

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh malé vodní elektrárny

**vedoucí práce: Ing. Viktor Majer
autor: Jiří Fabšic**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří FABŠIC**
Osobní číslo: **E09B0119P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh malé vodní elektrárny**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište typy vodních motorů pro malé vodní elektrárny.
2. Zmapujte současný stav trhu se zařízením pro malé vodní elektrárny.
3. Uveďte právní předpisy a normy týkající se MVE .
4. Pro vybranou lokalitu navrhněte vhodné řešení využití jejího energetického potenciálu a návrh zhodnoťte z hlediska energetického a ekonomického .
5. Diskutujte vliv MVE na životní prostředí.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pracích podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Viktor Majer
Katedra elektrotechniky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

Doc. Ing. Jiří Hromádka, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vladimír Štehl, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce se zabývá komplexním návrhem malé vodní elektrárny v lokalitě Malá Chmelná nedaleko Sušice. Práce si dává mimo jiné za cíl shrnutí informací o běžně dostupných i méně používaných vodních motorech, poskytne náhled do právních předpisů a norem souvisejících s malými vodními elektrárnami. Součástí práce je také zmapování trhu se zařízeními vodních elektráren, v závěru práce se diskutuje vliv MVE na životní prostředí.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, vodní motory, Kaplanova turbína, Francisova turbína, spád, průtok, čára překročení průtoků, česká technická norma, legislativa, doba návratnosti, životní prostředí.

Abstract

The present thesis deals with the complex design of a small hydroelectric power plant site Malá Chmelná near Susice. This study gives, among other things, a summary of information about commonly available and less used water engines provide insight into the laws and standards related to small hydroelectric power stations. The thesis also includes mapping the market with equipment for hydropower plants. In conclusion of the thesis, there is discussed an impact of small hydroelectric power plans on the environment.

Key words

Small hydroelectric power plants, water motors, Kaplan turbine, Francis turbine, momentum, flow, flow line crossing, Czech technical standards, legislation, payback period, the environment.

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 6.6.2012

Jiří Fabšic

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Viktoru Majerovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 TYPY VODNÍCH MOTORŮ PRO MVE	13
1.1 PRINCIPY PŘEMĚNY VODNÍ ENERGIE NA MECHANICKOU PRÁCI	13
1.2 VODNÍ KOLA PRO MVE	13
1.2.1 Kola na spodní vodu	14
1.2.2 Kola se středním nátokem	15
1.2.3 Kola s vrchním nátokem	16
1.3 VODNÍ TURBÍNY PRO MVE	17
1.3.1 Hlediska dělení vodních turbín	17
1.3.2 Typy vodních turbín	18
1.3.3 Netradiční vodní motory	25
2 SOUČASNÝ STAV TRHU SE ZAŘÍZENÍM PRO MVE	27
2.1 SPOLEČNOSTI PŮSOBÍCÍ NA ÚZEMÍ ČR	27
2.2 ZÁVĚREM K VÝROBCŮM ZAŘÍZENÍ PRO MVE	30
3 PRÁVNÍ PŘEDPISY A NORMY TÝKAJÍCÍ SE MVE	31
3.1 PRÁVNÍ PŘEDPISY A METODICKÉ POKYNY	31
3.2 ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ZABÝVAJÍCÍ SE MVE	33
3.2.1 Všeobecné informace a podklady pro návrh MVE	33
3.2.2 Dispoziční uspořádání vodního díla a ochrana proti nežádoucím vlivům	35
3.2.3 Zapojení a provoz MVE zohledňující vlastní spotřebu	35
3.2.4 Objekty a zařízení MVE	36
3.2.5 Hlavní technologická zařízení	37
4 VLIV PROVOZU MVE NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	39
4.1 POZITIVNÍ VLIVY MVE NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	39
4.2 NEGATIVNÍ VLIVY MVE A JEJICH ELIMINACE	40
5 ENERGETICKÉ A TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MVE PRO LOKALITU MALÁ CHMELNÁ	44
5.1 STŘEDNÍ ŠUMAVA Z HLEDISKA HYDROENERGETICKÉHO POTENCIÁLU	44
5.2 LOKALITA MALÁ CHMELNÁ	44
5.3 NÁVRH REKONSTRUKCE MVE V PŮVODNÍ LOKACI (VARIANTA A)	45
5.3.1 Navržení průtoku MVE	45
5.3.2 Spádové poměry	46
5.3.3 Instalovaný výkon	46
5.3.4 Výkupní ceny MVE	47
5.3.5 Výpočet hrubých příjmů z MVE	48
5.3.6 Přivaděč	48
5.4 NOVÉ NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ MVE (VARIANTA B)	50
5.4.1 Spádové poměry	50
5.4.2 Instalovaný výkon	51
5.4.3 Návrh přivaděče	51
5.4.4 Návrh odpadního kanálu	51
5.4.5 Návrh zařízení strojovny	53
5.4.6 Důležité technologie zajišťující provoz MVE	53

6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ (VARIANTY B) NÁVRHU MVE.....	54
6.1	ČISTÉ INVESTIČNÍ VÝDAJE.....	54
6.2	PODMÍNKY ÚVĚRU A JEHO VÝPOČET.....	55
6.3	ODPISY MVE.....	56
6.4	VÝPOČET DANĚ Z PŘÍJMU.....	57
6.5	PROSTÁ DOBA NÁVRATNOSTI.....	57
	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	62
	PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Vodní potenciál a jeho využívání se řadí mezi dobře dostupné, čisté, ale především obnovitelné zdroje energie. Využívání vody v přírodě není pouze novodobým trendem, ale je nejdéle technicky využívanou formou energie. Voda je nositelem chemické, tepelné a mechanické energie. Mechanická energie vyjadřuje míru schopnosti tělesa konat mechanickou práci. V přírodě se můžeme setkat s mechanickou energií vodních srážek, mechanickou energií ledovců, energií moří a nejvíce využívanou energií vodních toků.[1][2]

Velké vodní elektrárny, např. díla vltavských kaskád (Slapy, Orlick, Lipno) byly v minulosti zbudovány v potencionálně významných lokalitách a nyní se širší odborná veřejnost zajímá o místa s nižší energetickou výnosností. Ve 30. letech 20. století, za dob bývalého Československa, bylo v provozu téměř 15 000 míst s vodními motory. Možnosti výstavby především MVE jsou předurčeny geografickou polohou státu a faktem, že většina řek zde pramení.[1] Předkládaná práce má za cíl poukázat na význam zbudování nových a rekonstrukci malých bývalých vodních děl, které se vyskytovaly na území České republiky.

