

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Využití různých typů turbín v malých vodních
elektrárnách**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Autor práce:

Filip Schoř

Praha 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Schoř

Technologická zařízení staveb

Název práce

Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách

Název anglicky

The use of different types of turbines in small hydro power plants

Cíle práce

Na základě literární rešerše zmapovat historický vývoj, současný stav a výhledy ve využívání různých typů turbín v malých vodních elektrárnách. Provést technicko-ekonomické hodnocení vybrané instalace.

Metodika

Zpracovat literární rešerši na dané téma. Popsat a zhodnotit vybranou malou vodní elektrárnu

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

hydroenergetika; vodní turbína; obnovitelné zdroje energie

Doporučené zdroje informací

Bednář, J.: Turbíny – malé vodní elektrárny, Nakladatelství Marcela Bednářová 2013, ISBN 978-80-905437-0-6

Melichar, J., Bláha, J., Brada, K.: Hydraulické stroje konstrukce a provoz, ČVUT Praha 2002.

Melichar, J.: Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny, ČVUT Praha 2013.

Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998.

Nechleba, M., Hušek, J.: Hydraulické stroje, SNTL Praha 1966.

Štoll, Č., Kratochvil, S., Holata, M.: Využití vodní energie, SNTL Praha 1977.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2015

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že s 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 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Martinu Polákovi Ph.D. za cenné rady, které mi výraznou měrou pomohly k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Lukášovi Dlabalovi za jeho věcné připomínky. V neposlední řadě, bych chtěl své poděkování věnovat Mgr. Haně Marii Kunešové, za její pomoc při závěrečných, především stylistických a jazykových úpravách své práce.

Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách

Souhrn

Cílem této práce je popis a hodnocení různých typů turbín používaných v malých vodních elektrárnách. Jedním z hledisek je historický vývoj od středověku až po současnost, kde jsou popsány nejrůznější typy turbín a budoucí vývoj ve využívání vodních turbín. Dále je v práci uvedeno dělení malých vodních elektráren, jejich výrobní a provozní objekty. Závěr teoretické práce je zaměřen na rozvoj malých vodních elektráren v České republice i ve světě. Praktická část je věnována MVE Želina. Je zde popsána historie této vodní elektrárny, její umístění a popis. Technické hodnocení elektrárny je zaměřeno na problematiku nedosahování výkonu, kterých je elektrárna schopná a možné návrhy na její zlepšení. Další část je zaměřená na finanční bilanci elektrárny, která je věnována výpočtu tržeb a rentabilitě za jednotlivá období. Závěr práce je věnován výpočtu možných úspor emisí CO₂.

Useage of different kinds of turbnes in a small water powerplants

Summary

The aim of this thesis is a description and evaluation of different types of turbines used in small hydropower plants from multiple perspectives. One of the aspects is the historical development from the Middle Ages to the present day, which describes the various types of turbines and future development in the use of water turbines. The thesis further discusses the various types of small hydroelectric power plants, their construction and manufacturing methods. At the conclusion of my thesis I deal with the development of small hydropower plants in the Czech Republic and worldwide. The practical part focuses on MVE Želina. There is the history of this hydropower plant, its location and description. Another part follows-up to the financial balance of the plant, where I dealt with the calculation of revenues and profitability for each period. In the end I focused on calculating the potential savings in CO₂ emissions.

Obsah

Úvod	1
1 Historie celosvětového využívání vodní energie	2
1.1 Historie vodních motorů	2
1.2 Historie vodních turbín.....	4
2 Obecné dělení vodních turbín	5
2.1 Podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo	5
2.2 Podle směru proudění vody vzhledem k ose oběžného kola.....	5
2.3 Podle měrné energie turbíny	7
2.4 Podle konstrukčního a projekčního uspořádání.....	7
3 Současné typy turbín používané u MVE.....	8
3.1 Peltonova turbína.....	8
3.2 Bánkiho turbína	9
3.3 Francisova turbína	10
3.4 Kaplanova turbína	11
4 Oblasti použití malých vodních turbín.....	12
5 Výhled do budoucnosti vodních turbín	14
5.1 Vířová turbína.....	14
5.2 Bezlopatková turbína	15
6 Malá vodní elektrárna	16
6.1 Dělení vodních elektráren	16
6.1.1 Podle instalovaného výkonu	16
6.1.2 Podle získaného spádu	17
6.1.3 Podle charakteru pracovního režimu	18
6.1.4 Podle velikosti spádu.....	18
6.2 Stavební řešení MVE.....	19
6.2.1 Vtokové objekty.....	19

6.2.2 Přivaděče a odpadní zařízení.....	20
6.3 Výrobní objekty	21
6.3.1 Spodní stavba	21
6.2.2 Horní stavba	22
6.3 Rozvoj MVE ve světě	23
6.4 Rozvoj MVE v České republice.....	23
7 MVE Želina.....	25
7.1 Historie	25
7.1.1 Rekonstrukce v roce 1991	26
7.2 Jez	27
7.3 Přívodní kanál	28
7.4 Turbíny a generátory	29
7.5 Ekonomické hodnocení	30
7.5.1 Provozní náklady	31
7.5.2 Výsledky hospodaření	31
7.5.3 Rentabilita tržeb	32
7.5.4 Rentabilita nákladů.....	33
7.6 Posouzení příčin nedosahování jmenovitého výkonu.....	34
7.7 Úspora na emisích CO ₂	37
Závěr	40
Seznam použitých zdrojů.....	41
Seznam obrázků	43
Seznam tabulek	44

Úvod

Zásoby fosilních paliv, které převážně tvoří uhlí, ropa a zemní plyn se blíží ke svému konci. Tepelné elektrárny mají trvale nepříznivý dopad na životní prostředí a orientace na jadernou energii s sebou přináší jistá bezpečnostní rizika. Z této situace je logicky nutné upřít pozornost na využívání vlastních, ekologicky čistých a nevyčerpatelných zdrojů energie.

Historicky nejstarším zdrojem energie je energie vodní, která se stává stále populárnější a zároveň ekologickým, levným a nejdůležitějším obnovujícím se zdrojem energie. Využívá se již od starověku. První vodní elektrárnu postavil T. A. Edison v Appletonu ve státě Wisconsin v USA v roce 1882. Krátce nato pod Niagarskými vodopády. Na výrobě elektřiny se dnes převládajícím způsobem podílí využití vodní energie. V dnešní době vodní energie zajišťuje zhruba jednu pětinu celkové výroby elektrické energie ve světě, proto se v posledních letech problematika malých vodních elektráren (MVE) opět dostává do popředí zájmu jak odborníků, tak široké veřejnosti.

Významným posláním vodních elektráren v ČR je pracovat jako doplňkové zdroje hlavních zdrojů (uhelné elektrárny, JE Dukovany, JE Temelín). Využívá se jejich schopnost rychlého najezení velkého výkonu. Územím českého státu procházejí tři hlavní evropská rozvodí oddělující úmoří Severního, Baltského a Černého moře. Pramení zde také velké množství řek, které jsou primárním zdrojem vodní energie. Každoročně opouští hranice našeho státu vodní energie o hodnotách více než 4,7 mil. MWh, kterou by bylo možné využít pomocí vodních elektráren o výkonu více jak 10 MW a dalších 2,1 mil. MWh na elektrárnách dosahujících výkonu do 10 MW (tedy malých vodních elektráren).

1 Historie celosvětového využívání vodní energie

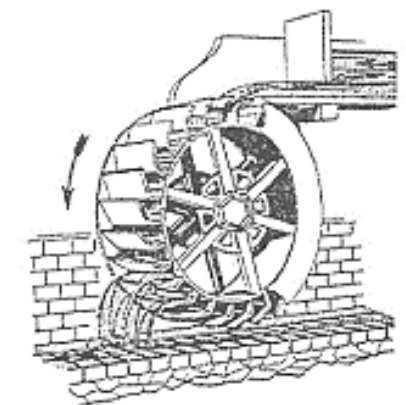
První zmínky o využívání vodní síly vedou do roku 600 př. n. l., kdy staří Chaldejci začali budovat kanály, které se zachovaly až do dnešní doby. Na těchto kanálech dovedli využít vodní energii pomocí vodního kola k čerpání vody do zavlažovacích kanálů. V roce 718 byl na našem území na řece Ohři u Žatce, jako první v Evropě, vybudován mlýn poháněný vodní energií. (Pažout, 1990)

1.1 Historie vodních motorů

Ve 2. století př. n. l. se začala v západní části Balkánského poloostrova konstruovat vodní kola osazená na vertikální hřídeli, sloužící pro pohon mlýnských kamenů.

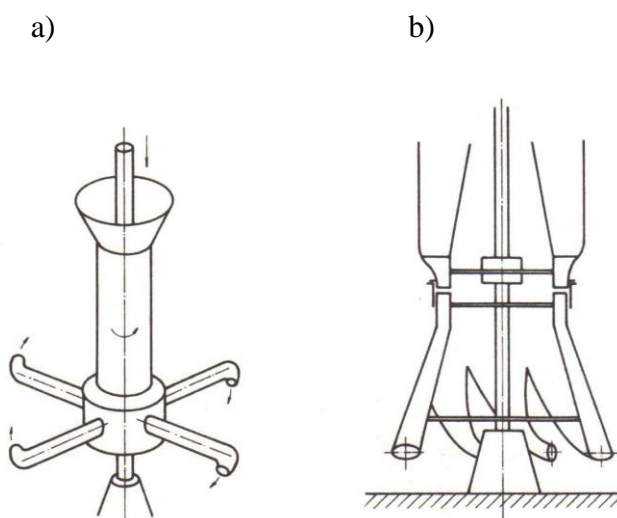
V 1. století př. n. l. první římský stavitel jménem Vitruvius Pollius vyvinul vodní kolo s horizontální osou a přenosem otáčení na vertikálně uspořádané mlýnské kameny. V průběhu několika století se vodní kolo využívané především při mletí obilí vyvinulo ve všeobecně využívaný energetický stroj. Na našem území byl první vodní mlýn již v roce 718 na řece Ohři u Žatce. Zprávy o dalším mlýnu na našem území byly zaznamenány v roce 1125 v Úněticích. Vodní kola, nejprve horizontální a později vertikální, se pro nejrůznější účely používala přes tisíciletí a dosahovala širokého uplatnění. Od 12. století bylo vodní kolo známo již po celé Evropě. (Bednář, 2013)

Ve 14. století se konstruovala vodní kola, která využívala svrchní nátok, tzv. korečníky (viz obr. 1), které využívaly svrchního nátok, a umožňovaly tak až zdvojnásobení dosud dosahovaného výkonu.



Obrázek 1 - Vodní kolo se svrchním nátokem (Melichar, 2000)

V 17. stol. se začalo používat nové řešení vodních kol využívajících dynamického účinku vodního paprsku, které bylo určitým předchůdcem rovnotlaké vodní turbíny. Teprve konec 18. století představuje vyvrcholení ve vývoji. Zkušenosti využívané pro realizaci vodních kol byly podloženy teoretickým i experimentálním zkoumáním proudění. V roce 1754 došlo ke zdokonalení využití tzv. reakčního principu (př. Segnerovo kolo, viz obr. 2) vedoucího k vývoji vodních turbín konstruktérem Leonardem Eulerem, jehož stroj dokázal dosáhnout účinnosti až 70 %.



Obrázek 2 - a) Segnerovo kolo, b) Eulerův stroj (Bednář, 2013)

V letech 1824 začal Francouz Claude Burdin vyvíjet první přetlakovou turbínu, kterou představil v roce 1826 pod názvem „turbinens“ a která se stala předvojem současného řešení přetlakových turbín. Stroj se však kvůli svému nesprávnému řešení lopatkování, které bylo příčinou malé účinnosti, příliš nerozšířil. V roce 1827 byla do provozu uvedena Fourneyronova přetlaková turbína s realizovatelným výkonem až $P = 40 \text{ kW}$, jejíž zdokonalení umožňovalo široké využití.

Po roce 1840 bylo vynalezeno množství dalších principů využití vodní energie, které umožňovaly zvýšení účinnosti při zlepšení konstrukčního řešení a snižování hmotnosti vodních motorů. (Bednář, 2013)

1.2 Historie vodních turbín

Vodní turbína je točivý mechanický stroj, který dosahuje 95 % účinnosti. Vodní turbína patří, stejně jako vodní kolo, do skupiny rotačních vodních motorů, kde dochází k přeměně energie vody v mechanickou energii rotující hřídele. Z historického hlediska přinesl vývoj vodních turbín řadu konstrukčních řešení s praktickým uplatněním. (Bednář, 2013)

Na úspěšnou Fourneyronovu turbínu navazovala turbína Jonvalova, jejíž účinnost dosahovala při plném otevření až 85 % a výkon 1,1 MW. Počátek výroby Jonvalovy turbíny se datuje k roku 1841. Turbína umožňovala umístění oběžného kola i v jiné výšce než bezprostředně nad spodní hladinou, což bylo na svou dobu převratné řešení. Patřila mezi první přetlakové turbíny, které se díky této inovaci vyznačovaly širokým rozsahem použití, např. v případech, kde kolísání spodní hladiny vody znemožňovalo využití rovnotlakých turbín.

