Nádrže je možno vytvořit přehrazením horské rokle, nebo vyhloubením a následným vytvořením obvodové hráze. Podle materiálu lze nádrže rozdělit na:

- hlinité
- železobetonové klenuté
- zemní
- zděné
- z lomového zdiva

Akumulační nádrže je možné vystavět nejen v údolích, ale i navýšením kapacit přírodních jezer pomocí hrází v horských polohách. S touto variantou se můžeme setkat například v alpských oblastech. [12]

Části přečerpávací vodní elektrárny jsou nejen nádrže a přivaděče. Hlavními stavebními prvky elektrárny jsou i strojovna, rozvodna a transformovna. Z důvodu bezpečnosti jsou pak strojovna a transformovna odděleny. Samotná elektrárna se může nacházet na úpatí hory, při patě hráze nebo v podzemí. Zde dochází k nejmenšímu zásahu do rázu krajiny. [12]



Obrázek 7 - Přečerpávací vodní elektrárna [11]

7.3.3 Volba vodní turbíny

Vodní turbína i čerpadlo se volí především podle charakteru služeb, pro které má být PVE používána. To ovlivní výběr turbíny a také její parametry. Důležitý je zde také využitelný spád a průtok. Na základě všech těchto parametrů se odvíjí rozměry celého soustrojí.

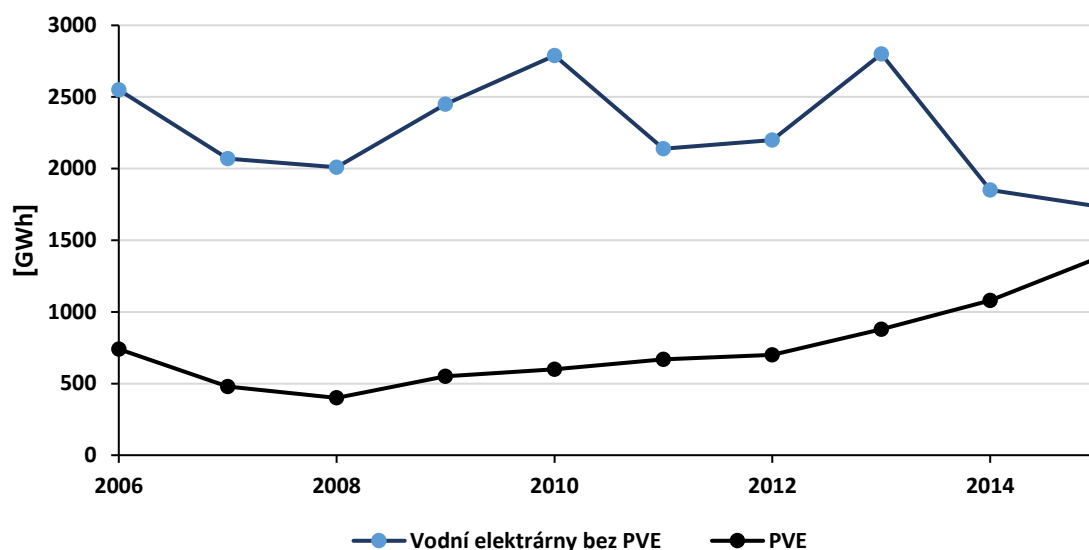
Podle využití složky energie vody rozdělujeme turbíny na přetlakové a rovnotlaké. Nejčastěji používanou přetlakovou turbínou je Francisova turbína, která využívá spád od 50 do 800 m.

U rovnotlakých turbín je nejčastější Peltonova turbína. Tato turbína pracuje pouze s kinetickou energií a spádem až 2 kilometry. U varianty třístrojového provedení, která se skládá z turbíny, čerpadla a motorogenerátoru, je významnou částí právě čerpadlo. To by mělo zajišťovat takový průtok, aby byl chod PVE rovnoměrný. Velikost, parametry a konstrukční provedení takového čerpadla se volí například podle dopravní výšky. Tedy rozdílu hladin mezi horní a dolní nádrží.

Neméně důležitou funkci má i motorgenerátor. Synchronní stroj, který při čerpadlovém provozu funguje jako motor, ale při přechodu na turbínový chod se chová jako generátor. [12]

7.3.4 Porovnání ostatních vodních elektráren s PVE v ČR

Za rok 2015 byl celkový výkon vodních elektráren necelých 1800 GWh elektřiny. Z velké části se na tom podílely MVE a to 1000 GWh. Na rozdíl od přečerpávacích elektráren, u kterých se od roku 2008 výkon neustále zvyšuje, mají malé vodní elektrárny kolísavý charakter, viz graf níže. [12]



Obrázek 8 – Porovnání PVE s ostatními vodními zdroji energie [12]

8. Vodní turbíny

Pro plnohodnotné využití energie vody, je nutné použít vodní turbíny, které mají odlišný výkon, typ, rozměry a konstrukční řešení. Vhodný typ volíme na základě konkrétní lokality, kde je vodní elektrárna vybudovaná, a na základě hydrologických podmínek. V současnosti je rozsáhlý výběr vodních turbín konstruovaných v různých variantách projekčního uspořádání.

Vodní turbína je složena ze tří hlavních částí:

- zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu:
 - zařízení pro přívod vody k rozváděcímu ústrojí
 - vlastní rozváděcí ústrojí
- oběžné kolo
- zařízení pro odvod vody od oběžného kola

Voda se dostává k oběžnému kolu pomocí zařízení pro přívod vody. Značná část zařízení se dá považovat za součást vodní elektrárny. Až například kovová spirála může být označena jako díl turbíny.