Práce poskytne úvod do vodních motorů – tedy vodních kol, turbín a speciálních vodních strojů. Poukáže na stav trhu se zařízeními pro MVE, poskytne údaje o legislativě ohledně zbudování a provozu MVE. Dále je v práci diskutován vliv MVE na životní prostředí a následně i eliminace nežádoucích aspektů spojených s jejím provozem. Praktickou částí bakalářské práce je návrh na realizaci rekonstrukce původní MVE v konkrétní lokalitě, na dnes nevyužívaném náhonu. Jelikož je v dnešní době řešení výstavby vzdouvacího zařízení na přírodních řečištích legislativně těžko uskutečnitelné a finančně nákladné, je vhodné se při hledání lokalit pro stavbu MVE zaměřit na místa, která již pro tento účel byla v minulosti využívána, a nebo využít přirozeného spádu řeky pomocí některých z technicky dostupných řešení. V práci jsou uvedeny dvě varianty návrhu MVE, které jsou popisovány z hlediska energetického, technického, ale i ekonomického.

Seznam symbolů a zkratk

a [Kč]	Anuitní splátka úvěru
B [m]	Šířka kanálu
$\check{C}IP$ [Kč]	Čisté investiční peněžní příjmy
$\check{C}IV$ [Kč]	Čisté investiční peněžní výdaje
$\check{C}SN$	Česká technická norma
d [m]	Průměr oběžného kola turbíny
ERU	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
H [m]	Čistý spád
H_k [m]	Výška přívodního (odpadního) kanálu
M [m]	Mohutnost (šířka)
MVE	Malá vodní elektrárna
MZP	Minimální zůstatkový průtok
nn	Nízké napětí
OZ	Obnovitelné zdroje
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P [Kč]	Příjmy
PDN	Prostá doba návratnosti
P_s [kW]	Výkon soustrojí
Q [m ³ s ⁻¹]	Průtok
Q_{\max} [m ³ s ⁻¹]	Maximální průtok
Q_{Md} [m ³ s ⁻¹]	Průtok v závislosti na čáře překročení denních průtoků
Q_N [m ³ s ⁻¹]	N-letý průtok
TKP	Přímoproudá Kaplanova turbína
TNV	Technická norma
V [Kč]	Výdaje
VE	Vodní elektrárna
vn	Vysoké napětí
$ZDFO$ [Kč]	Základ daně z příjmu fyzické osoby

η_c [-]	Účinnost celého soustrojí MVE
η_g [-]	Účinnost generátoru (alternátoru)
η_{TR} [-]	Účinnost transformátoru
η_T [-]	Účinnost vodní turbíny
η_P [-]	Účinnost převodu

1 Typy vodních motorů pro MVE

Každý typ vodního motoru má své specifické vlastnosti, rozsahy použitelnosti, výhody a nevýhody, které jej charakterizují. Správná volba vodního motoru s přihlédnutím k jeho technickým vlastnostem je důležitá. Do kategorie vodních motorů používaných pro účely přeměny energie v MVE se řadí vodní kola, turbíny a ostatní netradiční vodní motory.

1.1 Principy přeměny vodní energie na mechanickou práci

Vodní motor chápeme jako prostředek pro přeměnu energie vody, která je jejím nositelem, na mechanickou práci a následně (platí pro MVE) jako přeměnu a transformaci mechanické energie na elektrickou. Existuje mnoho typů vodních motorů, které jsou přizpůsobeny podmínkám toků v závislosti na nejlepší využití protékajícího vodního zdroje.[1]

Prvním způsobem je přímé využívání potenciální (polohové) energie vody na konkrétním spádu. Tato přeměna je uplatněna v principu funkce některých vodních kol (např. Sagebienova i Zuppingerova), dále se užívá pro roztáčení netradičních vodních motorů (např. Archimédův šroub). Míra potenciální energie je závislá na situování vodního díla. Voda se nechá proudit přívodem z místa, kde je soustředěna vyšší hladina, do míst s nižší výškou. Tlak vytvořený rozdílem těchto dvou potenciálů koná ve vodním motoru práci.[2][3]

Druhý způsob, tedy přeměna potenciální energie na kinetickou (rychlostní) a posléze na mechanickou energii, umožňuje efektivní využívání všech druhů turbín, např. Ponceletova kola, belíku, stříkového hřebenače atd. Kinetická energie je zastoupena ve vodních tocích rychlostí proudění média. Rychlost je závislá na spádu toku. Tento druh energie lze využít v rovnotlakých strojích. Obvodová rychlost těchto strojů musí být nižší než rychlost proudění vody. Za předpokladu nesplnění této podmínky by lopatky rovnotlakého motoru pouze ustupovaly před proudem vody a nebyla by možná přeměna kinetické energie na mechanickou práci.[2][3]

1.2 Vodní kola pro MVE

Předchůdce turbín, jako velmi efektivního vodního motoru využívající energii vodních toků, byly vodní kola. Používala se pro menší spády a nízké průtoky na místech, kde se během roku vyskytovalo kolísání toků.[4] Vodní kola jsou pomaloběžné vodní motory využívající (až na výjimky) polohovou energii vody.[2]

První zmínky o vodních kolech pochází z roku 718. V tomto roce byla údajně poprvé využita vodní energie. Koncem 14. století měla většina velkých měst v průměru až sedm vodních mlýnů. V 18. století jich bylo po celé Evropě v provozu více než 500 000. Vodní kola byla používána pro pohon mlýnů, pil, hamrů, hospodářských zařízení a později i pro výrobu elektrické energie. S nástupem turbín byla vodní kola zatracována, někdy až nesmyslně vyměňována za vodní turbíny (dále jen turbíny) avšak ne vždy to vedlo ke prospěchu. Dělo se tak v době, kdy vodní kola byla zlepšována a nejednalo se již o vodní kola prověřená pouze praxí, neboť při návrhu se již uvažovalo se zákony hydrodynamiky. Vývoj a poznatky o použitelnosti různých druhů vodních kol byl ukončen na přelomu 19. a 20. století.[1]

Vodní kola v zásadě dle principu přeměny energie dělíme na lopatková a korečková. Lopatkový princip se vyznačuje tím, že na rovné lopatky stroje působí výhradně kinetická energie. Konstrukce lopatkových kol předurčuje nasazení (ve většině případů) na spodní vodu. U korečkových kol se využívá především potenciální energie vody, kinetické energie je použito pouze u nátoku do korečků kol. Korečkový systém je určen pro střední nebo vrchní nátoky. Tato kola mohou být řazena dle otáčení buď po směru proudu nátokové vody nebo ve směru opačném.[2]

1.2.1 Kola na spodní vodu

Stříkový hřebenáč je vodní kolo s nejjednodušší konstrukcí, pracuje od nulového spádu jen za předpokladu rychle proudící vody. Jedná se o technicky nedokonalý stroj. Stříkový hřebenáč má rovné lopatky připevněné k jednomu nebo více věncům. Využívá se kinetické energie vody puštěné pod mírně přizvednutým stavidlem (případně žlabem). Přeměňuje pouze kinetickou energii vody, tvar lopatek a konstrukce umožňuje kolu pracovat s účinností pouhých 20 až 30 %. Používá se na nejnižší spády do 1 m.[6] Kolo je citlivé na vzestup spodní hladiny.[2][6]