Dalším úspěšným nástupcem Fourneyronovy turbíny je turbína Girardova, která významně zasáhla do začátků průmyslové revoluce. Mezi hlavní nevýhody, stejně jako u Jonvalovy turbíny, patřily zejména pomaloběžnost, velké rozměry, citlivost na nečistoty a špatný přístup k rozváděcímu ústrojí, který komplikoval provoz. Provoz Girardovy turbíny se datuje k roku 1890, kdy sloužila jako pohon továren, skláren, prádelen, textilek, pil a mlýnů. Jonvalovu turbínu později nahradila turbína Francisova, která byla rozměrově menší a přitom dosahovala stejného výkonu, snáze se regulovala a cenově byla výhodnější. Využití této turbíny je vhodné pro střední spády. (Kukla, 2012; Bednář, 2013)

V následujících letech došlo k vývoji turbín, které nacházejí své uplatnění i v dnešní době. Je to již zmíněná turbína Francisova, která je nejdéle využívaným typem. Navrhl jí James Bicheno Francis jako univerzální přetlakovou turbínu. (Kukla, 2012) V roce 1838 získal v USA Samuel. B. Howd patent na vodní turbínu, kterou se podařilo v roce 1849 Francisovi zdokonalit pomocí hydraulického řešení oběžného kola, díky kterému dosahovala turbína účinnosti až 90 %.

Z řady rovnotlakých turbín, které nacházejí využití, i v dnešní době můžeme zmínit především Peltonovu turbínu, kde jsou lopatky oběžného kola tečně ostříkovány paprskem vody. Vynalezena byla v roce 1880 Lesterem Allanem Peltonem. Tvar turbíny je podobný zdokonalenému vodnímu kolu, ale s vyšší účinností, která se pohybuje až okolo 90 %. (Machát, 2008)

S příchodem Kaplanovy turbíny došlo k výraznému kvalitativnímu skoku ve využívání vodní energie. V roce 1913 Viktor Kaplan svým návrhem axiální turbíny s možností natáčení lopatek oběžného kola vyřešil problém zvýšených měrných objemových otáček Francisových turbín, díky kterému vznikla řada modifikací i nových konstrukčních řešení turbín, jako např. Dériazova turbína. (Bednář, 2013)

2 Obecné dělení vodních turbín

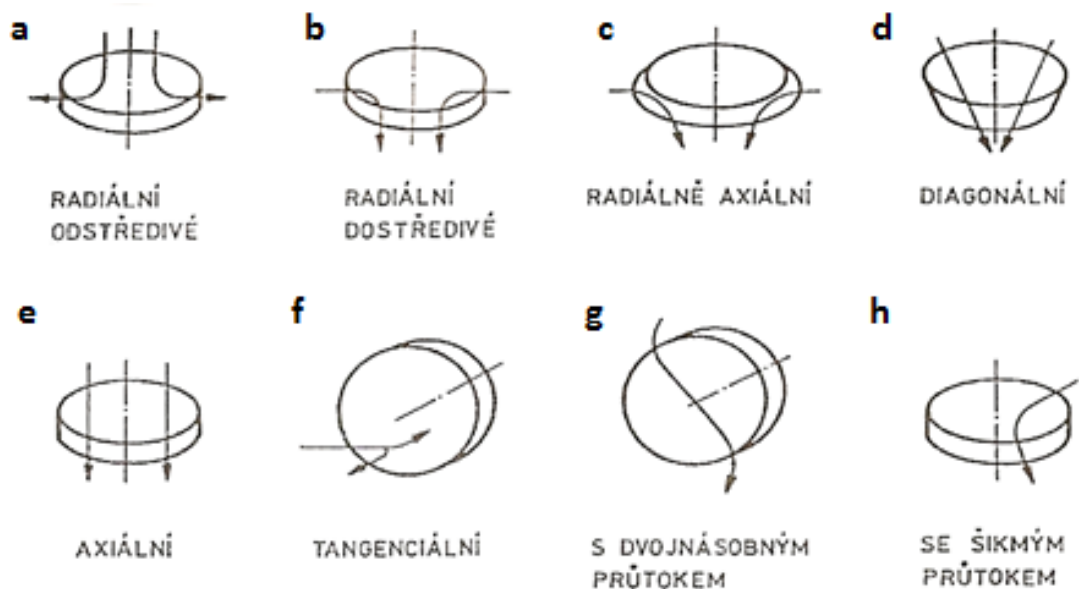
2.1 Podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo

- Rovnotlaké turbíny: Jsou schopny přeměnit v oběžném kole kinetickou energii vody na energii mechanickou (např. Peltonova turbína, turbína TURGO). Tlaková energie se zde mění na kinetickou již při průchodu příváděcím zařízením.
- Přetlakové turbíny: Dokážou přeměnit kinetickou i tlakovou energii vody v oběžném kole na mechanickou energii (např. Kaplanova, Francisova turbína, diagonální, turbína vrtulová). Jen část tlakové energie se v příváděcím zařízením mění na energii kinetickou, další část (zpravidla větší) tlakové energie se mění na kinetickou při průchodu oběžným kolem.

2.2 Podle směru proudění vody vzhledem k ose oběžného kola

- Radiální odstředivé (obr. 3 a): Voda protéká směrem od hřídele mezi lopatkami v oběžném kole.
- Radiální dostředivé (obr. 3 b): Voda protéká mezi lopatkami oběžného kola směrem k hřídeli, přičemž stejně jako u turbíny radiálně odstředivé, směr proudění v oběžném kole je kolmý na osu hřídele.
- Radiálně axiální (obr. 3 c): Směr proudění vody v oběžném kole se mění z radiálního na axiální nebo naopak. (moderní Francisova).
- Diagonální (obr. 3 d): Směr proudění vody v oběžném kole je šikmý k hřídeli (Dériazova).

- Axiální (obr. 3 e): Směr proudění vody je rovnoběžný s hřídelem turbíny (Kaplanova turbína)
- Tangenciální (obr. 3 f) Voda do oběžného kola vtéká ve směru tečny ke kružnici, jejíž střed se nachází na ose rotace oběžného kola. (Peltonova turbína).
- S dvojnásobným průtokem (obr. 3 g): Voda vstupuje na lopatky ve dvou směrech, při vstupu do oběžného kola dostředivě a při výstupu odtéká odstředivě (Bánkiho turbína).
- Se šikmým průtokem (obr. 3 h): Voda vstupuje na lopatky oběžného kola z boční strany a vystupuje v osovém směru (Turgo turbína).



Obrázek 3 – Rozdělení turbín dle průtoku vody oběžným kolem (Melichar, 2000)

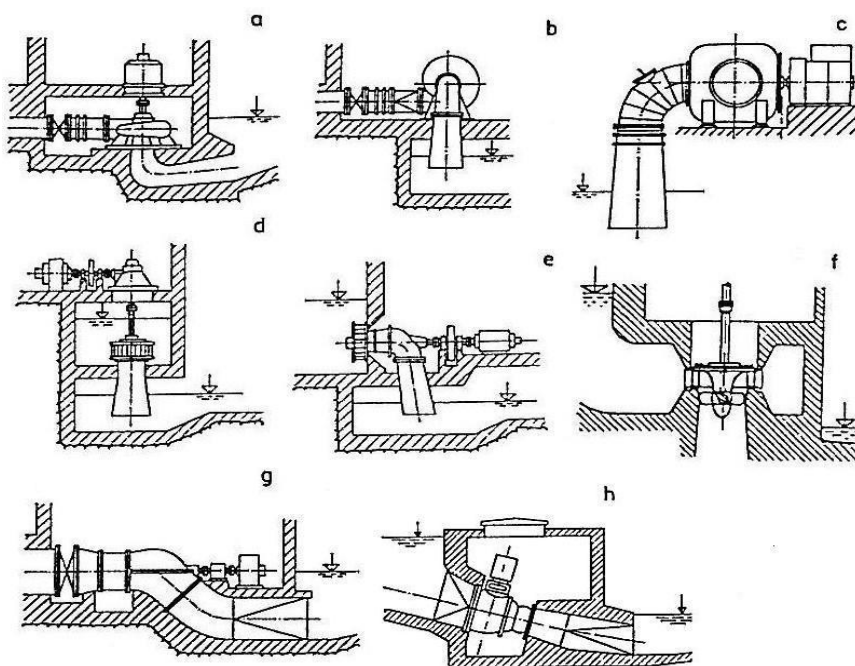
2.3 Podle měrné energie turbíny

Měrná energie je energie předaná jedním kilogramem vody mezi vstupním a výstupním profilem turbíny. [J/Kg]

- Nízkotlaké s měrnou energií do 200 J/kg (Kaplanovy turbíny)
- Středotlaké s měrnou energií do 1000 J/kg (např. Kaplanovy, Deriazovy a Francisovy turbíny)
- Vysokotlaké s měrnou energií více jak 1 000 J/kg (Francisovy a Peltonovy turbíny)

2.4 Podle konstrukčního a projekčního uspořádání

Dle konstrukčního a projekčního uspořádání lze turbíny rozdělit na horizontální, vertikální a šikmé uspořádání soustrojí (viz obr. 4).



Obrázek 4 - Koncepční řešení MVE (Melichar, 2000)

- a) vertikální spirálová, b) horizontální spirálová, c) horizontální kotlová, d) vertikální kašnová, e) horizontální kašnová, f) vertikální s betonovou spirálou, g) horizontální přímotoká, h) šikmé uspořádání ústrojí

- Horizontální: spirálová, kotlová, kašnová, přímotoká
- Vertikální: spirálová, kašnová, s betonovou spirálou

(Melichar, 2000; Gabriel, a další, 1998; Bednář, 2013)

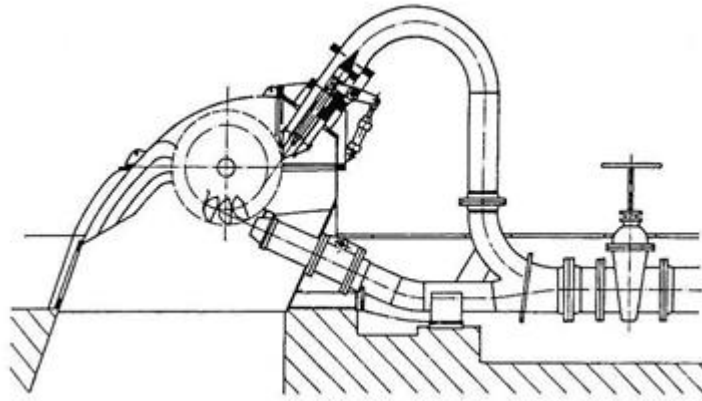
3 Současné typy turbín používané u MVE

V současnosti většina turbín používaných v malých vodních elektrárnách vychází ze dvou typů. Z rovnotlakých jsou to např. Peltonovy a Bánkiho turbíny. Z řady přetlakových můžeme zmínit Francisovy a Kaplanovy turbíny. Tyto turbíny jsou dnes stále široce používané v nejrůznějších modifikacích pro určité podmínky, proto jim je věnována následující kapitola.

3.1 Peltonova turbína

Peltonova turbína je klasickým představitelem rovnotlakých turbín. Voda proudí na oběžné kolo jednou až šesti tryskami (dýzami), (viz obr. 5). Turbína se specializuje na velký spád (minimálně 30 m) a poměrně malé množství vody. Je vhodná do horských oblastí na malé toky, kde je potřeba zpracovat relativně malé množství vody při velkém spádu. Výkon turbíny je možné regulovat změnou průtoku, který se realizuje zasouváním jehly do dýzy. K rychlému odstavení z provozu (např. při havarijním stavu) slouží tzv. deflektor, nebo deviátor. Toto zařízení slouží k odklánění nebo odřezávání vodního paprsku.