Pokud je voda přiváděna tlakovým potrubím, jehož součástí je i uzavěr, bývá přímo před spirálou. Tato spirála je vyztužována a v některých variantách jsou ve vnitřní části i vyztužné lopatky. K celému tělesu statoru turbíny je připojen rozvaděč, který je složen z horního a dolního lopatkového okruhu. Mezi těmito okruhy se nachází rozváděcí lopatky (obr. 9). Konfuzorový prostor mezi lopatkami je zkonstruován ve směru protékající vody.

Rozvaděč je uzavírací a regulační část stroje, jehož lopatky jsou otočné v čepech. Díky těmto schopnostem je možné přivádět vodu k oběžnému kolu tak, aby byl přívod rovnoměrný po celém obvodu vstupu. U rozvaděče není podmínkou, aby navazoval přímo na spirálu. Jeho umístění může být na dně nebo stěně jímky neboli kašny. V takovém případě voda přitéká k lopatkám z okolního prostoru.

Velmi důležitou pracovní částí turbíny je oběžné kolo. Na jeho lopatkách dochází k transformaci hydraulické energie na energii mechanickou. Voda proudí do oběžného kola přímo na zakřivené lopatky. Následně dochází ke změně směru proudící vody. Tato změna může být způsobena pouze silovým účinkem lopatek na proud vody. Lopatky následně ustupují pod působením vody a následkem toho se otáčí. Voda tak koná potřebnou práci. [13]



Obrázek 9 - Schéma řešení a hlavní části vodní turbíny [13]

- 1 – spirála, 2 – horní vyztužný kruh, 3 – dolní vyztužný kruh, 4 – vyztužné lopatky,
- 5 – horní lopatkový kruh, 6 – dolní lopatkový kruh, 7 – rozváděcí lopatky, 8 – víko turbíny, 9 – dýza, 10 – vodící kříž, 11 – regulační jehla, 12 – oběžné kolo,
- 13 - lopatky, 14 – deflektor nebo deviátor

8.1 Rozdělení vodních turbín

Vodních turbín je v dnešní době nepřeberné množství. Podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo můžeme turbíny rozdělit na dva základní typy:

- přetlakové (někdy též značené jako turbíny s plným vtokem)
- rovnotlaké (někdy též značené jako turbíny s parciálním vtokem)

Principem přetlakových turbín je voda vytékající z pevných zakřivených rozváděcích kanálů do kanálů oběžných, jež mají opačný smysl. V rozváděcím ústrojí je pak pouze část tlakové měrné energie transformována na měrnou energii kinetickou. Zpravidla je větší část tlakové energie přeměňována až při průchodu lopatkovým systémem. Voda u tohoto typu turbíny zcela vyplňuje kanál oběžného kola.

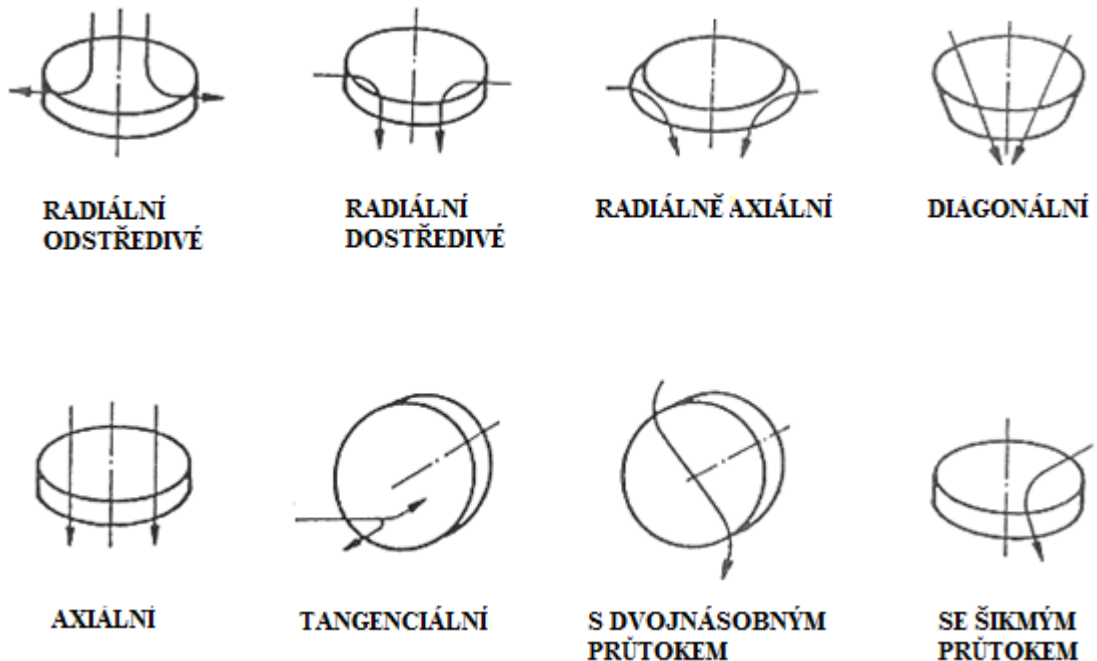
Rovnotlaké turbíny pracují na principu, kde voda vtéká okolo regulační klapky do kanálů oběžného kola, které jsou vhodně zakřivené. Na rozdíl od přetlakové turbíny se zde mění veškerá tlaková měrná energie na energii kinetickou. Charakteristickým parametrem je zde totožný vstupní i výstupní tlak. Prostor mezi lopatkami je vyplněn z části vodou a z části vzduchem. V situaci, kdy je tlak roven tlaku prostředí, tedy atmosférickému, je nutné umístit oběžné kolo nad hladinu vody spodní nádrže. [13]