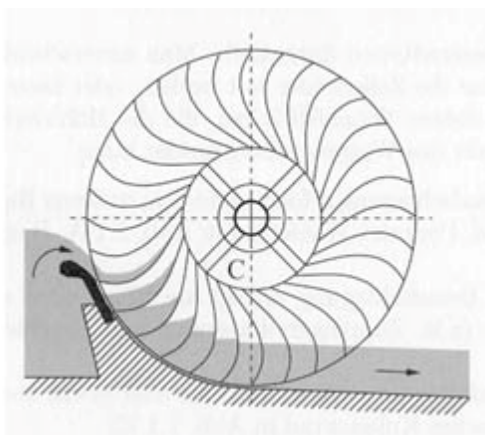
Ponceletovo kolo pracuje na stejném principu jako hřebenáč. Oproti hřebenáči má upravený nátok úklonem stavidla proti proudu. Tvar lopatek je přizpůsoben vtoku a odtok vody z kola, lopatky již nejsou rovné. Kolo lze instalovat na nízké spády, maximálně do 1,7 až 2 m. Ideálními průtoky pro kolo v návaznosti na jeho funkčnost a rozměry jsou $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a více. Díky vylepšení oproti stříkovému hřebenáči dosahuje 30-65% účinnosti.[6] Výhodou je přetížitelnost kola. Není náchylné na nečistoty obsažené v přítoku (listí, bahno, větve).[4]

Nízkospádové Zuppingerovo kolo je jedním ze třech druhů kol Zuppingerova principu. Je charakterizováno spodním nátokem a je určeno pro malé spády (tradičně do 1,5 m). Voda je přiváděna žlabem s určitým spádem. Soustředěním spádu je dodáváána

médiu potřebná rychlost. Po nátoku na vhodně tvarované lopatky voda nejprve předá svou rychlostní energii, potenciální energie se pak využívá po celou dobu cesty vody v kontaktu s lopatkami. Účinnost kola je poměrně vysoká, pohybuje se v rozmezí 70-75 %.[6]

1.2.2 Kola se středním nátokem

Zuppingerovo kolo s přepadem je podobné předchozímu s tím rozdílem, že voda do kola natéká ze střední polohy. Konstrukce se liší zakřivením lopatek a způsobem natékání vody. Voda vedená přívodem natéká na lopatky pomocí přepadu přes regulační stavidlo. Jak je vidět z *Obr. 1.1*, přepad pomáhá rychleji plnit komůrky lopatek vodního motoru. Přepadem získáváme potřebnou kinetickou energii, dále pracuje již potenciální energie po delší dobu oběhu kola než u nízkospádového Zuppingerova kola. Kolo se doporučuje stavět na nižší spády od 1 do 3 m a zároveň pro střední a větší průtoky. Je jedním z nejčastěji navrhovaných kol v našich hydrometeorologických podmínkách.[6]



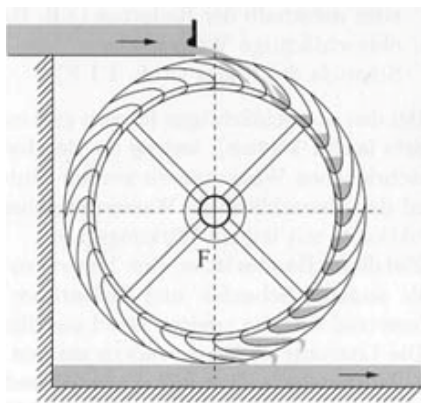
Obr. 1.1 Zuppingerovo kolo s přepadem[6]

Nevýhodou může být fakt, že při zablokování rotace vodní stroj znemožní průtok vody; nutným řešením je vybudování obloukového žlabu pro případné přepuštění vody mimo kolo. Listí, bahno, písek a hrubší nečistoty provozu nijak nebrání. Robustní provedení kola dovoluje velikou přetížitelnost. Účinnost dle provedení činí 70-75 %.[4]

Bachovo kolo (Zuppingerovo kolo s kulisou) je principiálně srovnatelné se Zuppingerovým kolem výše zmíněným, avšak nátok je řešen skrze kulisu, která usměrňuje dopad paprsku vody pod požadovaným úhlem na lopatku. Pro dané spády a průtoky, pokud není výhodné nasazení nízkospádového Zuppingerova kola ani některého z kol s horním nátokem, volíme Bachovo kolo. Kolo se vyznačuje taktéž vyšší hltností než ostatní v dříve zmíněné vodní stroje. Tímto vodním motorem se lze přiblížit k účinnostem až 85 %.[2][6]

1.2.3 Kola s vrchním nátokem

Korečník s normálním chodem se z hlediska efektivity přeměny energie vyrovná malým a jednodušším typům turbín. Při bezchybném návrhu a dobré realizaci je jeho účinnost až 86 %. Voda je přiváděna žlabem ke kolu, protéká kulísou nebo přepadá přes přepad a postupně zaplňuje komůrky korečníku vodou. Voda tak koná práci díky své tíze po téměř



Obr. 1.2 Korečník s normálním chodem[6]

polovinu otočky celého kola. Médium je z vodního motoru postupně vyléváno v blízkosti spodní hladiny odtoku (odpadu). S přihlédnutím na malou hltnost tohoto stroje je použitelnost omezena pouze pro menší toky, resp. potoky. Kola jsou většinou dimenzována na spády vyšší (více jak 2,5 m) a průtoky (z praxe) pouze do $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Nevýhodou je náchylnost na kontakt se spodní hladinou, proto se spodní část kola se navrhuje několik centimetrů nad spodní (odpadní) hladinou. Při brodění (kontaktu kola se spodní hladinou) účinnost kola znatelně klesá. Horní hranice maximálního výkonu, kterou lze vyrábět u tohoto typu motoru, se považuje 50 kW.[6]

Korečník s obráceným chodem je vodní stroj využívající stejného principu přeměny energie jako korečník s normálním chodem. Je vhodný na malé průtoky. Voda tekoucí příivodem je na konci žlabu usměrněna kulísou a natéká do korečků kola v obráceném směru. Opačný chod kola má za následek snížení účinnosti oproti výše uvedenému korečníku o 5-10 %. Při vzestupu spodní hladiny dokáže kolo stále spolehlivě pracovat; kolo se tedy točí ve směru odtoku odpadního kanálu.[6]

Každá konkrétní lokalita si žádá své technické řešení. Proto existuje mnohem více modifikací kol, které se snaží zvyšovat účinnosti, snižovat náklady výstavby a zlepšovat provozní vlastnosti. Další, avšak méně používané druhy kol, jsou např.[2]:

- Belík,
- Sagebienovo kolo,
- Korečník s vnitřním nátokem.