Voda vstupuje na oběžné kolo tangenciálně, kde je paprsek díky břítu lopatky rozdělen na dvě poloviny. Lžícovitý tvar lopatky má snahu vrátit vodu zpět, čímž dochází ke změně směru a tím k vyvození dynamického (silového) účinku. (Hájek, 1951; Melichar, 2000; Gabriel, a další, 1998)

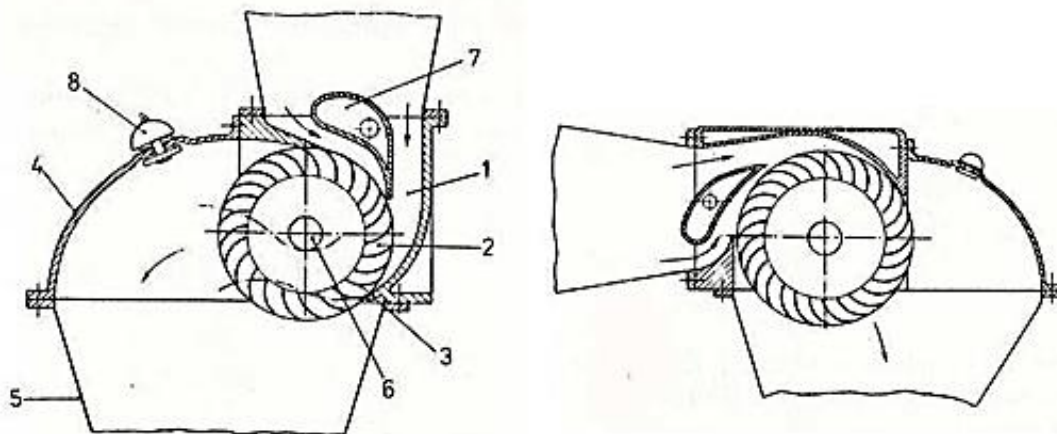


Obrázek 5 - dvoudýzová horizontální Peltonova turbína (Melichar, 2000)

3.2 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je jednoduchá rovnotlaká turbína. Vynalezl ji v roce 1917 Donát Bánki. U této turíny protéká voda přes lopatky dvakrát. Oběžné kolo je tvořeno z kruhových desek, mezi něž jsou po obvodu upevněny oběžné lopatky, dvakrát (viz obr. 6). Účinnost této turbíny se pohybuje okolo 78 – 84 % a lze ji využít pro spády 10 až 200 m. Tato turbína má velice široké použití, zejména na malých tocích. Díky poměrně širokému rozmezí parametrů použitelnosti a dobrých regulačních vlastností je ideálním motorem pro použití i v podmínkách extrémních hydrologických poměrů. Regulace se realizuje pomocí klapky popř. segmentovým uzávěrem.

Voda je vedena k turbíně pomocí potrubí kruhového průřezu. Na konci potrubí před turbínou je umístěn mezikus, který mění kruhový průřez na obdélný. Voda vstupuje tangenciálně do oběžného kola s dlouhými lopatkami, kde při prvním kontaktu s nimi dochází k přenesení vodní energie na mechanickou. V tomto okamžiku se turbíně předá asi 79 % z celkového výkonu. Lopatky odkloní tekoucí vodu směrem do středu kola k hřídeli. Následně vstupuje voda do protilehlé části oběžného kola, kde je pomocí lopatek přinucena změnit svůj směr a předává tak turbíně další díl energie. Voda po opuštění lopatkového věnce volně vytéká pod oběžné kolo. (Hájek, 1951; Melichar, 2000; Bednář, 2013)



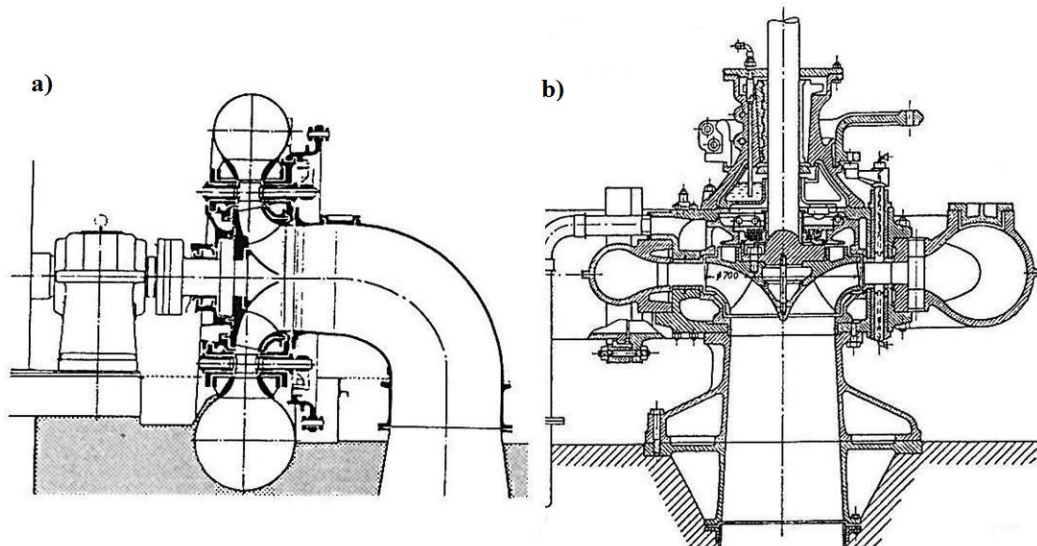
Obrázek 6 - Bánkiho turbína (Bednář, 1989)

1 – vstupní těleso, 2 – oběžné kolo, 3 – lopatka oběžného kola, 4 – těleso turbíny, 5 – savka, 6 - hřídel, 7 – regulační klapka, 8 – zavzdušňovací ventil

3.3 Francisova turbína

Francisova turbína je typem přetlakové turbíny s dvěma možnostmi uložení, vertikálním a horizontálním. Je určena především na spády do 500 m. Spodní hranice pro využití Francisovy turbíny je okolo 100 m. Historicky se jedná o nejrozšířenější typ turbíny, který byl v minulosti používán ve větší míře než dnes. Turbína se dá používat jako reverzibilní (tzn. čerpadlová turbína).

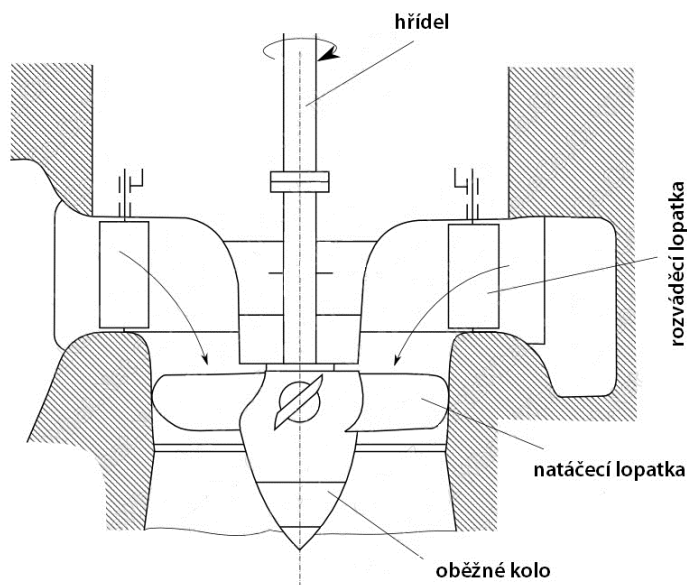
Uspořádání Francisovy turbíny je možné dvěma způsoby uložení hřídele, vertikálním nebo horizontálním. Voda je přiváděna spirální skříní na rozváděcí kolo, které má po obvodu regulovatelné lopatky. Pomocí těchto lopatek lze regulovat nebo zcela uzavřít přívod vody na oběžné kolo turbíny. Oběžné kolo je opatřeno pevnými oběžnými lopatkami, které jsou spojeny s věncem a nábojem kola (viz obr. 7). Konstrukce přiváděcího potrubí spolu s tlakem vedou k vyšší efektivitě této turbíny. V hydrologických podmínkách České republiky je nejčastěji využívaný typ vertikální kašnové nebo horizontální kašnové turbíny. (Melichar, 2000; Gabriel, a další, 1998; Bednář, 2013)



Obrázek 7 - Francisovy turbíny: a) horizontální spirální Francisova turbína
b) vertikální spirální Francisova turbína (Melichar, 2000)

3.4 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je typ přetlakové turbíny. Používá se od nejnižších spádů až do hranice přibližně 100 m, a to i v oblastech s velmi proměnným spádem. Možnost použití v těchto oblastech zajišťují natáčivé lopatky oběžného kola. Účinnost turbíny se pohybuje na hranici až 90 %.



Obrázek 8 - Kaplanova turbína (Cojeco; 2000)

Voda turbínou protéká rovnoběžně s osou rotace. Regulace výkonu se provádí současným natáčením rozváděcích lopatek a lopatek oběžného kola (viz obr. 8). Natáčení lopatek probíhá za plného chodu pomocí regulačního zařízení umístěného v náboji kola. Toto má velmi příznivý efekt na účinnost turbíny i při malých zatíženích. Nejčastěji se vyskytují ve vertikálním provedení, případně s horizontálním provedením se spirálou a sací troubou. Při menším výkonu je běžné horizontální provedení nebo s mírně šikmou osou rotoru, bez spirály. (Melichar, 2000; Melichar, a další, 1998)

4 Oblasti použití malých vodních turbín

V minulosti se nejčastěji instalovaná Francisova turbína používala pro měrné energie $E > 20$ J/kg. Dnes se využívá pro měrné energie $E = 50$ až 300020 J/kg. Instalace Francisovy turbíny s kašnou se dnes používají výjimečně, toto řešení je vhodné pro měrné energie do $E = 120$ J/kg. U malých vodních elektráren jsou dnes nejčastěji instalovány Francisovy turbíny používané pro rozsahy měrných energií $E = 200$ až $3\ 000$ J/kg.

Kaplanovy turbíny se používají pro měrné energie $E = 15$ až 150 J/kg, především pro ekonomickou nevýhodnost nejsou používány pro měrné energie $E < 20$ J/kg. Jejich rozměry a hmotnosti při zachování průtoku a spádu bývají obvykle menší než u Francisových turbín. Rizikem při použití přetlakových turbín je výskyt kavitace. Proto je třeba dbát na správnost postavení oběžného kola vůči hladině vody. Spirální Kaplanovy turbíny s axiálním rozvaděčem, jejichž řešení je odvozeno z Kaplanových turbín větších výkonů, se dnes u malých vodních elektráren příliš neinstalují kvůli vysokým investičním nákladům. Typickým příkladem turbíny používané pro malé vodní elektrárny je horizontální kašnová turbína s možností regulací oběžných lopatek za klidu. Toto řešení je vhodné pro měrné energie $E = 15$ až 50 J/kg a průtoky $Q = 0,5$ až 6 m³/s.

Přímotoké axiální turbíny jsou používané pro vodní díla s malou hodnotou měrné energie $E < 200$ J/kg. Tato turbína se vyznačuje velmi vhodným hydraulickým řešením bez spirály většinou s vodorovnou hřídelí (popř. šikmou), díky kterému je dosaženo větší hltnosti, a tím pádem i větších výkonů na přímé přítokové dráze. Nedochozí ke ztrátám energie ve vstupní části turbíny a v přivaděči, proto pracují s vyšší účinností na rozdíl od běžných vertikálních Kaplanových turbín. Hydrocentrálu je možné osadit více jednotkami díky menším radiálním rozměrům. Vzhledem k popsaným výhodám umožňuje toto řešení rapidně snížit

investiční náklady na malou vodní elektrárnu. V současnosti jsou rozšířeným typem přímotokových turbín Kaplanovy – S turbíny, nebo jednodušší Semi – Kaplanovy turbíny.

Rovnotlaká Peltonova turbína je dalším typickým představitelem turbín používaných v malých vodních elektrárnách. Používá se v průmyslových malých vodních elektrárnách při hodnotách měrné energie $E = 500$ až 4000 J/kg a průtoky $Q = 0,2$ až 3 m³/s u průmyslových malých vodních elektráren, a pro měrné energie $E > 200$ J/kg a průtoky $Q = 0,01$ až $0,2$ m³/s u drobných malých vodních elektráren. Při daných parametrech vodního díla se může také uplatnit rovnotlaká Bánkiho turbína používaná pro měrné energie $E = 10$ až 2000 J/kg a průtoky $Q = 0,02$ až 9 m³/s.

V případě nejednoznačného použití Peltonovy nebo Francisovy turbíny se používá turbína Turgo. Může být využita v oblasti měrných energií $E = 100$ až 3000 J/kg . Oblasti použití 4 základních typů turbín pro malé vodní elektrárny jsou znázorněny na obr. 9. Rozdělení je na základě spádu h a měrných otáček N_q . Pro výpočet měrných otáček se používá vzorec: (Bednář, 2013; Melichar, 2000).