8.2 Další klasifikace turbín

V závislosti na předchozím rozdělení můžeme turbíny členit podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo podle tří hledisek:

- 1) Podle průtoku vody oběžným kolem a následné orientace proudu vody k ose rotace kola (obr. 11).
 - a) Radiální odstředivé – s vnitřním vtokem vody, kde voda protéká mezi lopatkami oběžného kola směrem od hřídele.
 - b) Radiální dostředivé – s vnitřním vtokem vody, kde voda protéká mezi lopatkami oběžného kola směrem k hřídeli.
 - c) Radiální axiální – voda zde zpočátku proudí radiálně a při přiblížení k ose mění orientaci na osovou.
 - d) Diagonální – voda protéká mezi lopatkami šikmo ke hřídeli.
 - e) Axiální – voda protéká mezi lopatkami ve směru osy.
 - f) Tangenciální – voda vstupuje na lopatky ve směru tečny ke kružnici.

- g) S dvojnásobným průtokem – voda se dostává k oběžnému kolu dostředivě a vystupuje odstředivým pohybem.
- h) Se šikmým průtokem – voda se dostává na lopatky z boční části a opouští jí ve směru osy. [13], [14]



Obrázek 10 - Rozdělení turbín podle průtoku vody oběžným kolem [13]

2) Podle měrné energie se turbíny dělí na tři skupiny:

- nízkotlaké; měrná energie turbíny $E \leq 200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- středotlaké; měrná energie turbíny $E \leq 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- vysokotlaké; měrná energie turbíny $E > 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

3) Podle výkonu se turbíny dělí na:

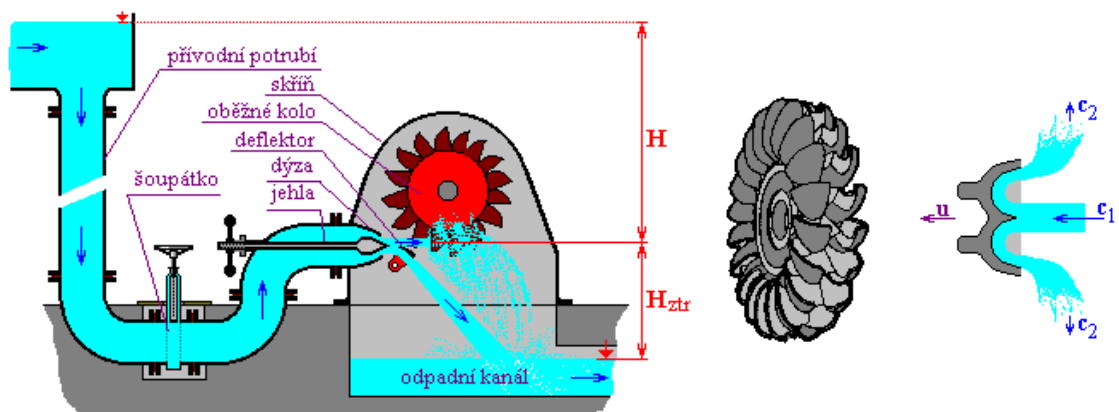
- velké ($P > 100 \text{ MW}$)
- střední ($P < 100 \text{ MW}$)
- malé ($P < 10 \text{ MW}$)
- drobné ($P < 1 \text{ MW}$)

Rozdělení podle výkonů není dosud úplně sjednocené. Je-li dáno vymezení výkonů pro malé vodní elektrárny, u kterých je počet soustrojí roven minimálně dvěma, potom můžeme považovat za malou vodní turbínu z hlediska výkonu takovou turbínu, jejíž výkon je $P < 5 \text{ MW}$. Takzvané mikroturbíny se pohybují se svým maximálním výkonem do $P < 60 \text{ kW}$. [13]

8.3 Přehled nejčastěji používaných vodních turbín

8.3.1 Peltonova turbína

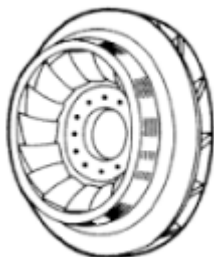
K turbíně je zde voda přiváděna potrubím, které má kruhový průřez. Toto potrubí přivádí vodu k jedné nebo i více dýzám. Pomocí dýz se spád vody přeměňuje na pohybovou energii. Voda zde vstupuje tangenciálně do oběžného kola, na němž jsou lžícovité lopatky. Ty mají speciální břit uprostřed, který pomáhá rozdělit proud vody na dva paprsky. Následně dojde ke změně směru proudící vody, což zajistí předání energie vodu oběžnému kolu (obr. 11). [15]



Obrázek 11 - Schéma Peltonovy turbíny [15]