1.3 Vodní turbíny pro MVE

Turbína je základním prvkem a stěžejní částí moderní MVE, turbína je v dnešní době nejvýznamnějším hydrodynamickým strojem. Při návrhu a volbě typu turbíny musíme přihlídnout ke specifičnosti místa kde hodláme uvést daný stroj do provozu. Návrh si žádá výběr správného typu turbíny, rozměrů a výkonu. Důležitými parametry návrhu oběžného kola jsou jmenovité hodnoty průtoku turbínou, měrná energie (užitného spádu) turbíny a její otáčky.[1] Pracovním prvkem každé turbíny je oběžné kolo, kde fakticky dochází k přeměně kinetické popř. i části tlakové energie na mechanickou práci.[7] Optimální řešení geometrie oběžných kol vodních turbín vychází z požadavku na minimalizaci ztrát při průtoku vodní masy.[1][7]

1.3.1 Hlediska dělení vodních turbín

Dle způsobu přenosu energie vody dělíme tyto motory na přetlakové, rovnotlaké a mezní. „U přetlakových turbín je část měrné energie v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu přeměněna v kinetickou měrnou energii a zbývající část tlakové měrné energie se mění v měrnou energii kinetickou při průchodu vody oběžným kolem. Označení vyplývá z toho, že se průtok oběžným kolem uskutečňuje působením přetlaku na vstupu do oběžného kola.[7]“ Můžeme se také setkat s označením turbíny jako reakční, neboť uvnitř oběžného kola dochází k reakčnímu působení na oběžné lopatky; urychlování proudu vody. „Jestliže se celá hodnota tlakové měrné energie mění v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu v kinetickou měrnou energii, potom je na vstupu i výstupu oběžného kola stejný tlak. Jde tedy o turbínu rovnotlakou.[7]“ Pro rovnotlaké turbíny se v praxi ustálilo označení „akční“, i když to není úplně správné označení, neboť výsledný účinek média dopadající na lopatky rovnotlakého stroje je dán součtem akčního účinku přímého působení spolu s reakčním účinkem, který je způsoben geometrií ohybu proudu dle tvaru lopatky. Na pomezí přetlakového a rovnotlakého principu pracují turbíny mezní. Jde o rovnotlakou turbínu, kdy průtočný řez kanálu je po celé délce zaplněn médiem a v žádné části oběžného kola nedochází k odtrhávání proudu.[7]

Turbíny se dají dělit také podle průtoku oběžným kolem tedy orientací proudění média vzhledem k ose kola vodního motoru. Z popisu jednotlivých průtoků je patrné, jakým způsobem dochází k protékání média vzhledem k ose motoru. Dělení vodních motorů dle průtoku je následující[7]:

- a) centrifugální turbína - vtok do turbíny je vnitřní, voda protéká oběžným kolem směrem od hřídele (turbína Fourneyronova),

- b) centripetální turbína - vtok do turbíny je vnější, voda se v turbíně směřuje k ose (historické řešení Francisovy turbíny),
- c) axiální turbína - voda protéká skrz oběžné kolo rovnoběžně a ve stejné vzdálenosti od osy (turbína Kaplanova),
- d) radiálně axiální turbína - zprvu proudí voda směrem k ose oběžného kola radiálně, po přiblížení se mění směr na axiální (moderní Francisova turbína),
- e) diagonální turbína - médium protéká oběžným kolem šikmo pod úhlem, směřuje k ose motoru (turbína Dériazova),
- f) turbína se šikmým průtokem - vstup vodní masy je z boční strany na lopatky, vystupuje podél osového směru pod mírným úhlem (turbína TURGO),
- g) tangenciální turbína - voda dopadá na lopatky a protéká turbínou po trajektorii tangenciální křivky (turbína Peltonova),
- h) turbína s dvojitým průtokem - voda vstupuje centripetálně a naopak vystupuje centrifugálně.

Turbíny lze také rozlišovat podle polohy hřídele na horizontální (např. turbíny přímoproudé), vertikální (většina typů turbín) a šikmé (převážně menší přímoproudé turbíny).[7]

Rozdělení MVE dle instalovaných výkonů vodních motorů je důležité pro správné navržení turbíny na daném místě i pro legislativu týkající se konkrétního vodního díla. Jiné předpisy jsou pro menší vodní elektrárny oproti těm s vyššími výkony. Dělení dle výkonů vodních elektráren (motorů) je následující[7]:

- Velké - s parametry výkonu $P > 100$ MW
- Střední - kdy P je v rozmezí 10-100 MW
- Malé – jsou chápány do výkonu 10 MW

V rámci EU se můžeme setkat s tím, že malé vodní elektrárny mohou být chápány pouze do výkonu 5 MW (jedná se o instalovaný výkon soustrojí pro MVE). Dále pak může být ještě 4. kategorie, která vymezí drobné vodní motory o výkonu nepřesahujícím 60 kW. Následné třídění malých vodních elektráren dle instalovaného výkonu je uvedeno v *kap. 3.2.1.*

1.3.2 Typy vodních turbín

První vodní turbíny vznikaly díky snaze o zdokonalování vodních strojů, které by měly lepší vlastnosti než do té doby používaná a rozšířená vodní kola. Hlavními cíli bylo zvýšit

otáčky vodních strojů, zvýšit rozsah využitelnosti spádů a také účinnosti vodních sestav. K dosažení těchto cílů bylo nutné využití jak kinetické tak i potenciální energie vodní masy.

Francisova turbína

Francisova turbína je vylepšenou variantou vodního motoru, který v prvopočátku vyvinul v roce 1826 Benoit Fourneyron. Již v roce 1848 byla vylepšena a pojmenována tradičně po jejím vývojáři, Jamesi B. Francisovi. Turbína zaznamenala zlepšení výkonu z původních 80 na 90 % v nejpříhodnějších podmínkách a stala se tak nejvýkonnějším vodním strojem té doby. Při vývoji turbíny používal Francis analytických a výpočetních metod, které tvoří základní teorii vodních turbín dodnes. Moderní Francisovy turbíny lze využít jako reverzní, můžou tedy zastoupit funkci čerpadel a jsou vhodné zejména pro přečerpávací elektrárny.[8]