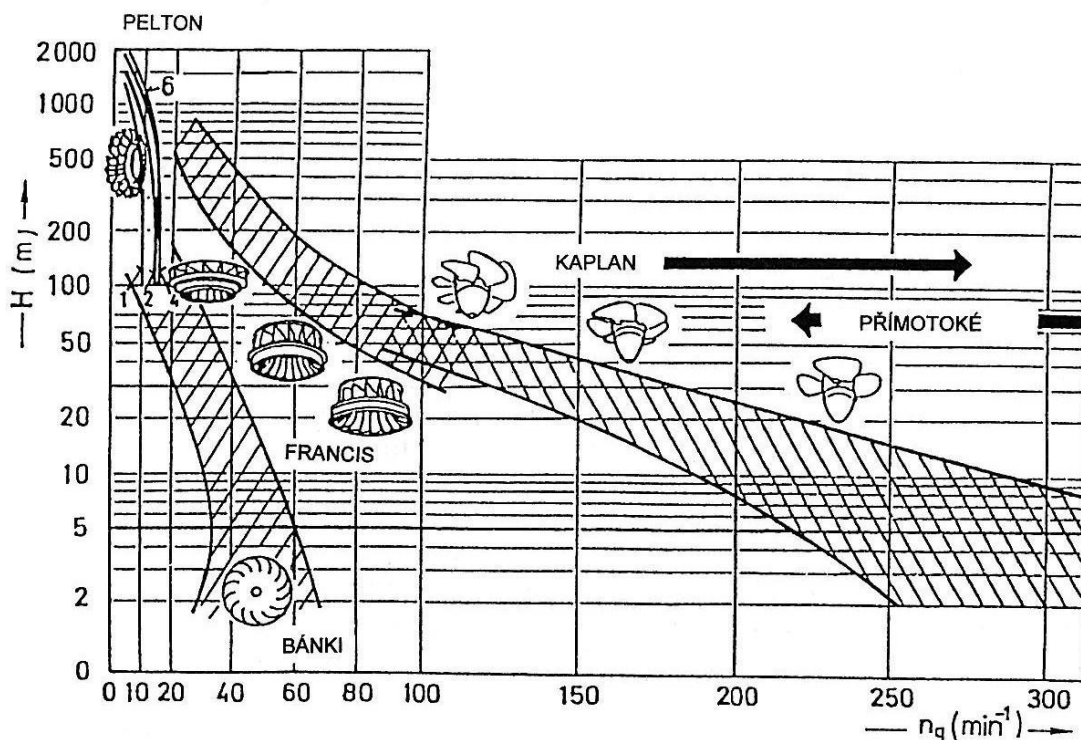
$$N_q = 60 \cdot N \cdot \frac{Q_j^{0,5}}{h^{0,75}} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

Kde:

N [s⁻¹] ... provozní otáčky turbíny

Q [m³s⁻¹] ... jmenovitý průtok turbínou j

h [m] ... spád



Obrázek 9 - Oblasti použití turbín pro malé vodní elektrárny (Melichar, 2000)

5 Výhled do budoucnosti vodních turbín

5.1 Vírová turbína

Vírová turbína byla vyvinuta v Brně vědeckým týmem pod vedením profesora Ing. Pochylného, CSc. Jedná se o novou koncepci vodní turbíny, která je určena speciálně pro malé spády od 1 do 3 m a velké průtoky. Její použití je možné u říčních toků, kde spád dosahuje do 2,5 m, ale s velkým průtokem. Zde je také možné využít i Kaplanovu turbínu, ale její výroba je příliš nákladná a při nízkých spádech dosahuje nízké účinnosti.

Základní princip činnosti této turbíny spočívá v tom, že vírová turbína nepoužívá rozváděcí kolo. Voda vstupuje do oběžného kola rovnoběžně s osou a po průchodu lopatkami vychází rotující proud vody proti směru rotace kola. Na středovém náboji jsou umístěny minimálně 2 oběžné lopatky, jejichž tvar umožňuje dosahovat vyšších provozních otáček turbíny, proto v určitých případech není nutné používat převodovku. Turbínu je možné odstavit prakticky okamžitě, a to otevřením uzavírací klapky, čímž dojde k přerušení sacího efektu. (Rott, 2008) (Dušička, a další, 2003)

5.2 Bezlopatková turbína

Bezlopatková turbína je zkonstruována na novém hydrodynamickém principu. Byla objevena teprve nedávno – v roce 1995. její vynalezení je připisováno panu Ing. Miroslavu Sedláčkovi z ČVUT.

Princip odvalovací bezlopatkové turbíny plyne z odvalovacího rotoru (koule, polokoule,...), který je excentricky umístěn ve výtokovém statoru. Kapalina protéká štěrbinou, v prostoru kde nastávají vhodné podmínky pro vznik odvalovacího jevu, který je podstatou funkcí turbíny. Rotor i stator tvoří v klidovém stavu koncentrický difuzor, který se v důsledku průtoku vody štěrbinou mezi rotorem a státorem mění na excentrický. Rotor, který je unášen v radiálním směru působením protékající kapaliny je přitlačován ke stěně statoru. Při doteku stěny statoru se následně začne odvalovat a otáčet se, čímž dochází k otáčení hřídele, se kterým je rotor pevně spojen. Odvalovací způsob funguje tím způsobem, že při průtoku vody státorem se rotor začne odvalovat jedním či druhým směrem.

Koncepce prvních odvalovacích turbín byla řešena způsobem, kdy rotor byl zavěšený ve vstupní části statoru a byl napevno připevněn k hřídeli. Průtok se pohyboval v jednotkách až desítkách litrů za sekundu. Tato konstrukce byla však nedostačující, zejména pro hydraulické spády nad 1 metr. Proto byla vymyšlena druhá koncepce s podepřeným rotorem, který byl stejně jako u prvního případu napevno připojen k hřídeli. Výhodou je, že voda obtéká pouze část hřídele, čímž dochází k minimálním ztrátám.

Za dobu, kdy byl tento typ turbín využíván, došlo k vývoji mnoha využitelným aplikacím. Multifunkční schopnosti turbíny předurčují široké uplatnění v nejrůznějších oblastech. Mezi ty nejvýznamnější patří využití v malých, resp. domácích vodních elektrárnách, doplněk k existujícím malým vodním elektrárnám, zavlažovací a čistící technice, nebo nářadové technice (vrtačky, brusky).

Mezi nesporné výhody odvalovacího principu patří jednoduchá konstrukce, jednoduchá obsluha a nízké provozní náklady, použití i v malých, dostupných zdrojích energie a rychlá investiční návratnost.(Polák, 2013)

6 Malá vodní elektrárna

6.1 Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny lze rozlišit podle několika charakteristických rysů. Rozdělení podle instalovaného výkonu je důležité pro bližší upřesnění pojmů malé vodní elektrárny (MVE) a malé vodní turbíny.

6.1.1 Podle instalovaného výkonu

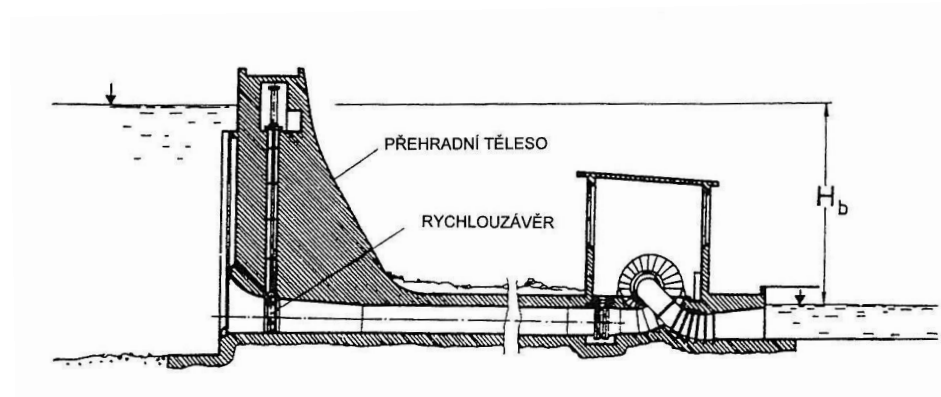
- malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW,
- střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW,
- velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW.

Další rozdělení malých vodních elektráren:

- domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW,
- vodní mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW,
- vodní mini elektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1 000 kW,
- průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW.

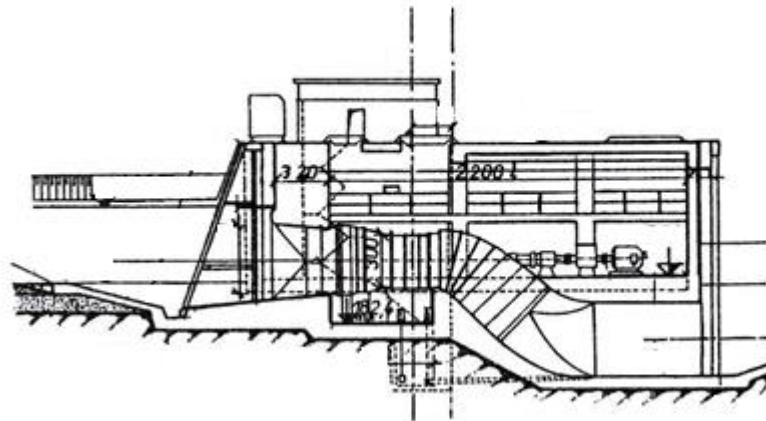
6.1.2 Podle získaného spádu

- přehradová vodní elektrárna, jejíž spád je tvořen přehrazením vodního toku přehradou (viz obr. 10)



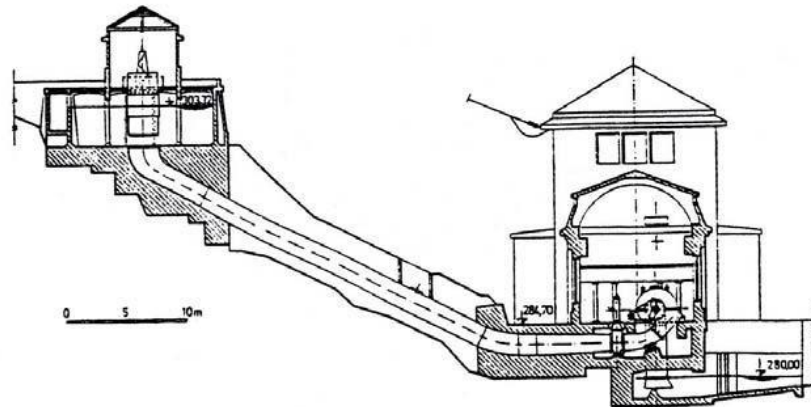
Obrázek 10 - Přehradová MVE (Melichar, 2000)

- jezová vodní elektrárna, kde ke zvýšení hladiny i manipulaci spádu dochází prostřednictvím jezu (viz obr. 11)

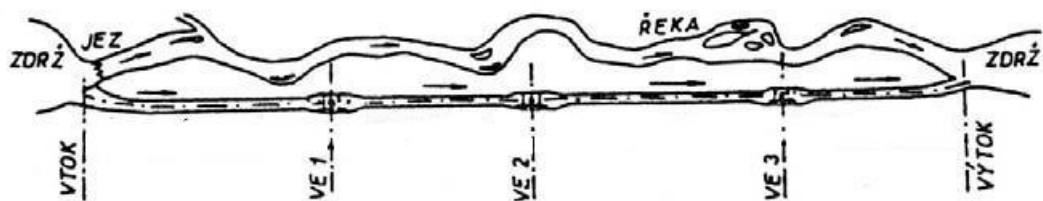


Obrázek 11 - Jezová MVE (Gabriel, a další, 1998)

- derivační vodní elektrárna, kde se pomocí tlakové (Obr. 12) nebo beztlakové (Obr. 13) derivace využívá umělé vedení vody mimo vodní tok



Obrázek 12 - Derivační MVE (Gabriel, a další, 1998)



Obrázek 13 - Skupina kanálových MVE na společné derivaci (Gabriel, a další, 1998)

- vodní elektrárny bez vzdouvací stavby využívají velký podélný sklon toku vzdouvací stavby vybudované k tomuto účelu.

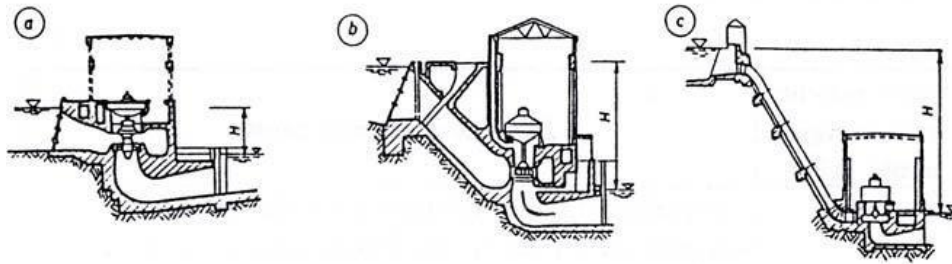
6.1.3 Podle charakteru pracovního režimu

- průtočné, které pracují bez vlivu na přirozený průtok vody
- akumulární, které využívají řízeného odběru vody z akumulární nádrže

6.1.4 Podle velikosti spádu (Obr. 14)

- nízkotlaké pracující se spádem do 20 m
- středotlaké pracující se spádem od 20 m do 100 m
- Vysokotlaké pracující se spádem nad 100 m.