8.3.2 Francisova turbína

Francisova turbína je přetlaková turbína. Je charakteristická tím, že voda během cesty změní svůj tlak a tím odevzdá svou energii. Oběžné kolo, jinými slovy rotor, je umístěno mezi přívodem o vysokém tlaku a nízkotlakou savkou ve spodní části přehrady. Vstupní část potrubí je ve tvaru spirály a voda je rozváděna tangenciálně na oběžné kolo. Lopatky tohoto kola jsou v některých variantách provedení stavitelné, aby byla možnost upravit turbínu konkrétnímu vodnímu průtoku. Nejčastěji se využívá pro stabilní průtoky se středním spádem. Největší využití pak má hlavně u přečerpávacích elektráren, kde se může využívat jako turbína či generátor a to v závislosti na aktuálním provozu PVE. [17]



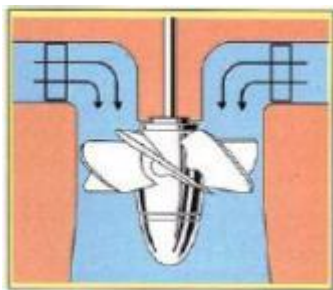
Obrázek 12 - Francisova turbína [16]

8.3.3 Kaplanova turbína

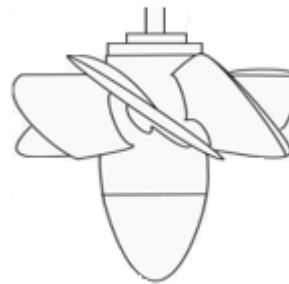
Turbína tohoto typu pracuje jako přetlaková axiální turbína. Vyznačuje se dobrou možností regulace. Tato vlastnost se uplatňuje především v lokalitách, kde není možno vytvořit stálý průtok, případně spád vody. Vynálezcem této turbíny byl Viktor Kaplan, který působil jako profesor na Vysoké škole technické v Brně.

V podstatě se jedná o nástupce Francisovy turbíny. Rozdíl mezi nimi je v menším počtu lopatek a tvaru oběžného kola. Hlavním rozdílem je však možnost náklonu lopatek, jak u oběžného, tak u rozváděcího kola. To nám zajistí potřebnou regulaci (obr. 13).

Účinnost turbíny je vyšší než u jejího předchůdce a to však na úkor ceny a složitosti výroby. Uplatnění nachází u spádů od 1 do 70 m a průtoku 0,15 až několik desítek m³/s. Obecně se tak dá konstatovat, že se využívají pro malé spády a vysoké proměnlivé průtoky. [18]



Obrázek 13 Schéma Kaplanovy turbíny [19]

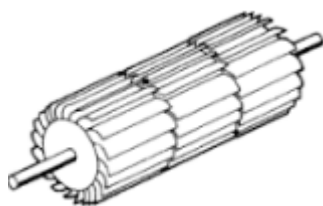


Obrázek 14 Kaplanova turbína [20]

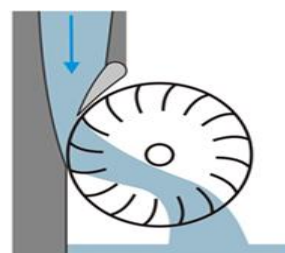
8.3.4 Bankiho turbína

Voda se zde dostává k turbíně pomocí potrubí, které má kruhový průřez. Těsně před turbínou se nachází mezičlánek, který umožňuje změnu kruhového průřezu na obdélný. Mezičlánek je zakončen regulační částí, ve většině případů klapkou. V prostoru mezi stěnou a klapkou se pak spád vody přeměňuje na pohybovou energii.

Voda vstupuje k oběžnému kolu tangenciálně. Kolo je hustě osazené lopatkami, které se snaží odklonit proud vody do středu kola. Touto změnou směru proudící vody dojde k předání energie vody oběžnému kolu. [13], [21]



Obrázek 15 Schéma Bankiho turbína [22]



Obrázek 16 Princip funkce Bankiho turbíny [23]

9. Nejvýznamnější vodní elektrárny v ČR

Jak již bylo zmíněno, v České republice nejsou zcela ideální podmínky pro velký rozvoj větších vodních elektráren. Hlavním důvodem je, že naše území postrádá vysoké horské toky a hustší říční síť. I přes tyto nedostatky však můžeme vyzdvihnout několik významných vodních děl a to především z hlediska jejich instalovaného výkonu. [24]

9.1 Vodní elektrárna Dlouhé stráně

Jedná se o největší přečerpávací vodní elektrárnu v ČR. Nachází se v Hrubém Jeseníku v katastrálním území Rejhotice (obr. 17). Tato elektrárna má hned tři velmi důležité parametry:

- největší rezervní turbína v Evropě
- největší spád v České republice
- největší instalovaný výkon v ČR, který činí 2 x 325 MW

Elektrárna zastává v elektrizační soustavě několik zásadních funkcí. Mezi ně řadíme dynamickou, kompenzační a statickou funkci. Principem statické funkce je využití přebytečné energie na přečerpávání vody z dolní do horní nádrže. Pro svůj výkon využívá elektrárna dvě Francisovy turbíny. Dynamická funkce se zakládá na schopnosti plnit funkci výkonové rezervy. To znamená vyrábět i regulovat výkon a zároveň se podílet na řízení kmitočtu soustavy. Poslední funkce kompenzační se využívá k regulaci napětí v soustavě. [25]



Obrázek 17 - Vodní elektrárna Dlouhé stráně [26]

Elektrárna začala vznikat už v roce 1978. V osmdesátých letech ale došlo, po rozhodnutí hlavního orgánu, k útlumu. Následně v roce 1985 byl projekt modernizován a koncem roku 1996 byla elektrárna poprvé uvedena do provozu.