Francisova vertikální přetlaková vodní turbína byla jedním z nejpoužívanějších vodních motorů v minulosti. Turbína je umístěna na dně turbínové kašny, která je naplněná vodou. Její hřídel je umístěna svisle do strojovny. Z kašny (prostor pro vodu, která má turbínou protéci) se voda přepouští na plně regulované rozváděcí lopatky. Průtokem získává vodní masa rychlost a směr a tím dochází k předání energie motoru. Díky snadné údržbě se turbíny instalují nad spodní hladinou, voda je odváděna do odpadního kanálu sací rourou (dále jen savkou). Turbína se obecně používá (používala) pro nižší spády od 1,5 m (s násoskovou kašnou již od 0,5 m) do 5 m a pro průtoky střední až velké (lze použít v rozmezí od 0,6 do 8 m³s⁻¹). Oproti horizontální turbíně (viz níže) má vertikální turbína o 1-2 % větší účinnost díky přímé savce pro odvod vody z těla stroje. Podporou sacího efektu využívá turbína celý spád H. Většina strojů tohoto typu má oběžné kolo rychloběžné (až do $n_s = 400$ ot./min).[8]

Francisova horizontální turbína je charakterizována průtokem centripetálním (stejně jako u vertikální), voda do turbíny vstupuje ze strany a je vytékána středem. U obou řešení Francisovy turbíny (horizontální i vertikální) platí, že přívod byl zajištěn derivačním kanálem, otevřeným přívodem nebo tlakovým potrubím. Horizontální turbína pracuje na stejném principu jako vertikální, ovšem osa stroje je vodorovně se zemí; je dostatečně nad spodní vodou, aby nedocházelo k zaplavení stroje. Jelikož je turbína umístěná v prostoru kašny vysoko nad spodní hladinou, je nutné savku přizpůsobit. Pro horizontální uspořádání je typické osazení kolenovou savkou. Turbína se uplatní pro spády v rozmezí 2 až 8 m a průtoky od 0,1 do 2 m³s⁻¹. Horizontálním uspořádáním odpadá problém se složitým převodováním (soustrojí s vertikálním osazením oběžného kola ztratí až 2 % výkonu kvůli převodům), hřídel vodního stroje vstupuje přímo do strojovny a mnohdy si při technickém řešení vystačí pouze

s jedním řemenovým převodem. Turbína je z hlediska rychlosti otáčení oběžného kola normáloběžná, pouze větší turbíny na malé spády mohou být rychloběžné (nabízí se zde možnost přímého spojení s elektrickým generátorem).[2][7][8]

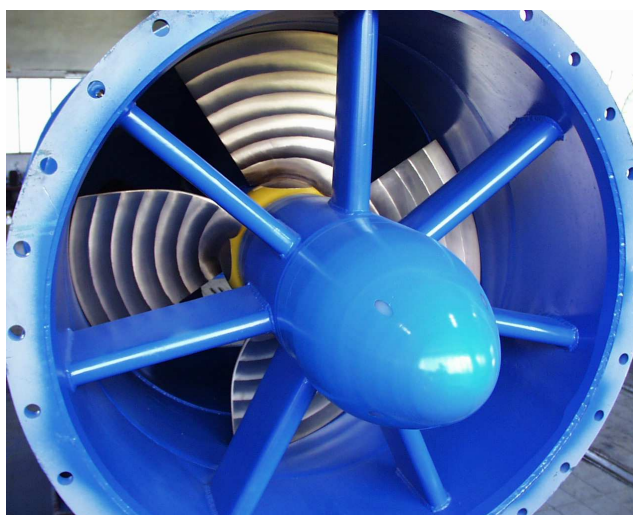
Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je další ze skupiny přetlakových turbín. Je pojmenována po rakouském inženýrovi a profesoru brněnské technické univerzity Viktoru Kaplanovi.[5] Tato turbína a všechny možné varianty odvozené z ní jsou charakterizovány axiálním průtokem oběžným kolem. Přesto, že lze dosahovat velikých jednotkových průtoků a vysokých otáček, vychází rozměry této turbíny mnohokrát menší než např. u turbíny Francisovy.[7] Kaplanova turbína je technicky dokonalý vodní motor, je hojně využívána u průtokových MVE s nízkým spádem.[4] Dosahuje tak vysokých účinností zejména kvůli možnosti složité, avšak dokonalé, technologii nastavování jak oběžných, tak i rozváděcích lopatek. Lze tedy regulovat rozváděč i lopatky oběžného kola a tím i zvyšovat účinnost celého zařízení např., při kolísání jmenovitých průtoků.[1][7]

Tělo turbíny obsahuje na svém obvodu nízký počet málo zakřivených oběžných lopatek. Turbína je ve vodním díle umístěna ve spodní části strojovny a přes přírubu spojena s přechodovým kusem, kterým je řešen přítok média. Voda dále putuje skrze difuzér stroje, který se směrem k rotační části turbíny kuželovitě zužuje.[2] Tím se médium urychlí a následně míjí centrační mříž. Dále vstupuje na rozváděcí lopatky. Lopatky zajišťují úpravu směru a rychlosti před vstupem do oběžného kola. Voda je soustředěna při průtoku do nejužšího průřezu celé její instalace s cílem dosažení maximální rychlosti. Na konci zúžení je umístěno oběžné kolo. Při návrhu počtu lopatek oběžného kola se přihlíží k možnosti jejich ovládnutí a navrhuje se především sudý počet, nejčastěji čtyři plně regulovatelné lopatky. Zakřivení lopatek je voleno tak, aby se mezilopátkové kanály ve směru proudění vody zužovaly. Lopatky a jejich zakřivení nutí při protékání měnit směr a rychlost vodní masy. Tím vzniká reakční síla, která roztáčí vrtulové těleso Kaplanovy vodní turbíny. Voda, která opouští oběžné kolo, má stále značnou zbytkovou energii, která je však následně využita v savce turbíny, je transformována na zápornou tlakovou energii; podporuje tím průtok vody strojem. U Kaplanovy turbíny je důležité, aby lopatky rozváděcího i oběžného kola byly seřízené; voda pak při následném vstupu do savky nemá parazitní rotaci, vstupuje rovnoběžně s hřídelem. V opačném případě ztrácí Kaplanova turbína oproti ostatním vodním strojům většinu výhod, díky nimž může pracovat s účinností až 95 % (mechanická účinnost dosahuje až 86%).[2][7]

Kaplanova turbína existuje ve více variantách provedení, kdy změnu zaznamenává především složitost a schopnost regulace rozváděcích lopatek. Výše popsané technologické řešení regulace rozváděcích lopatek platí pro Kaplanovu turbínu pojmenovanou S-Kaplan. Plně regulovatelný rozváděč spolu s regulací lopatek oběžného kola umožňuje efektivní nastavení ve velkém rozsahu. Tato regulace umožňuje až zastavení průtoku strojem, pouze pro nouzové a krajní případy se vstup turbíny osazuje havarijním uzávěrem. Možnosti široké regulace spolu přináší i nevýhody v podobě technické složitosti mechanického systému v návaznosti na prodražení investice daného zařízení. Je nutné zvážit, jestli daná lokalita pro eventuální osazení S-Kaplanovou turbínou má dostatečný energetický potenciál. Tento motor je uzpůsoben ideálně pro využití spádů v rozsahu od 1,5 do cca 5,5 m a průtoků od 0,25 do 12 m³s⁻¹. Při budování MVE s tímto druhem turbíny není třeba vynaložit mnoho prostředků na stavební část strojovny související s MVE. Nepotřebuje žádnou kašnu ani hluboké vývařiště umístěné pod savkou.[2][5]