(Gabriel, a další, 1998)



Obrázek 14 - Dělení MVE dle spádu: a) nízkotlaké b) středotlaké c) vysokotlaké (Gabriel, a další, 1998)

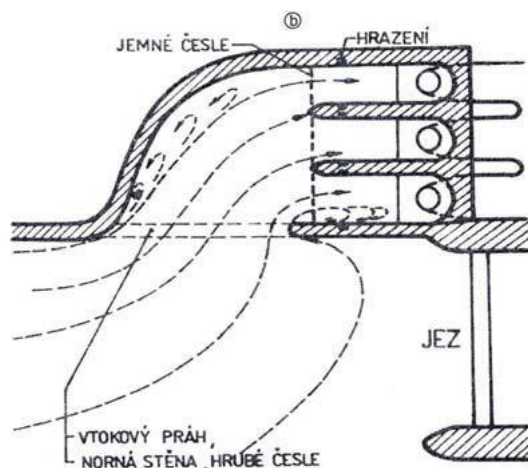
6.2 Stavební řešení MVE

Jak vyplývá z předchozí kapitoly, způsobů řešení vodních elektráren je mnoho. Stavební řešení bývá podmíněno různými faktory, přičemž mezi nejdůležitější patří vhodnost hydraulického řešení. Mezi další faktory patří situativní podmínky v dané lokalitě, kde se elektrárna navrhuje. Na základě těchto počátečních podmínek se navrhuje stavební řešení vodní elektrárny. Stavební návrh, za který je odpovědný projektant, má v závěru velký vliv na výsledné parametry vodní elektrárny i na ekonomickou výhodnost stavby.

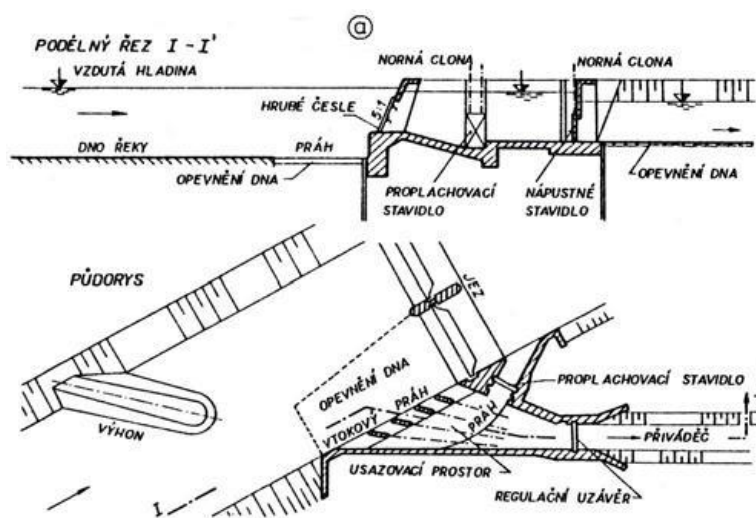
Vodní elektrárna je postavena z několika částí, mezi které patří vtokové objekty, přiváděcí a odpadní zařízení a výrobní objekty. (Gabriel, a další, 1998)

6.2.1 Vtokové objekty

Vtokovým objektem u vodních elektráren se zajišťuje požadovaný odběr vody z toku (viz obr. 15, 16). Slouží k přívodu vody na vodní turbíny s co možná nejnižšími ztrátami. Kromě toho jsou u vtokového objektu česle, které zajišťují, aby se na turbínu nedostaly splaveniny, ledové kry a tříšť, nebo jiné předměty, které by ohrozily chod turbíny. Na dně je umístěn práh sloužící pro zachycení předmětů sunutých se po dně. Vtokové objekty musí být konstruovány tak, aby byl nárůst rychlosti plynulý. U složitějších případů se doporučuje provést hydraulický výzkum, který se provádí např. u velkých elektráren. Řešení vtokového objektu záleží zejména na typu projektované elektrárny. (Gabriel, a další, 1998; Štoll, a další, 1977)



Obrázek 15 - Jezová elektrárna umístěná do zářezu v břehu (Gabriel, a další, 1998)



Obrázek 16 - Derivační elektrárna (Gabriel, a další, 1998)

6.2.2 Přivaděče a odpadní zařízení

Přivaděče a odpady slouží k dopravě vody k turbínám a následnému odvedení po předání energie vody turbíně. Při přivedení vody k elektrárně bývá obvykle k dispozici dostatek energie, při jejím odvádění od elektrárny je k dispozici pouze energie, která zůstala po využití původní energie vodní turbínou. Při navrhování přivaděčů a odpadů je postupováno tak, aby ztráta energie v nich byla co nejmenší. Slouží také k soustředění spádů na delších úsecích pomocí tzv. derivate. U malých vodních elektráren je snaha spíše omezovat délku přivaděče a odpadu na co nejméně možnou, protože dlouhé přivaděče a odpady prodražují stavbu a odebírají velké množství vody z původního přirozeného toku. Z konstrukčního hlediska se přivaděče a odpady dělí na kanály, náhony, štol, žlaby, potrubí a šachty. Podle tlakových poměrů je můžeme rozdělit na beztlakové s volnou hladinou vody a na tlakové.

Beztlakové přivaděče – otevřené kanály, náhony a žlaby – se velmi často navrhují u malých vodních elektráren pro přívod vody a odvod od nich zpátky do toku. Jejich realizace bývá levnější, než tlakové přivaděče. Z konstrukčního hlediska je lze rozdělit na zakryté a nezakryté.

Tlakové přivaděče – bývají ve většině případů výrazně dražší než přivaděče beztlakové. Pokud je to proto jen trochu možné, snažíme se při návrhu hydraulického systému vyhnout tlakovým přivaděčům. Mnohdy ale bývají jediným možným řešením, proto je krátké tlakové přivaděče možné vidět i u malých vodních elektráren. Při navrhování tlakového přivaděče je nejprve nutné vypracovat jeho hydraulický návrh s přihlédnutím ke statickým a dynamickým zatížením, kterým je přivadeč v provozu vystaven. Pro vypracování hydraulického návrhu je nutné určit okrajové podmínky proudění, z nich je potřeba znát: průtok přivaděčem s možností jeho kolísání, dovolenou rychlost proudění vody v tlakovém přivaděči a tlakové poměry podél celé trasy přivaděče a ve vtoku. (Gabriel, a další, 1998)

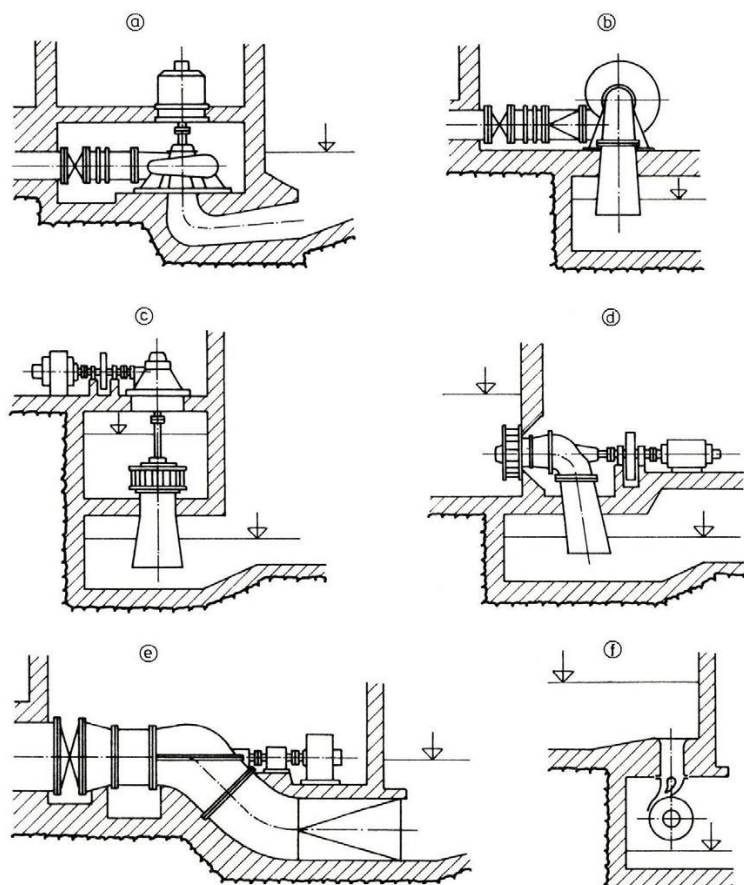
6.3 Výrobní objekty

Nejdůležitější částí malé vodní elektrárny je vlastní stavba, v níž dochází k výrobě elektrické energie. Je tvořena budovou vodní elektrárny se strojovnou, provozními objekty a doprovodnými zařízeními (rozvodna, montážní prostory, atd.). Mezi základní vybavení každé strojovny patří turbína, generátor a transformátor. Návrh stavby malé vodní elektrárny je ovlivněn řadou podmínek a faktorů, rozdílných hydrologických, morfologických a geologických podmínek, které vedou k hledání nejrůznějších koncepčních a dispozičních řešení. Z tohoto důvodu můžeme říct, že stavba každé vodní elektrárny je unikát. Důležitým faktorem je také rentabilita, která vede provozovatele ke snaze o jednoduché bezobslužné řešení, které bude investičně a provozně minimálně nákladné. Mimo speciální typy vodních elektráren, které se navrhují zcela výjimečně (např. pilířové VE, věžové), můžeme říct, že budova vodní elektrárny má dvě hlavní části: spodní stavbu a horní stavbu. (Gabriel, a další, 1998)

6.3.1 Spodní stavba

Spodní stavbou nazýváme tu část budovy, kterou nalezneme pod úrovní podlahy. Je to obvykle nejsložitější konstrukční část malé vodní elektrárny. Jedná se o stavbu s mnoha specifickými požadavky na její provedení, způsob zakládání apod. Jsou zde umístěné příslušné prostory pro soustrojí, jeho příslušenství a pro komunikace, ale také zařízení nutná pro

zabezpečení soustrojí (uzávěry, synchronní ventily, čerpací agregáty mazacího a tlakového oleje, olejové hospodářství apod.). Rozměry spodní stavby jsou závislé na mnoha faktorech, jako jsou rozměry oběžného kola, velikosti sací výšky nebo na tvaru savky, ale především na typu soustrojí a jeho dispozičním uspořádání (vertikálním nebo horizontálním). Na obr. 17 jsou zobrazeny nejčastější příklady uspořádání turbín ve spodní stavbě. (Gabriel, a další, 1998)



Obrázek 17 - Uspořádání turbín ve spodní stavbě (Bednář, 1989)

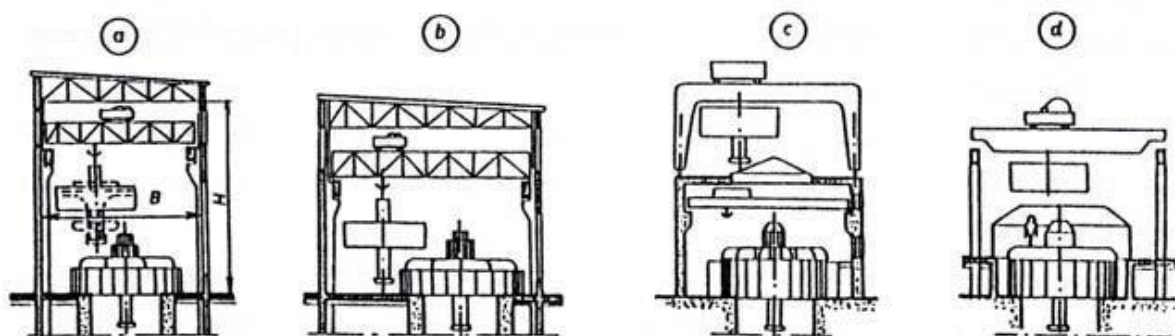
- a) vertikální spirálová b) horizontální spirálová c) vertikální kašnová d) horizontální kašnová e) přímoproudá f) Bánkiho turbína

6.2.2 Horní stavba

Horní stavba je část elektrárny, která se nachází nad úrovní podlahy strojovny. Najdeme v ní horní část alternátorů s budiči s regulátory, kontrolní panely soustrojí, transformátory a mostové, nebo jiné druhy jeřábů.