Hlavní část celé elektrárny se nachází v podzemí a to z důvodu, aby bylo zajištěno co nejmenší narušení krajinného rázu. Dále disponuje nádržemi. Výškový rozdíl mezi horní a dolní nádrží je 510 m. Horní nádrž se nachází v nadmořské výšce 1350 m a její provozní objem činí 2 580 000 m³. Dolní nádrž je napojena k místní říčce Divoká Desná a její celkový objem je 3 450 000 m³. [25]

9.2 Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice

Jedná se o komplex, který leží nedaleko jaderné elektrárny Dukovany. Vybudován byl mezi lety 1970 až 1978. Jeho původní účel byl, aby sloužil jako rezervoár vody pro chladič systém jaderné elektrárny.

Z hlediska výkonu se jedná o druhou největší přečerpávací vodní elektrárnu u nás a plné aktivace dosáhne za 60 vteřin. Jedná se o plně automatizovanou elektrárnu, která je řízena z výrobního dispečinku jejího provozovatele v Praze.

Maximální instalovaný výkon je 480 MW, který zajišťují 4 soustrojí s rezervními Francisovými turbínami. Ty jsou upraveny pro spád až 90 m. Pro pohon i výrobu energie se využívají synchronní generátory s napětím 13,8 kV. Pro následnou transformaci napětí generátorů na napětí vývodů 420 kV se používají blokové transformátory. Přesnější specifikace elektrárny lze vyčíst z tabulky. [27]

Tabulka 1 - Technické parametry elektrárny Dalešice [27]

Typ elektrárny	přečerpávací, špičková
Objem horní nádrže	127 mil. m ³
Spád	60,5 až 90,7 m
Počet soustrojí	4
Typ turbíny	reverzní Francisova
Max. výkon soustrojí	112,5 MW
Max. příkon při čerpání	115 MW
Otáčky	136,4 ot./min.
Průměr oběžného kola	6000 mm

9.3 Vltavská kaskáda

Jedná se o soustavu devíti vodních elektráren, které jsou vybudovány na 250 kilometrech dlouhém úseku řeky Vltavy. Tato kaskáda zajišťuje nejen výrobu elektrické energie, ale také splavnost zejména dolního toku řeky. Mimo jiné vytváří velké množství rekreačních oblastí.

Výstavba kaskády započala již ve 30. letech 20. století. První vybudovanou přehradou byla vodní nádrž Vrané, která dodává elektrickou energii už od roku 1936. Mezi další významné pak patří vodní přehrada Orlík, která je největší z hlediska množství zadržované vody. Další lze uvést vodní přehradu Lipno, která je největší co do plochy hladiny. Její energetický význam spočívá ve výrobě levné ekologicky čisté a špičkové elektrické energie. Ta pak slouží k regulaci výkonu energetické soustavy pro celou Českou republiku. Má velice rychlé najetí na výkon 120 MW a to během 150 vteřin. Tento výkon zajišťují dvě soustrojí s Francisovými turbínami. Kolísání odtoku je vyrovnáváno pomocí malé průtočné vodní elektrárny Lipno II o instalovaném výkonu 1,5 MW, která je vybudována pod Lipnem I.

Jedná se opět o zcela automatizovanou elektrárnu, která je ovládána na dálku z hlavního dispečinku ve Štěchovicích. Celkový přehled všech devíti vodních děl Vltavské kaskády je znázorněn v následující tabulce. [28], [29]

Tabulka 2 - Parametry Vltavské kaskády [33]

Říční km	Přehradní	Výstavba	Nadmořská	Rozloha	Délka	Maximální	Objem
	jezero		výška [pozn. 1] m				
329,54	Lipno I	1952–1959	725,6	48,7	48	21,5	306 000
319,12	Lipno II		563,4	0,33	7	11,5	1 685
210,39	Hněvkovice	1986–1992	370,1	2,68		27	21 100
200,405	Kořensko	1986–1991	353,6				
144,7	Orlík	1954–1966	353,6	27,3	68	74	720 000
134,73	Kamýk	1956–1962	284,6	1,95	10	17	12 800
91,694	Slapy	1951–1954	270,6	13,92		58	270 000
84,44	Štěchovice	1937–1945	219,4	1,14	9,4	22,5	11 200
71,325	Vrané	1930–1936	200,1	2,51	13	9,7	11 100

9.4 Porovnání vodních elektráren v ČR

Následující tabulka nám znázorňuje porovnání vodních elektráren v České republice z hlediska jejich instalovaného výkonu, výroby elektrické energie, typu a umístění.

Tabulka 3 - Porovnání technických parametrů největších vodních elektráren v ČR [24]

Název	výkon	typ	výroba	umístění	vodní tok	provoz
	[MW]	elektrárny	[GWh]			
PVE Dlouhé stráně I	650	přečerpávací	403	Dlouhé stráně	Desná	ČEZ
PVE Dalešice	450	přečerpávací	273	VN Mohelno/VN Dalešice	Jihlava	ČEZ
VE Orlík	364	akumulační	300	VN Orlík	Vltava	ČEZ
VE Slapy	144	akumulační	256	VN Slapy	Vltava	ČEZ
VE Lipno I	120	akumulační	90	VN Lipno	Vltava	ČEZ
PVE Štěchovice II	45	přečerpávací	23	VN Štěchovice	Vltava	ČEZ
VE Kamýk	40	akumulační	58	VN Kamýk	Vltava	ČEZ
VE Štěchovice I	22,5	akumulační	82	VN Štěchovice	Vltava	ČEZ
VE Střekov	19,5	průtočná	96	Zdymadlo Střekov	Labe	ČEZ
VE Vranov	18,9	akumulační	22	VN Vranov	Dyje	E.ON
VE Vrané	13,88	akumulační	41	VN Vrané	Vltava	ČEZ