Na místech, kde nejsou velké výkyvy průtoků a není tak třeba složitá regulace rozváděcích lopatek, připadá v úvahu turbína Semi-Kaplan zobrazená na *Obr. 1.3*. Z tohoto obrázku je vidět, že rozváděcí lopatky jsou pevné. Instalace turbíny Semi-Kaplan je vhodná na lokality průtočné, tedy bez možnosti akumulace. Pořizovací náklady turbíny jsou nižší oproti její složitější verzi S-Kaplana; odpadá zde (již výše zmíněné) složité ovládání lopatek axiálního rozváděče. Účinnost soustrojí je při optimálním průtoku stejná jako u S-kaplanovy turbíny, ovšem klesá při snížení objemu průtoků protékajících zařízením. Ačkoliv je stroj s pevným rozváděčem výrazně jednodušší, jeho výroba je stále technologicky náročná (výroba náboje oběžného kola s regul. táhly, křížovou hlavou a ovládacím servomechanismem).[2]



Obr. 1.3 Horizontální turbína typu Semi-Kaplan[26]

Dériazova turbína

Jedná se o přepracované konstrukční řešení na principu Kaplanovy turbíny z roku 1950. Od technického návrhu prof. Viktora Kaplana se tento vodní motor liší skloněním os lopatek k ose kola o 30 až 60°. Uložení lopatek oběžného kola je realizováno kónickým nábojem. Lopatky oběžného i rozváděcího kola jsou otočné. Jedná se o složitější variantu Kaplanovy turbíny, je výsledkem snahy o zlepšení jejích technicko-ekonomických parametrů.[7]

Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je specifický rovnotlaký vodní motor. Řešení technického uspořádání pochází z roku 1903. Bylo navrženo australským inženýrem A. G. M. Mitchelem, který vycházel z historického řešení Ponceltova kola. Následně, v letech 1912-1919, zpracoval prof. Bánki z Maďarska obecnou teorii tohoto stroje za pomoci experimentálních pokusů.[7]

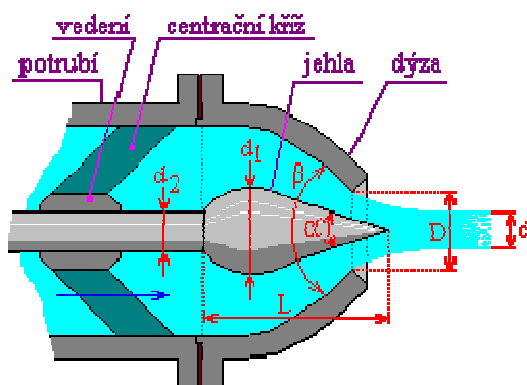
Voda je k turbíně přiváděna potrubím s kruhovým průřezem. Mezi potrubím a turbínou je vložen mezikus, který mění průřez na obdélný. Vstup vody na lopatky turbíny je regulovaný, nejčastěji se osazuje klapkou. Médium dále pokračuje podél zakřivené stěny a v této štěrbině se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstupuje do oběžného kola tangenciálně. Oběžné kolo je osazeno velkým počtem dlouhých lopatek; ty se po vstupu média snaží odklonit proud vody směrem k hřídeli. Souběh rychlosti otáčení vodního motoru s rychlostí vody způsobí nasměrování proudu mimo hřídel zavzdušněným prostorem a proteče do lopatkového věnce na druhé straně. Při prvním průtoku vody skrz lopatky předává voda turbíně asi 79 % energie výkonu. Voda je nucena podruhé změnit svůj směr a při druhém průtoku lopatkami předá zbylou energii, odpovídající 21 % z instalovaného výkonu.[8] Oba dva průtoky předpokládáme při teoretickém návrhu za rovnotlaké. Ve skutečnosti ale první průtok lze považovat za přetlakový, voda na vstupu do oběžného kola vykazuje minimální hodnotu tlakové energie.[1][7]

Turbína je široce využitelná, avšak ekonomicky nejvýhodnější je pro menší průtoky. Instaluje se při spádech od 1,5 do 20 m (ve výjimečných případech do 30 m). Průměr věnce vodního motoru závisí na spádu. Průměr se navrhuje pětkrát až desetkrát menší než je hodnota spádu (m). Turbína je citlivá na vzestup spodní vody. Stroj vykazuje dobrou účinnost v širokém rozmezí plnění (od 30 do 100 %). Oproti turbínám s dostředivým průtokem není příliš citlivá na nečistoty. Účinnost turbíny se pohybuje v rozmezí 78-84 %.[2]

Peltonova turbína (Peltonovo oběžné kolo)

Jedná se o rovnotlakou turbínu s parciálním tangenciálním ostřikem. Peltonova turbína byla vynalezena roku 1880 Lesterem Allenem Peltonem v Nevadě. Peltonova turbína sloužila jako pohon na řece Yuby k účelu těžby zlata. [2]

Přívod vody zajišťuje kruhové potrubí zakončené jednou nebo více dýzami. Na *Obr. 1.4* je vidět průřez dýzou. Celý spád vody se v dýze taktéž kruhového průřezu přetransformuje na pohybovou energii. Vodní masa proudící touto „kulisou“ vytvoří paprsek vody o průměru d . Paprsek lze korigovat pomocí regulační jehly (*Obr. 1.4*), která je součástí



Obr. 1.4 Průřez dýzou Peltonovy trysky[2]

přívodního systému vody k lopatkovému systému. Vstup vody do kola je tangenciální. Věnc je osazen lžícovitými lopatkami. Paprsek média naráží na oběžné lopatky ve tvaru korečků s dělicím břitem uprostřed. Voda je v korečku nucena měnit svůj směr a předává lopatkám svojí energii, následně volně odpadá na spodní hladinu. K rychlé regulaci při potřebě odstavení turbíny lze použít deviátor (odklon vodního paprsku) nebo deflektor (odřezávání vodního paprsku) spolu se součinností regulační jehly.[1][7]

Využívá se ve vertikálním i horizontálním uložení. Účinnost turbín u větších konstrukcí přesahuje hodnotu 90 %. Peltonova turbína je určena pro velké spády s menšími průtoky. Výjimkou nejsou ani spády přes 1 000 m, kdy výtoková rychlost z dýzy činí až 500 km/h. Při odstavování je tedy nutné použít postupného odklání nebo odřezávání vodního paprsku. Pokud by se přívod vody uzavřel náhle, silný dynamický ráz by zničil přívodní potrubí.[7][8]