Rozměry horní stavby jsou navrženy tak, aby byla zaručena bezpečnost při provozu, montáži a oprav veškeré technologie, jak to vyžadují platné předpisy o ochraně bezpečnosti

práce. Na obr. 18 jsou zobrazeny možné tři způsoby řešení horní stavby: zakrytá (Obr. 18 a, b), polozakrytá (Obr. 18 c) a odkrytá (Obr. 18 d) (Gabriel, a další, 1998)



Obrázek 18 - Typy horních staveb u MVE (Gabriel, a další, 1998)

6.3 Rozvoj MVE ve světě

V současné době lze charakterizovat situaci ve využívání vodní energie snahou maximálně využít primární hydroenergetický potenciál, ale i rekonstruovat, inovovat a budovat stále nové malé vodní elektrárny. Některé Evropské země, jako je např. Švédsko a Rakousko, přisuzují hydroenergetice stále větší význam, a to i z důvodu velice specifického postoje k jaderným elektrárnám. Nejprogresivnější přístup ve výstavbě malých vodních elektráren lze pozorovat v zemích, jako je Švédsko, Norsko, Finsko nebo Francie.

Ve Francii od roku 1963 do roku 1975 bylo postaveno přes 100 malých vodních elektráren. Výroba tím stoupla více jak 4krát. Ve Švédsku bylo v roce 1985 evidováno 250 plně automatizovaných vodních elektráren. Vývoj je zde naplánován na 25 let dopředu a počítá s 1 000 nově postavených malých vodních elektráren o výkonu 100 až 150 kW s celkovou výrobou asi 2 mld kWh/rok. V Norsku a Finsku je podobný přístup k rozvoji malých vodních turbín. (Gabriel, a další, 1998)

6.4 Rozvoj MVE v České republice

Již delší dobu je řešena otázka malých vodních elektráren a negativních důsledků jejich rušení v minulých desetiletích. V období socialismu jejich počet výrazně poklesl, protože jejich významu nebyl přikládán takový důraz. Důvodem rušení těchto malých vodních elektráren byl tehdejší politický a hospodářský vývoj. Tyto malé vodní elektrárny, které sloužily zejména potřebám obcí a podnikům, kladly poměrně velké nároky na provoz a údržbu oproti velkým

elektrárnám. V roce 1930 bylo v Čechách a na Moravě celkem 10 514 malých vodních elektráren, v roce 1953 se počet snížil na 4 392, v roce 1966 už na pouhých 450. V poslední době můžeme konstatovat nárůst těchto energetických zdrojů. Je to zejména z důvodu změny energetické situace, která vedla k nárůstu zájmu o malé zdroje elektrické energie. (Gabriel, a další, 1998)

Za malou vodní elektrárnu (MVE) se u nás považují zařízení s výkonem do 10 MW. Z celkové produkce elektřiny v ČR se v roce 2008 vyrobilo 2,8 % ve vodních elektrárnách, tj. 2,4 mil. MWh. Z toho připadá asi čtvrtina na MVE s instalovaným výkonem do 1 MW a zhruba stejné množství na MVE s výkonem od 1 do 10 MW.

Víme, že výstavba velkých vodních elektráren přináší výrazný zásah do životního prostředí (přehradní hráze, zatopené oblasti, změna vodního režimu). Potenciál pro jejich stavbu je v naší zemi prakticky vyčerpán.

Naproti tomu MVE lze i nadále u nás stavět. Jedná se o jeden z nejčistších a nejefektivnějších obnovitelných zdrojů energie. Další cestou je také instalace moderních a účinnějších turbín a soustrojí ve stávajících MVE. Leckdy zde ovšem fungují stroje staré i 100 let, proto použitím moderních technologií lze efektivněji využít vodního potenciálu (produkce může být až o několik desítek procent vyšší). Technicky využitelný potenciál toků využitelný v MVE je odhadován na 1,4 mld. kWh/rok. Dnes se využívají asi dvě třetiny tohoto potenciálu. Nevyužitý potenciál malých vodních elektráren u nás činí zhruba 30 %, což je asi 500 mil. kWh/rok.

Obnova MVE v historických lokalitách nemusí mít jen energetický význam. Obnova starého vodního díla na malém toku může třeba vhodně podpořit jeho revitalizaci a zvýšit lokální biodiverzitu.

Z výše uvedených a nastíněných důvodů jsem se proto podrobněji věnoval chodu malé vodní elektrárny Želina v oblasti severních Čech.

7 MVE Želina

Malá vodní elektrárna Želina se nachází na řece Ohři pod obcí Želina (viz obr. 19). Elektrárnu v současnosti provozují elektrárny Tušimice a město Kadaň, které ji původně nechalo vybudovat.



Obrázek 19 - Umístění MVE Želina na řece Ohře (Mapy.cz, 2016)

7.1 Historie

Malá vodní elektrárna Želina, kterou nechalo vybudovat město Kadaň byla do provozu uvedena 6. dubna 1908. Součástí elektrárny jsou dvě dvojčité Francisovy vodní turbíny, každá s výkonem 294 kW, které pohánějí dva asynchronní generátory. Od želinského jezu přiváděla vodu na turbínu 166 m dlouhá štola, široká 4,30 m a vysoká 3,60 m. Vzrůstající požadavky ze strany okolních měst a obcí na odběr elektřiny postupem času elektrárna nestačila pokrýt, proto se začalo uvažovat o výstavbě nové vodní elektrárny v nedalekých Lomazicích. Ta byla uvedena do provozu roku 1925. Díky tomu však byla „stará“ vodní elektrárna v Želině uzavřena a sloužila jako jakýsi vstupní a čisticí objekt pro Lomazickou elektrárnu. Lomazická elektrárna dnes již neexistuje, neboť musela roku 1965 ustoupit Nechranické přehradě.

7.1.1 Rekonstrukce v roce 1991

Malá vodní elektrárna mezitím chátrala spolu s jejím technickým vybavením, a to prakticky až do roku 1991, kdy bylo rozhodnuto o její obnově. Po rekonstrukci želinského jezu se v roce 1995 dočkala znovuoobnovení i celá malá vodní elektrárna. Obě dvojčité Francisovy turbíny, které zůstaly původní, byly repasovány a nově instalovány na původní místo. Součástí rekonstrukce byla i následná revize na Francisově turbíně, rozvaděči, brzdě, převodovce a na hydraulickém agregátu. Na Francisově turbíně probíhala revize ložisek, výměna mazacího tuku a kontrola klínování oběžných kol. U rozvaděče byla kontrolována vůle lopatek – dosedacích ploch, nastavení táhla a kontrola ucpávky regulační hřídele včetně regulačních srdcí. Na brzdě probíhala kontrola, nastavení a dotažení spojů, u spojky proměření vůle a radiální a axiální házivosti. Na hydraulickém agregátu šlo o revizi všech šoupátek, vypuštění oleje, kontrolu otěrem a následné vyčištění. Poslední kontrola byla provedena na převodovce, kde došlo k demontáži víka, vypuštění oleje, vyčištění, dotažení spojů, následné doplnění oleje a montáži.(ČEZ, a.s.)

Původními majiteli vodní elektrárny byly Severočeské rozvodné závody Děčín, poté podnik Elektrárny Tušimice a následně získalo elektrárnu do vlastnictví opět město Kadaň. Město nakonec svěřilo Želinu do vlastnictví Elektrárnám Tušimice. Dnešním vlastníkem je skupina ČEZ, která vlastní jednu z unikátních technicko - historických památek na vodních tocích v Česku.

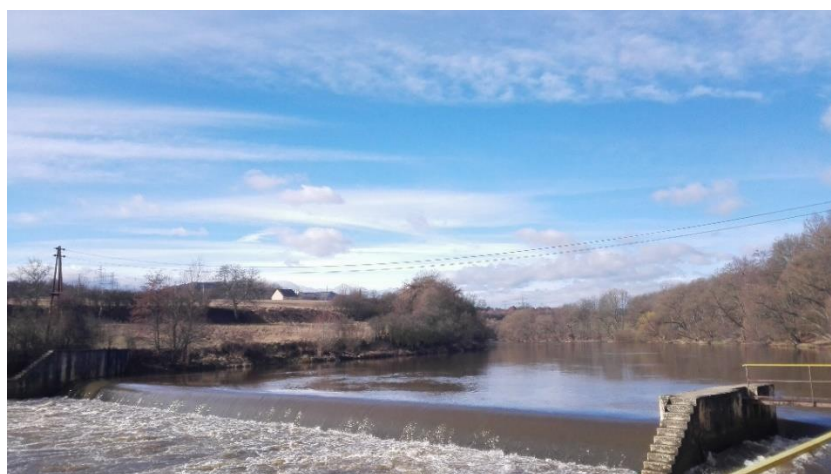
7.2 Jez

Betonový jez, který je vysoký 3 metry, má lomený tvar a leží na 122,7 říčním kilometru povodí Ohře (viz obr. 20). Vlevo po směru toku řeky nad propustí se odebírá voda pro MVE Želina.



Obrázek 20 - Situace MVE Želina (Google.cz, 2016)

Součástí jezu je i pohyblivá jezová konstrukce propusti, která je situovaná po jeho levé straně. Průtočné množství záleží na manipulaci ve vodní nádrži Kadaň. Přístup k jezu je možný po obou březích do 100 metrů od jezu (viz obr. 21).



Obrázek 21 - Jez MVE Želina (vlastní zpracování, 2016)

7.3 Přívodní kanál

Přívodní kanál tvoří prokopaná štola (viz obr. 22) ve skalním masivu, která slouží k propojení vtokového objektu u jezů a odkalovací jímky před elektrárnou.



Obrázek 22 - Přítokový kanál (ČEZ, a.s.)

Součástí náhonu (viz obr. 23) jsou v popředí hrubé česle a v pozadí dvě stavidla sloužící jako sektorový hradící prvek k zastavení a regulaci průtoku vody. Regulace je prováděna částečným povytažením stavidla nad hladinu vody v betonovém korytu. Tato stavidla byla nově instalována po rekonstrukci v roce 1995.



Obrázek 23 - Hrubé česle a stavidla (vlastní zpracování, 2016)

7.4 Turbíny a generátory

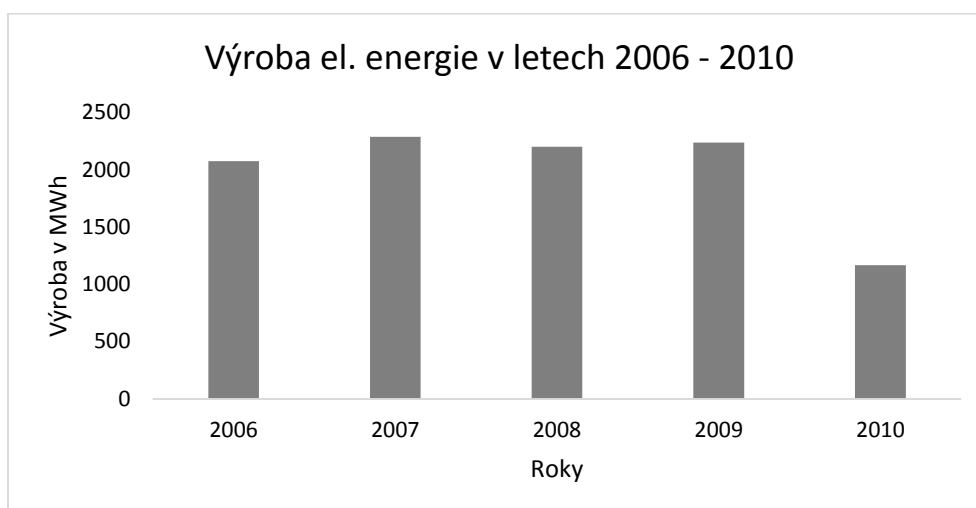
Součástí malé vodní elektrárny jsou dvě horizontální dvojčité Francisovy turbíny, které byly poprvé uvedeny do provozu v roce 1908. Tyto turbíny mají dvě oběžná kola s hltností od 3 m³/s, do 8 m³/s. Průměry oběžných kol obou turbín jsou 1050 mm s 16 lopatkami na každé turbíně, průměr hřídele činí 246 mm a délka 5970 mm. Obě turbíny mají otáčky 130 ot/min. Renovace turbín v roce 1992 byla zahájena firmou WKA Brno a dokončena byla firmou Dragon Praha. Díky této modernizaci turbín mělo dojít také ke zvýšení parametrů hltnosti a tím i výkonu. V provozním řádu vodohospodářského díla Želina je udán jmenovitý výkon na svorkách generátoru 305 kW. Avšak nedosahování jmenovitého výkonu ani u jedné z turbín bylo důvodem pro posouzení možných příčin, kterým bude věnována samostatná kapitola. Generátory, které jsou dnes v provozu (viz obr. 24), byly nově instalovány v dubnu roku 2014. Jsou charakteristické nižšími otáčkami, díky kterým došlo ke snížení hlučnosti a chvění objektu elektrárny. Vyrobeny byly v českém dceřiném závodě společnosti Siemens. Jedná se o osmi pólové asynchronní motory s kotvou nakrátko s výkonem 315 kW, jmenovité otáčky motoru jsou 741 min⁻¹.