Z dané tabulky je zřetelné, že nejvýkonnější vodní elektrárnou u nás je přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně a to díky velkému instalovanému výkonu 650 MW. Dále je možno vyčíst, že většinu významných vodních elektráren vlastní největší česká energetická společnost ČEZ. Také je patrné, že nejvhodnější řekou, na níž je možno využívat vodní energie, je řeka Vltava.

10. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení malých vodních elektráren, je velice obtížné určit. Výhodnost takového projektu záleží především na celkovém řešení dané elektrárny, které je ovšem individuální. Především z důvodu, že jako malou vodní elektrárnu můžeme považovat zařízení s výkonem do 10 kW, ale i větší stavbu s mnohokrát větším výkonem. Tyto malé projekty jsou často realizovány nadšenci, kteří jsou schopni většinu práce odvést sami. To pak výrazně snižuje náklady. V případě malé vodní elektrárny by neměly náklady na výrobu elektrické energie překročit 5 Kč/kWh, aby zůstala výhodnější oproti odběru elektřiny z centrální sítě.

10.1 Ekonomika malé vodní elektrárny

Pro zjištění nákladů, jež budou nutné pro výstavbu nebo rekonstrukci malé vodní elektrárny, je rozhodující, v jaké lokalitě a stavu se nachází jez, případně i další části vodního díla. Tím je myšlen derivační kanál, přivaděč a další.

Náklady na výstavbu celého vodního díla jsou značně vysoké. Ale v případě, že je vodní dílo v dobrém technickém stavu a je zapotřebí jen drobnějších prací, například odstranění nečistot z přívodního kanálu, pak se náklady výrazně sníží.

Velice efektivní je rekonstrukce starších technologií, kde se využije účinnějších generátorů a převodů. V některých případech je možné instalovat vodní turbínu pro sezonní průtoky. Ta sice funguje jen určitou část roku, ale její návratnost může být dobrá, jelikož není zapotřebí větších zásahů do toku.

Ekonomický provoz MVE je ovlivněn i počasím. Pokud bude „suchý rok“, může klesnout produkce elektřiny až o čtvrtinu. Stejný problém může nastat v opačném případě. Pokud se objeví přívalové deště, které způsobí zvýšený průtok, většina malých elektráren to nedokáže využít.

Vlivem nepříznivého počasí se zvyšuje riziko spojené s nebezpečím záplav a tím možné zaplavení strojovny. Hlavně menší elektrárny se mohou vzpamatovávat z následků povodní i několik let, jelikož obvykle není v silách majitele pokrýt náklady na opravy. Některé elektrárny, aby zvýšily své zisky, využívají toho, že výkupní cena za elektřinu je ve špičce vyšší. Jedná se o 8 hodin denně. V těchto časových intervalech pouští vodu, která je zadržovaná na hrázi nebo jezu, na turbínu. [30]

10.2 Ekonomika rozšíření MVE

Tato varianta bude vysvětlena nejlépe podle následujícího příkladu, kde se bude jednat o malou vodní elektrárnu ležící na středně velkém toku. Příklad nám znázorní ekonomicky efektivní investici a zároveň ekologicky citlivý projekt, jelikož nedochází k zásahu do využitého toku.

Budeme uvažovat, že stávající elektrárna má tři vodní turbíny o výkonu 15 kW. A následně dojde k rozšíření o další turbínu s výkonem 94 kW a společně s ní i k rekonstrukci stávajících turbín tak, aby se zvýšila účinnost. V tuto chvíli bude možno využívat i sezonní průtoky. Velkou výhodou je i to, že následkem rekonstrukce může MVE získat vyšší výkopní ceny elektřiny.

Výsledné rozdíly mezi zisky a množstvím vyrobené elektřiny před a po rekonstrukci jsou znázorněné v následujících tabulkách. [30]

Tabulka 4 - Základní údaje pro porovnání zisků [31]

		Před rekonstrukcí		Po rekonstrukci	
		roční doba provozu	výroba elektřiny	roční doba provozu	výroba elektřiny
Turbína 1	15 kW	355 dní	127 800 kWh	355 dní	127 800 kWh
Turbína 2	15 kW	270 dní	97 200 kWh	329 dní	118 440 kWh
Turbína 3	15 kW	250 dní	90 000 kWh	180 dní	64 800 kWh
Turbína 4	94 kW			210 dní	473 760 kWh
Celkem			315 000 kWh		784 800 kWh

Tabulka 5 - Porovnání zisků po rekonstrukci [31]

	Před rekonstrukcí	Po rekonstrukci
Výroba elektřiny	315 000 kWh	784 800 kWh
Výkupní cena elektřiny	1,79 Kč/kWh	2,30 Kč/kWh
Příjem z elektřiny	0,564 mil. Kč	1,805 mil. Kč
Rozdíl v příjmech po rekonstrukci		1,241 mil. Kč

Z daných hodnot v tabulkách je zřejmé, že po rekonstrukci došlo k navýšení zisku na trojnásobek.