Turbína Turgo

Turbína Turgo je taktéž rovnotlakou turbínou s parciálním ostřikem jako výše uvedená Peltonova turbína. Voda vstupuje do oběžného kola, tvořeného dvěma prstenci, pod úhlem 20° . Zakřivené lopatky, umístěné mezi prstenci kola, obrací směr vody a předávají energii vodnímu motoru. Souběhem rychlosti vody tekoucí po lopatce při současném otáčení kola

zapříčiní, že voda opouštějící vnější část lopatek nemá téměř žádnou rychlostní energii a volně padá do odpadu pod turbínou.[2]

Tato turbína je málo publikována, proto také není příliš rozšířena a používána. Při optimálních podmínkách dosahuje dobré účinnosti (85-90 %). Výhodou konstrukce Turgo je míra účinnosti při nižším plnění; již při plnění 20 % lze dosáhnout účinnosti přesahující 70 %. Obecně se používá pro vyšší spády a menší průtoky. Konstrukcí je podobná Peltonově turbíně, avšak je její konstrukčně jednodušší a levnější variantou.[2]

Reiffensteinova turbína

Reiffensteinova turbína se řadí mezi přetlakové vodní motory, je méně častým vodním strojem využívaným pro účely MVE. Přibližně roku 1925 byla turbína publikována jejím autorem M. Reiffensteinem.

Její technické řešení směrování vody na lopatky věnce kola spočívá ve spirální skříni. Turbína nemá žádné rozváděcí lopatky, správné vedení vody zajišťuje samotný profil spirály. Turbína se osazuje Francisovým oběžným kolem (Francis-Reiffensteinova), kolem vrtulovým (Propeler-Reiffensteinova) nebo Kaplanovým (Kaplan-Reiffensteinova). Podle druhu osazeného oběžného kola dostává turbína specifické vlastnosti. Z technicko-ekonomického hlediska je výhodné použití těchto turbín na spády od 5 do 30 m a při průtocích od 0,1 do 5 m³s⁻¹. Častěji bývá její oběžné kolo osazeno horizontálně, méně častěji se setkáme s vertikální variantou.[2]

Čelní vrtulová turbína

Čelní turbína je podobná Kaplanově, rozdíl je v jejím umístění vzhledem k protékajícímu médiu. Je konstruována jako axiální s horizontální osou, její výhody lze uplatnit při nižších spádových výškách. Jedná se o jednoduchý vodní motor; oběžné lopatky jsou ve tvaru vrtule se snadnou regulací. Využívá se pro malé výkony na tocích, kde průtoky řečištěm výrazně kolísají. Generátor bývá obvykle umístěn v hruškovitém prostoru za turbínou, v anglicky mluvících zemích se proto ustálil název „Bulb Turbine“. Celý generátor je tedy obklopen protékající vodou.[2][7]

Závěrem k vodním turbínám

Druhů „klasických“ vodních turbín je velké množství, mimo jiné existuje i mnoho variant a odnoží výše zmíněných vodních motorů. V práci jsou uvedeny pouze ty nejběžnější a nejpoužívanější, teoreticky tento výčet pokrývá technické řešení pro většinu lokalit, kde lze zbudovat MVE i VE. Dále je dobré zmínit vodní stroje, které již (až na výjimky) nejsou používány, jejich technologicko-ekonomický přínos není veliký, avšak byly důležitým

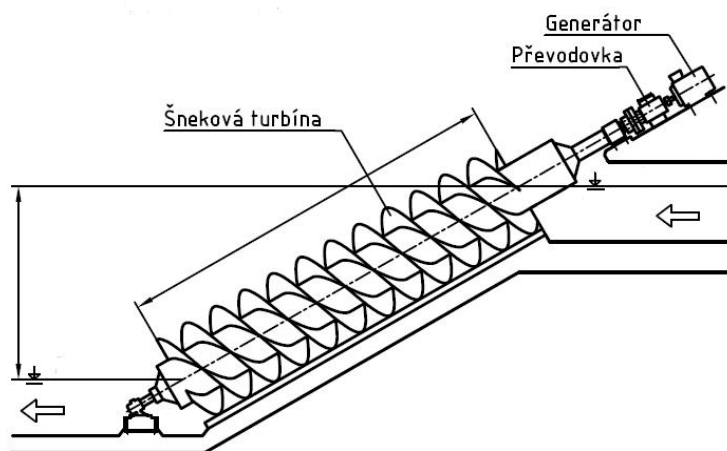
mezníkem pro celkový vývoj odvětví vodní energetiky. Jsou to například turbíny[2]: Fourneyronova, Girardova (příloha A), Hänelova, Hanschel-Jonvalova, Knopova, Segnerovo kolo, Schwamkrugova, Zuppingerova atd.[1][2][21]

1.3.3 Netradiční vodní motory

Šneková turbína

Vynález principu šnekové turbíny je přisuzovaný a často i pojmenováván po Archimédovi. Prvotně se nejednalo o vodní turbínu pro výrobu elektrické energie. Šroub jako pracovní element byl využit za účelem čerpání vody. Vodní šroub dokáže stejně dobře plnit i funkci vodní turbíny. Šneková turbína tedy funguje jako čerpadlo, v reverzním běhu pak jako vodní motor.[8]

Princip turbíny je zřejmý z *Obr. 1.5*. Voda volně přitéká k prvním závitům šroubů. Natéká do nich a svou hmotností roztáčí šnekové těleso. Voda klesá nakloněným vodním korytem, oddělená jednotlivými závity šneku. Voda je volně vypouštěna posledním závitem šneku a odtéká odpadním kanálem. Poslední závit turbíny se brodí v odpadní vodě.[2][8]



Obr. 1.5 Šneková turbína[8]

Vodní motor je robustní, jednoduché konstrukce a vykazuje stabilní výkon i při kolísání průtoku. Účinnost turbíny je v rozmezí 70-82 %, a to již při hltnosti od 15 %. Instaluje se pro nižší spády do 8 m a výkony do 150 kW. Problémem při instalaci pro větší výkony by mohlo být prohýbání hřídele a značné rozměry stroje ve srovnání s rychloběžnými vodními turbínami.[8]

Další netradiční vodní motory

Způsobů, jak přeměňovat energii vodní masy na mechanickou práci a následně na elektrickou energii, je mnoho. Mimo ty nejznámější a nejrozšířenější, pomocí vodních kol a turbín, existují i specifické. Některé systémy využívají výhradně potenciální, jiné výlučně kinetickou energii vody nebo kombinaci potenciální spolu s kinetickou. To, že nejsou masově rozšířeny, svědčí o tom, že vyžadují speciální podmínky dané lokalitou nebo pracují za jiných než obvyklých podmínek. Jmenovitě se jedná např. o systémy[2]: AUR (nerotační zařízení užívající plováku), Davisova turbína (ponorný vodní motor pracující na principu vztlaku), Savonius (dvoulopatkové těleso zcela ponořené v rychle proudícím toku), Setur (zařízení využívající „hydrodynamického paradoxu“) a mnoho dalších.