Obrázek 24 - Generátor (vlastní zpracování, 2016)

Ze získaných dat z let 2006 až 2010 byla zjištěna výroba MVE Želina, která činila 9 973 MW. V grafu 1 je znázorněna výroba v jednotlivých letech.

Graf 1 - Výroba el. energie v letech 2006 až 2010



Zdroj: vlastní šetření

7.5 Ekonomické hodnocení

Výše výroby elektrické energie (v jednotkách MW) za jednotlivé roky byla zjištěna v MVE Želina z provozních materiálů elektrárny. Ke zpracování byla poskytnuta pouze omezená data, a to od roku 2006 do roku 2010 (viz tab. 1)

Tabulka 1 - Výroba el. energie v období 2006 - 2010

rok	výrobená el. energie (MW)	tržby v tis. (Kč)
2006	2 076	3 446
2007	2 289	3 868
2008	2 202	3 810
2009	2 238	4 006
2010	1 168	2 137

Zdroj: vlastní šetření, vlastní výpočet (2)

Tabulka 2 - Výkupní ceny dle ERU

Rok	2006	2007	2008	2009	2010
Cena (Kč)	1 660	1 690	1 730	1 790	1 830

Zdroj: ceny ERU

$$T = V \cdot C \text{ [Kč]} \quad (2)$$

Kde:

T [tis. Kč] ... tržby za daný rok

V [MWh] ... vyrobená el. energie za daný rok

C [Kč/MWh] ... cena (ceny jsou určeny z www.ERU.cz)

7.5.1 Provozní náklady

Pod pojmem provozní náklady v malé vodní elektrárně si můžeme představit náklady, které přímo souvisí s chodem elektrárny, je to například spotřeba pohonných hmot, spotřeba provozních hmot (olej, plyn), opravy a údržby, komunální služby, osobní náklady apod. V tab. 3 jsou detailně vyobrazeny provozní náklady za rok 2010.

Tabulka 3 - Provozní náklady za rok 2010

Typ provozního nákladu	cena v tis. (Kč)
Spotřeba provozních hmot	8
Spotřeba pohonných hmot	6
Spotřeba DHM	17
Opravy a údržby	680
Komunální služby	165
Dopravní služby	20
Likvidace odpadu	22
Daň z nemovitosti	21
Odpisy DHM	1 100
Osobní náklady	1 277
Spotřeba ostatního materiálu	15
Náklady celkem	3 331

Zdroj: (Vlastní šetření na základě konzultace s provozovatelem, 2016)

7.5.2 Výsledky hospodaření

Výkony (vyrobená el. energie) oceněné příslušnými tržními cenami nebo vnitropodnikovými cenami se nazývají výnosy. Tržba je jedním z druhů výnosů z prodeje za vlastní výkony a zboží. Zjednodušeně řečeno lze říct, že výsledek hospodaření malé vodní elektrárny odpovídá rozdílu mezi výnosy a náklady. (Rosochatecká, 2009) Z tab. 4 lze vyčíst výsledky hospodaření v MVE Želina za jednotlivé sledované roky.

Tabulka 4 - Výsledky hospodaření v období od 2006 - 2010

rok	tržby v tis. (Kč)	náklady v tis. (Kč)	V _h v tis. (Kč)
2006	3 446	3 325	+121
2007	3 868	3 120	+748
2008	3 810	3 218	+592
2009	4 006	3 133	+873
2010	2 137	3 331	-1 194

Zdroj: vlastní výpočet (3)

$$V_h = N - T \text{ [tis. Kč]} \quad (3)$$

Kde:

V_h [tis. Kč] ... výsledek hospodaření

N [tis. Kč] ... náklady

T [tis. Kč] ... tržby

7.5.3 Rentabilita tržeb

Jde o ukazatele rentability, čili výnosnosti, která ukazuje poměr zisku k tržbě. Rentabilita tržeb (anglicky Return on Sales, zkratka ROS) je ukazatel, který označuje, kolik korun čistého zisku připadá na jednu korunu tržeb. Je to schopnost dosahovat výnosu (zisku) na základě vložených prostředků. Ukazatel výnosnosti hospodaření se vypočte jako poměr výnosu (zisku) k vynaloženým prostředkům (investice a náklady). Podobně jako ostatní ukazatele rentability nám pomáhá určit zisk. Vyjadřuje se obvykle v procentech. Pohybuje se zhruba od 2 % do 50 %, měl by být nad 10 %. Rentabilita tedy v našem případě ukazuje procentuální podíl výsledku hospodaření na tržbách za prodej elektřiny

Tabulka 5 - Rentabilita tržeb v období od 2006 - 2010

rok	hrubý zisk v tis. (Kč)	tržby v tis. (Kč)	rentabilita (%)
2006	+121	3 446	3,5
2007	+748	3 868	19,3
2008	+592	3 810	15,5
2009	+873	4 006	21,7
2010	-1 194	2 137	-55,8

Zdroj: vlastní výpočet (4)

$$\text{ROS} = \frac{H_z}{T} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

Kde:

ROS [%] ... Rentabilita tržeb

H_z [tis. Kč] ... Hrubý zisk

T [tis. Kč] ... Tržby

Z propočtů ze vzorce 4 zanesených v tab. 5 vyplývá, že 1 Kč tržeb vyprodukovala v roce 2006 0,035 Kč zisku. V dalším roce jde o zvýšení na 0,19 Kč a v roce následujícím došlo ke snížení rentability na hodnotu 0,15 Kč. V roce 2010 klesla rentabilita tržeb do záporných hodnot na -0,55 Kč. Při podrobnějším zkoumání bylo zjištěno, že v tomto roce došlo k výměně převodovek. Z toho vyplývá celkové zvýšení nákladů, tedy snížení hrubého zisku.

7.5.4 Rentabilita nákladů

Rentabilita nákladů nám vyjadřuje, kolik korun nákladů musíme ve firmě vynaložit, abychom dosáhli jednu korunu zisku. Cílem každého podnikatele je dosažení zisku při co největší efektivnosti (účinnosti vložené investice), kdy se snaží, aby rentabilita zisku byla co nejvyšší.

Tabulka 6 - Rentabilita nákladů v období od 2006 – 2010

rok	hrubý zisk v tis. (Kč)	náklady v tis. (Kč)	rentabilita (%)
2006	+121	3 325	3,6
2007	+748	3 120	23,9
2008	+592	3 218	18,3
2009	+873	3 133	27,9
2010	-1 194	3 331	-35,9

Zdroj: vlastní výpočet (5)

$$ROC = \frac{N}{H_z} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

Kde:

ROC [%] ... Rentabilita nákladů

N [tis. Kč] ... Náklady

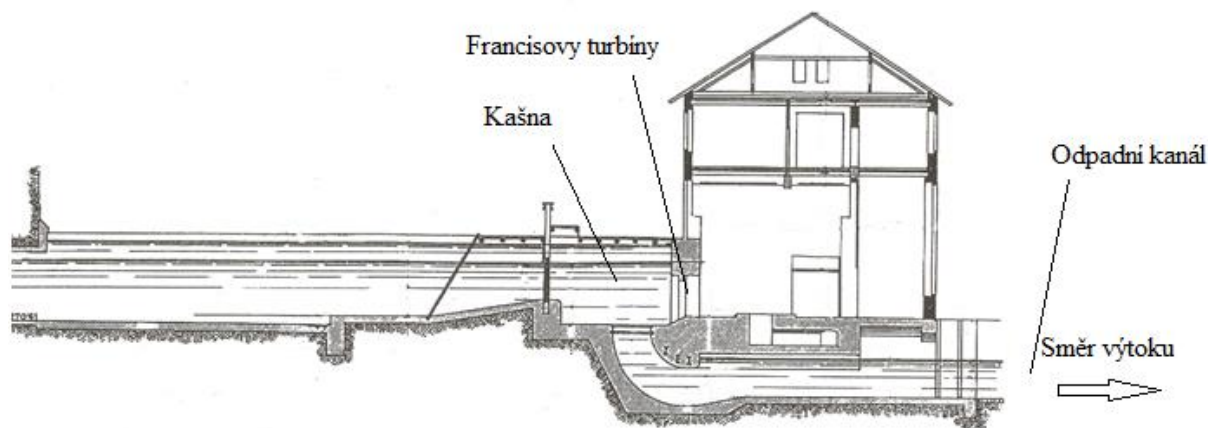
H_z [tis. Kč] ... Hrubý zisk

Výdělečnost elektrárny, zvláště malé vodní elektrárny, záleží na mnoha faktorech, jako jsou výběr lokality, investiční náklady, parametry, pořizovací hodnota vybrané turbíny, případné rekonstrukce, opravy, odstávky, období provozu apod. Každá elektrárna vychází ze svých konkrétních podmínek, a výdělečnost jednotlivých provozů se tak může velmi lišit. Při stavbě elektrárny je nutné mít vždy na mysli její celoroční využití, plná funkčnost, a že svým provozem nebude poškozovat životní prostředí. Z propočtu ze vzorce 5 za rok 2006 zanesených v tab. 6 vyplývá, že na 1 Kč vynaložených nákladů připadá 3,6 % zisku. Nejlépe k naší časové řadě vychází rok 2010, kdy na 1 Kč vynaložených nákladů připadá -35,9 Kč. Důvod obratu ziskovosti byl uveden v kapitole 7.10

7.6 Posouzení příčin nedosahování jmenovitého výkonu

Prohlídkou na místě je na první pohled patrné výrazné vzduť hladiny na výtoku z MVE při porovnání s hladinou řeky v místě zaústění odpadního kanálu. Toto vzduť je způsobeno nedodržením navrhovaného projektu, který počítal se sklonem kanálu 1 ‰ směrem od MVE. U profilu kanálu nejsou dodrženy průtočné profily a to zejména v oblasti před zaústěním

do řeky (dno se zvedá a koryto se zužuje). Tyto odlišnosti od projektu se negativně odrážejí na velikosti využitelného spádu. Pro určení hrubého spádu to znamená rozdíl mezi hladinou před turbínami a hladinou za turbínami. Tyto výšky byly změřeny na vodoměrných latích umístěných v kašně a v odpadním kanálu (viz obr. 25) a následně přepočteny na vzájemně porovnatelnou nadmořskou výšku.



Obrázek 25 - Podélný řez malou vodní elektrárnou

Výška hladiny vody na vodoměrné lati v kašně odpovídá 274,05 m n. m.

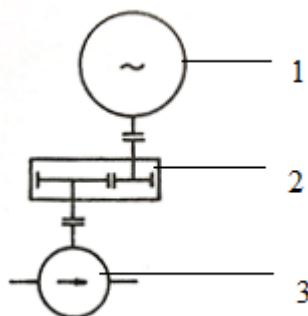
Výška hladiny vody na vodoměrné lati v odpadním kanálu odpovídá 267,90 m n. m.

V provozním řádu je uvedená kóta vody v koruně jalového přelivu v kašně 273,90 mn. m. V současné době jsou osazeny na hodnotu 274 mn. m. Tato úprava umožňuje provoz se zvýšeným spádem, který ale také přináší zvýšené riziko případného vylití vody do okolí v případě výpadku elektrárny z plného výkonu.

V odpadním kanále je minimální hladina stanovena provozním řádem na hodnotu 268,5 m n. m.

Z pravidelných dlouhodobých měření, která probíhají od roku 1998, bylo zjištěno, že při hrubém spádu, který činil 5,50 m, bylo dle obsluhy MVE dosaženo maximálního výkonu, ale při provozu pouze jedné z turbín. U TG 1 výkon činil 245 kW a při samostatném provozu TG 2 255 kW. Při provozu obou turbín bylo při hrubém spádu 5,22 m dosaženo celkového výkonu 470 kW (TG 1 – 230 kW, TG 2 – 240 kW). Navíc těchto hodnot spádů bylo dosaženo v období bez vlivu vzduť hladiny ve vodním díle Nechranice a malých průtoků vody v řece. V případě, že se hladina vody ve vodním díle Nechranice zvýší a jsou tím pádem i vyšší průtoky vody v řece, nelze těchto spádů ani dosáhnout.