11. Výhody a nevýhody

11.1 Výhody vodních elektráren

- vodní elektrárny disponují částečnou nebo zcela úplnou energetickou nezávislostí
- oproti slunečním a větrným elektrárnám mají vyšší výkon
- mezi obnovitelnými zdroji se jedná o jeden z nejstabilnějších zdrojů energie
- zátěž na životní prostředí je velmi malá
- není zde zapotřebí velká údržba
- v případech automatizované vodní elektrárny je možná obsluha na dálku
- vytvořené přehradní hráze slouží i jako bezpečnostní ochrana před povodněmi a může vytvářet i rekreační oblasti, zdroje pitné vody nebo použití pro účely vodohospodářských společností
- velkou výhodou je možnost startu během několika málo vteřin, čímž je možno pokrývat okamžité nároky na výrobu v době špičky [32]

11.2 Nevýhody vodních elektráren

- u větších vodních děl při vytváření přehradní nádrže dochází k zatopení větších oblastí, s čímž je spojena značná cena a čas výstavby
- vytvořené hráze a jezy jsou zábranou pro běžný lodní provoz, proto je zapotřebí výstavba systému plavebních komor neboli zdymadel
- vyšší jezy zabraňují tahu ryb a je nutné vybudovat koryta
- lze je využívat jen na vodních tocích s dostatečným průtokem a spádem
- počáteční investice jsou vysoké
- v neposlední řadě se jedná o stavbu, která na sobě nese riziko a to z hlediska možného protržení hráze a následného zaplavení oblasti [32]

12. Závěr

V první části bakalářské práce jsem se zaměřil na význam obnovitelných zdrojů energie, historii vodní energie a vodních elektráren. Následně jsem porovnal množství nově vybudovaných a uzavřených zdrojů energie a to z pohledu celé Evropy.

V další části jsem se zabýval principem fungování vodních elektráren a jejich následné rozdělení podle výkonu, spádu a vodního toku. Zde jsem podrobněji popsal některé konkrétní druhy, které jsou pro naše území charakteristické a z hlediska fyzikálního principu zajímavé. Z tohoto důvodu jsem se i více zaměřil na přečerpávací vodní elektrárny a následně porovnal jejich výkonnost s ostatními vodními elektrárnami. Dále jsem se zabýval používanými druhy vodních turbín a jejich rozdělením se zaměřením na princip funkce. A poté jsem detailněji rozebral nejčastěji používané turbíny s příkladem jejich použití.

Dalším bodem mé práce je stručný popis, se základními fyzikálními parametry největších vodních elektráren v České republice, jejich historie a parametry důležité pro správnou funkci. Mezi největší a nejvýznamnější vodní elektrárny jsem zařadil přečerpávací elektrárnu Dlouhé stráně, Dalešice a soustavu vodních děl Vltavskou kaskádu.

V poslední části jsem pak zkoumal ekonomickou stránku menších vodních elektráren a případné navýšení zisků v případě jejich rozšíření.

Pokud bych měl zhodnotit informace získané během zpracování bakalářské práce, konstatoval bych již řečené, že vodní energetika má na našem území dlouholetou tradici. Naneštěstí je už v dnešní době problém nalézt lokality, které by byly vyhovující pro výstavbu velkých vodních děl. Velký vliv na to má i husté osídlování. Další problém je spojený s ekologickými organizacemi, které prakticky zamezují realizaci větších celků a to z toho důvodu, že větší část lokalit, které by byly teoreticky vhodné, leží v chráněných oblastech nebo národních parcích.

Jsou však projekty, které v sobě stále skrývají využitelný potenciál. Těmi jsou malé vodní elektrárny, u kterých se bavíme o výkonu okolo 50 kW. Těchto malých vodních děl bylo v historii využíváno především v horských oblastech, kde vodní energie sloužila k pohonu různé technologie při výrobě. S rostoucí modernizací se však od této formy energie upustilo. Pokud bychom se dnes podívali na horní části řek, objevili bychom velké množství opuštěných přivaděčů a vodních děl.

Při realizaci malých vodních elektráren nastává však problém při vyhledávání vhodné turbíny. Hlavním důvodem je, že většina výrobců se výrobou malých soustrojí skoro vůbec nezabývá. Pokud už bychom takového výrobce našli, cena turbíny by byla tak vysoká, že z ekonomického hlediska by byla návratnost velmi nízká. Možným východiskem je kontaktování drobných výrobců, jejichž nalezení může být značně náročné, především z důvodu, že jich na našem území není mnoho. Výhodou ale zůstává, že cenově jsou tito výrobci dostupnější a turbíny dosahují dobré účinnosti.

Z celkového hlediska bych hodnotil situaci v oblasti budování nových vodních děl jako problematickou. Většina vhodných oblastí je již využita a do budoucna se nedá očekávat ani výraznější navýšení výroby energie z vodních zdrojů.