Vzhledem k podezření na vysoké ztráty, ke kterým by mohlo docházet na převodovce (viz obr. 26), která přenáší výkon z hřídele turbíny na hřídel generátoru, byly parametry, katalogové parametry převodovek zaměstnanci MVE porovnány se skutečností. Tím bylo ověřeno, že převodovka, která pracuje v tamních podmínkách, odpovídá katalogovým hodnotám. Účinnost převodovky činí 96%.



Obrázek 26 - Varianta uspořádání soustrojí (Bednář, 2013)

1) generátor, 2) převodovka, 3) turbína

Výkon turbín, který je nedostačující z důvodu nedodržení projektového plánu lze zvýšit dvojitým způsobem:

- 1) Zvýšením zpracovávaného užitečného spádu, kterého se dosáhne udržováním maximální úrovně hladiny v kašně. Dále pak snížením vzdutí hladiny v odpadním kanálu, díky úpravě dna kanálu a jeho rozšíření v oblasti před zaústěním do řeky.
- 2) Zvýšením průtočného množství vody a to díky pravidelné kontrole nátokových podmínek a funkci rozvaděče, díky kterému je možno regulovat přiváděné množství vody na turbíny a tedy i jejich výkon.

Dodržení daných úprav by mělo zvýšit výkon elektrárny za rok o cca 10 %. V roce 2006 by tedy celková výroba elektrické energie stoupla na odhadovaných 2 283 MW.

7.7 Úspora na emisích CO₂

Mezi hlavní priority ochrany životního prostředí podle Evropské unie patří snížení emisí CO₂, ke kterému se zavázala i v roce 2008 Česká republika. Naše republika přislíbila snížení emisí oxidu uhličitého o 20 % do roku 2020.

S rapidním snížením emisí počítá i skupina ČEZ, která oproti roku 2005 ve svém akčním plánu předpokládá až ztrojnásobení výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů do roku 2020. Cíle opatření akčního plánu ČEZ rozdělil do 4 základních oblastí s tím, že jako hlavní opatření uvedl právě rozvoj obnovitelných zdrojů energie.

Dalším plánem firmy je zvýšit účinnost velkých i malých vodních elektráren, a to do roku 2022.

Proto se další část práce bude zabývat možností úspory emisí malé vodní elektrárny Želina. Pro výpočet úspor emisí oxidu uhličitého, které lze dosáhnout sníženou spotřebou paliva nebo jeho změnou, můžeme použít data z příložené tabulky 7.

Tabulka 7 - Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého

Druh paliva	Emisní faktor
Hnědé uhlí	0,36 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Černé uhlí	0,33 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Těžký topný olej	0,27 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Lehký topný olej	0,26 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Zemní plyn	0,20 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Biomasa	0 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Elektřina	1,17 t CO ₂ /MWh elektřiny

Zdroj: (Doležel, 2006)

V roce 2010 MVE Želina vyrobila 1 168 MWh elektrické energie. Pro výpočet úspor emisí CO₂ musíme roční výrobu vynásobit emisním faktorem 1,17 z tabulky 7.

$$U_{CO_2} = V \cdot E_{CO_2} = 1\,168 \cdot 1,17 = 1\,366,56 \text{ tCO}_2 \quad (6)$$

Kde:

U_{CO_2} [tCO₂] ... roční úspora CO₂

V [MWh] ... roční výroba el. energie

E_{CO_2} [-] ... emisní faktor

Z výpočtu ze vzorce 6 je patrné, že provoz MVE Želina za rok 2010 uspořila emise v celkové výši 1 366,45 tun CO₂.

Společně se spotřebou emisí můžeme uvažovat o spotřebě fosilních paliv a o možné ušetřené spotřebě uhlí díky úspornému provozu MVE Želina.

Skupina ČEZ uvádí, že výrobní blok o výkonu 200 MW spotřebuje za 24 hodin svého provozu 4 000 tun uhlí.

$$\begin{aligned} \text{Přepočet spotřeby na 1 hod} &= \frac{\text{spotřeba uhlí za 24 hod.}}{t} = \frac{4000}{24} = 166,6 \text{ tun/h} = \quad (7) \\ &= 166\,600 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Kde:

t [hod] ... čas

Z výpočtu ze vzorce 7 je jasné, že za 1 hod. jeden výrobní blok spotřebuje 166 600 kg uhlí.

Dalším výpočtem zjistíme podíl (p) Kg a MWh:

$$p = \frac{Kg}{MWh} = \frac{166\,600}{200\,000} = 0,833 \text{ kg na 1 kWh} = 833 \text{ kg na 1 MWh} \quad (8)$$

Kde:

p [Kg/kWh] ... podíl výroby vodní elektrárny a tepelné elektrárny

Z tohoto výsledku je patrné, že na výrobu 1 MWh vodní elektrárnou je v tepelné elektrárně zapotřebí 833 kg uhlí.

MVE Želina vyrobila za rok 2010 1 168 MWh. V dalším výpočtu se dozvíme, kolik tun uhlí ušetří MVE Želina za rok.

$$U_t = V_r \cdot p = 1\,168 \cdot 833 = 1\,747\,634 \text{ kg uhlí/rok} = 1\,747,634 \text{ t uhlí/rok.} \quad (9)$$

Kde:

U_t [t] ... ušetřené množství tun uhlí

V_r [MWh] ... roční výroba vodní elektrárnou

p [Kg/MWh] ... podíl výroby vodní el. a tepelné el.

Z výpočtu lze konstatovat, že provoz MVE Želina za rok 2010 ušetřil cca 1 748 t uhlí.

Závěr

Tlak na výrobu ekologicky čisté energie z obnovitelných zdrojů je dnes celosvětově velmi citelný problém, a to i v České republice, která se zavázala, že do roku 2020 bude podíl vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů činit 13 % z celkové výroby elektrické energie. Výhodou České republiky je její tradice a zkušenost s využíváním malých vodních toků pro výrobu elektrické energie, ale také nabídka kvalitních a technicky vyspělých zařízení pro výstavbu malých vodních elektráren od tuzemských výrobců. Proto je v ČR podpora rozvoje výstavby, ale zejména rekonstrukce starých vodních elektráren velmi značná. Podpora spočívá v minimální odkupované ceně stanovené každoročně Energetickým regulačním úřadem a také v garanci odkupu takto ekologicky vyrobené energie. Dalším způsobem podpory je možnost získání investičních dotací na výstavbu nebo rekonstrukci. Díky této možnosti se zvýšil zájem o rozvoj a obnovu malých vodních elektráren u nás.

V technicko - ekonomickém zhodnocení bylo zjištěno, že malá vodní elektrárna Želina dosahuje každoročně kladného výsledku hospodaření, kromě období, kdy byla elektrárna z technických důvodů odstavena. Z výpočtu úspor emisí je patrné, že roční provoz malé vodní elektrárny Želina ušetří 1 366,45 tCO₂ a 1 748 t uhlí, což odpovídá zhruba dvěma soupravám se 48 vagony uhlí. Na základě uvedeného lze konstatovat, že Želina je smysluplným příspěvkem Skupiny ČEZ k ekologizaci výroby elektrické energie a ukázkou jejího kladného vztahu k obnovitelným zdrojům. V následujících letech se plánuje na elektrárně množství úprav, které by měly přinést ještě efektivnější výrobu, jedná se například o výměnu generátorů nebo novou elektroinstalaci. Z těchto faktů je možné vyvodit, že s malou vodní elektrárnou Želina skupina ČEZ a.s. počítá i v následujících letech.

Seznam použitých zdrojů

Maršík, František, 2011. *Bezlopatková odvalovací turbína - vynález vědců z Akademie věd - Akademie věd ČR* [online]. Ústav termomechaniky AV ČR, 2011 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.avcr.cz/sd/novinky/hlavni-stranka/110816-bezlopatkova-odvalovaci-turbina.html>

Bednář, Josef, 1989. *Malé vodní elektrárny 2.* Praha : Nakladatelství technické literatury.

Bednář, Josef, 2013. *Turbíny [malé vodní elektrárny].* Českovice : Marcela Bednářová, c2013. ISBN 9788090543706.

Blechová, Beáta, Janoušová, Jana. 2010 *Podvojný účetnictví v příkladech 2010, 10.vyd.* Praha : Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-3208-4

Cojeco: Encyklopedie, 2000 [Online]. [Citace: 22. Březen 2016]. Dostupné z: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=43115&s_lang=2.

ČEZ, a.s. Projekt vývoje vícestupňové turbíny [Online]. [Citace: 20. Březen 2016.]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/veda-a-vyzkum/aktuality-z-vyzkumu-a-vyvoje-cez/11.html>.

Dušíčka, Petr, a další, 2003. *Malé vodní elektrárny.* Bratislava : Jaga, 2003. ISBN 80–901985–0–3.

Gabriel, Pavel, Kalandra, Petr a Čihák, František 1998 *Malé vodní elektrárny. Vyd. 1.* Praha : České vysoké učení technické. ISBN 8001018121.

Hájek, Gustav, 1951. *Vodní motory.* Praha : Práce ROH.

Hydroservis union s. r. o. [Online] [Citace: 22. Březen 2016]. Dostupné z: <http://www.h-union.cz/c-16-francisova-turbina.html>.

Kukla, Jan, 2012. *Malé vodní elektrárny na řece Mži.* Plzeň : Česká republika.

Machát, Pavel, 2008. *Vodní turbíny a jejich využití.* Brno.

Melichar, Jan, 2000. *Malé vodní turbíny.* Vyd. 2. přeprac. Praha : České vysoké učení technické. ISBN 8001021645

Melichar, Jan, Bláha, Jaroslav a Vojtek, Jan, 1998 *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz.* Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické.

Pažout, František. 1990. *Malé vodní elektrárny 1 Ekonomika - předpisy.* Praha : Nakladatelství technické literatury.

Polák, Martin. *Bezlopatková miniturbína: cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů.* 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05233-4.

Rosochatecká, Eva a kol. 2009 *Ekonomika podniků.* 9. vyd. Praha : ČZU Provozně ekonomická fakulta, 2009. ISBN978-80-213-1892-2

Růčková, Petra. 2007 *Finanční analýza: metody, ukazatele, využití v praxi.* 1. vyd. Praha : Grada, 2007. Finanční řízení. ISBN 9788024713861.

Štoll, Čestmír, Kratochvíl, Stanislav a Holata, Miroslav. 1977. *Využití vodní energie.* Praha : Nakladatelství technické literatury.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Korečkové kolo.....	2
Obrázek 2 - a) Segnerovo kolo, b) Eulerův stroj.....	3
Obrázek 3 - Rozdělení turbín dle průtoku vody oběžným kolem.....	6
Obrázek 4 - Koncepční řešení MVE.....	7
Obrázek 5 - dvoudýzová horizontální Peltonova turbína.....	9
Obrázek 6 - Bánkiho turbína.....	10
Obrázek 7 - Francisova turbína.....	11
Obrázek 8 - Kaplanova turbína.....	11
Obrázek 9 - Oblasti použití turbín pro malé vodní elektrárny.....	14
Obrázek 10 - Přehradová MVE.....	17
Obrázek 11 - Jezová MVE.....	17
Obrázek 12 - Derivační MVE.....	18
Obrázek 13 - Skupina kanálových MVE na společné derivaci.....	18
Obrázek 14 - Dělení MVE dle spádu.....	19
Obrázek 15 - Jezová elektrárna umístěná do zářezu v břehu.....	20
Obrázek 16 - Derivační elektrárna.....	20
Obrázek 17 - Uspořádání turbín ve spodní stavbě.....	22
Obrázek 18 - Typy horních staveb u MVE.....	23
Obrázek 19 - Umístění MVE Želina na řece Ohře.....	25
Obrázek 20 - Situace MVE Želina.....	27

Obrázek 21 - Jez MVE Želina	27
Obrázek 22 - Přítokový kanál	28
Obrázek 23 - Hrubé česle a stavidla	28
Obrázek 24 - Generátor	29
Obrázek 25 - Podélný řez malou vodní elektrárnou	30
Obrázek 26 - Varianta uspořádání soustrojí	31

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výroba el. energie v období 2006 - 2010.....	30
Tabulka 2 - Výkupní ceny dle ERU	30
Tabulka 3 - Provozní náklady za rok 2010.....	31
Tabulka 4 - Výsledky hospodaření v období od 2006 - 2010.....	32
Tabulka 5 - Rentabilita tržeb v období od 2006 - 2010.....	33
Tabulka 6 - Rentabilita nákladů v období od 2006 – 2010.....	34
Tabulka 7 - Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého	37