Seznam použitých zkratk

ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
MVE	Malé vodní elektrárny
PVE	Přečerpávací vodní elektrárny
VE	Vodní elektrárna
ČEZ	České energetické závody

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Mapa vodních elektráren v ČR	3
Obrázek 2 - Vodní mlýn	4
Obrázek 3 - Nové zdroje energie v Evropě.....	7
Obrázek 4 - Derivační kanál	10
Obrázek 5 - Akumulační vodní elektrárna.....	10
Obrázek 6 - Výroba elektrické energie v PVE.....	11
Obrázek 7 - Přečerpávací vodní elektrárna	13
Obrázek 8 – Porovnání PVE s ostatními zdroji energie	14
Obrázek 9 - Schéma řešení a hlavní části vodní turbíny.....	15
Obrázek 10 - Rozdělení turbín podle průtoku vody oběžným kolem.....	17
Obrázek 11 - Schéma Peltonovy turbíny	18
Obrázek 12 - Francisova turbína.....	18

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Technické parametry elektrárny Dalešice	21
Tabulka 2 - Parametry Vltavské kaskády	22
Tabulka 3 - Porovnání technických parametrů největších vodních elektráren v ČR.....	23
Tabulka 4 - Základní údaje pro porovnání zisků	25
Tabulka 5 - Porovnání zisků po rekonstrukci	25

Seznam použité literatury

- [1] Přenos elektrické energie. *Fyzika.jreichel* [online]. ©2006-2017 [cit. 2017 02 18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/334-prenos-elektricke-energie>
- [2] Vodní elektrárny. *Svět energie* [online]. ©2016 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.svetenergie.cz/cz/elektrarny/vodni-elektrarny/charakteristika>
- [3] Vodní energie. *Česká energetika* [online]. ©2011 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/vodni_energie_a_historie_vyuziti_v_cr.html
- [4] Mapa vodních elektráren v ČR. In: *Tuul* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <https://tuul.sk/modal-prehrat-material/?id=120332&hide=>
- [5] HOLATA, doc.Ing.Miroslav. *Malé vodní elektrárny*. Akademie věd České republiky, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [6] Vodní mlýn. In: *Pixabay* [online]. ©2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: [pixabay.com/cs/mlýn-jaro-trentino-vodní-mlýn-1321594/](http://pixabay.com/cs/mlyn-jaro-trentino-vodni-mlyn-1321594/)
- [7] Obnovitelné zdroje energie. In: *Nalezeno* [online]. ©2015 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/obnovitelne-zdroje-energie.dic>
- [8] Obnovitelné zdroje v ČR. In: *Oze.tzb-info* [online]. ©2001-2017 [cit. 2017 02 18]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/13817-eu-v-roce-2015-zvysila-podil-obnovitelnych-zdroju-v-cr-pribylo-jen-nekolik-projektu>
- [9] Jak funguje vodní elektrárna. *Cez* [online]. ©2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/flash-model-jak-funguje-vodni-elektrarna.html>
- [10] Princip vodní elektrárny. *Oenergetice* [online]. ©2015 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/>
- [11] Vodní elektrárny. In: *Slideplayer* [online]. ©2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3334676/>
- [12] Přečerpávací vodní elektrárny. *O energetice* [online]. ©2015 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/>
- [13] MELICHAR, CSC., Doc.Ing. Jan. *Malé vodní turbíny*. 2000. Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02164-5.

- [14] MELICHAR, CSC., Ing. Jan. *Malé vodní turbíny*. 1995. Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01403-7.
- [15] Přímotlakové turbíny. *Mve.energetika* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [16] Francisova turbína. *Cez* [online]. ©1999 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/francis_turb.html
- [17] Turbíny. *H-union* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.h-union.cz/c-16-francisova-turbina.html>
- [18] Kaplanova turbína. *Vodní turbíny* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=08>
- [19] Vzdělávání. In: *Pro elektrotechniky* [online]. 2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/6.php>
- [20] Kaplanova turbína. In: *Absolventi.gymcheb* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://absolventi.gymcheb.cz/2008/otzemli/fyzika/>
- [21] Bankiho turbína. In: *Mve.energetika* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/>
- [22] Bankiho turbína. In: *Cez* [online]. 1999 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/banki_turb.html
- [23] Bankiho turbína. In: *Uef.fei.stuba* [online]. ©2016 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://uef.fei.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php?id=4285&mode=letter&hook=B&sortkey=&sortorder=&fullsearch=0&page=->
- [24] Největší vodní elektrárny. *Nalezeno* [online]. ©2015 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/5-nejvetsich-vodnich-elektraren-v-ceske-republice.aspx>
- [25] Dlouhé stráně. *Cez* [online]. ©2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html>
- [26] Dlouhé stráně. In: *Olomoucký deník* [online]. VLTAVA LÁBE MEDIA a.s., ©2005-2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: http://olomoucky.denik.cz/zpravy_region/na-dlouhe-strane-se-uz-autem-nepodivate20081007.html
- [27] Vodní elektrárna Dalešice. *Dalešická přehrada* [online]. 2010 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.dalesickaprehrada.cz/vodni-elektrarna-dalesice/>

- [28] Lipno. *Cez* [online]. 2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z:
<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/lipno.html>
- [29] Vltavská kaskáda. *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z:
<http://oenergetice.cz/elektrarny-cr/vodni-elektřarny-v-cr-vltavska-kaskada-1-cast>
- [30] Obnovitelné zdroje energie – *Ekonomika a možnosti podpory* [online]. 2009:
Ministerstvo životního prostředí [cit. 2017-02-18]. ISBN ISBN: 978-80-7212-519-7.
- [31] Vodní energie. *Ekwatt* [online]. ©2011 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z:
<http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie>
- [32] Vodní elektrárny. *Automatizace* [online]. ©1997-2014 [cit. 2017-02-18].
Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>
- [33] Vltavská kaskáda. In: *Pvl* [online]. ©2013 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z:
<http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-kaskada>