2 Současný stav trhu se zařízením pro MVE

Mezi hlavní zařízení pro MVE se řadí především všechny technologické celky, které si lze představit; jedná se o turbíny, generátory, převodovky, hydraulické pohony, čisticí stroje česlí, elektrořizení, hladinové regulace a mnoho dalšího. Toto odvětví podnikání (výroba zařízení pro MVE) je specifické v tom, že každá lokalita vhodná pro výstavbu MVE je jiná; proto se velmi citlivě musí zvážit jaké zařízení a od jakého výrobce bude instalováno. Ochota výrobců poskytovat informace úměrně roste s konkrétností zadávaného požadavku, firmy poskytují detailnější informace většinou až poté, co je vytvořena nezávazná objednávka se zadáním parametrů dané lokality.

Snahou každého projektanta je najít finanční nabídku s nejnižšími náklady na výstavbu a provoz v návaznosti na nejvyšší využití hydropotenciálu lokality. Řešení by tedy mělo být kompromisem ceny, využití potenciálu lokality a kvality. Právě kvalita nesmí být opomíjena, je dobré si pečlivě prostudovat záruční a garanční podmínky výrobce, popř. zvážit hledisko opravitelnosti jednotlivých částí MVE. Vodoprávní úřad vydává vodoprávní povolení k využívání a nakládání s vodním tokem na 30 let, předpokládá se tedy funkčnost celého systému minimálně na tuto dobu vzhledem k vysoké počáteční investici.

V následující části práce vyjmenuji několik tuzemských i mezinárodních společností, které se zabývají výrobou zařízení pro MVE. Většina z nich dodává a zajišťuje kompletní a funkční systémy pro MVE, některé z nich dělají pouze jednotlivé komponenty. Pro praxi je vždy lepší naprojektovat a propočítat si více variant, zažádat o předběžný návrh pro danou lokalitu u více firem. Dalším řešením může být kontaktování přímo praktiků (většinou soukromníků) a zjistit od nich nějaké recenze na dané firmy.

2.1 Společnosti působící na území ČR

MAVEL, a.s.

Firma Mavel patří v současné době k jednomu z největších výrobců vodních turbín v ČR. Tato společnost vyrábí, dodává a uvádí do provozu kompletní technologické celky, především tedy Kaplanovy, Francisovy, Peltonovy a Bánkyho vodní turbíny. Společnost dokáže vyrábět vodní stroje ve velikém rozsahu výkonů od mikrodrojů (2 kW) po velké vodní motory dosahující instalovaného výkonu až 20 MW. Tyto vodní motory jsou dodávány spolu s kompletním zařízením nutným pro bezobslužný provoz celé elektrárny. Zařízení jsou vybavena regulačními prvky, elektročásti s digitálním a automatickým ovládním. Tyto prvky zabezpečují téměř bezobslužný provoz celé MVE. Dále vyrábí a dodává hydraulicky ovládané

a automatické jezové klapky, hydraulické čisticí stroje česlí, vtokové uzávěry, stavidlové konstrukce atd. Zajímavé je, že firma se taktéž specializuje na Kaplanovy turbíny přímoproudého uspořádání podle koncepčního návrhu doc. Fr. Čiháka [21], turbíny jsou vyráběny v rozměrové řadě TKP 860, TKP 1050, TKP 1290 a TKP 1580 tak, aby při jejich kombinaci bylo možné maximálně využít celého možného potenciálu průtoku. (TKP je firemní označení pro Kaplanovu turbínu přímoproudou, číslo za tímto označením značí průměr (d) oběžného kola v milimetrech)

HYDROHROM, s.r.o.

„Základní sortiment se skládá z 32 modelů turbín, které pokrývají velmi široké spektrum spádů a průtoků (od 1,5 - 2 m až po 500 m, od 10 l/s po 100 000 l/s). Firma Hydrohrom se specializuje na Malé vodní elektrárny do maximálního výkonu 10 000 kW. Firma nabízí elektrárny "na klíč", projektovou dokumentaci, příslušenství k vodním zařízením - hrabací stroje, kontrolní panely, stavidla, vtoky, servisní služby, údržbu, renovaci a modernizaci starších elektráren a bezplatné poradenské a konzultační služby v oboru výstavby či rekonstrukce vodních elektráren.[26]”

Stejně jako firma Mavel, a.s., vyrábí společnost Hydrohrom co se týče vodních motorů turbíny typu Kaplan (horizontální S-turbína typu Semi-Kaplan a Kaplan, vertikální turbína typu Kaplan a Z turbína stejného principu), Francis, Pelton. Francis a Pelton je vyráběn buď ve verzi horizontální, nebo vertikální. Společnost dodává kompletní zařízení pro MVE jejichž součástí mohou být např. hrabací stroje či pohyblivé jezy.[26]

Na webových stránkách této firmy lze najít standardní vybavení rozvaděčů jimi dodávaných. Rozvaděče dodávané firmou Hydrohrom obsahují ochranu proti zkratu, nadproudovou ochranu, ochranu proti přepětí/podpětí, ochranu proti reverzní energii, ochranu proti nerovnováze fází.[20]

Z referenčního listu, který zveřejňuje firma Hydrohrom na svých webových stránkách, lze konstatovat, že se firma jeví jako solventní a dá se tedy předpokládat kvalita jejich zařízení.

CINK Hydro - Energy k. s.

Tato firma se v minulosti podílela především na výrobě příčně protékaných turbín Bánkiho typu, které byly doplněné savkou. Na základě výzkumů firma dosáhla zdokonalení tohoto vodního motoru. Cinkovy turbíny pracují přetlakově na vstupu do oběžného kola, avšak s podtlakem za oběžným kolem v savce. Turbíny Cink jsou vyráběny s šesti různými

parametry oběžného kola (250, 340, 390, 450, 600, 960 mm). Tyto turbíny jsou využitelné pro rozsah spádů $H = 1,5$ až 200 m, rozsah průtoků $Q = 0,01$ až $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Kromě turbín Bánkiho typu se zaměřuje také na Kaplanovy, Francisovy a Peltonovy vodní turbíny. Další typovou turbínou Cink Hydro-Energy k.s. je Microcross. Ta se podobá Bánkiho turbíně; vyrábí se o malých rozměrech (rozsah výkonů je 5-35 kW). Tento vodní motor je variantou Kaplanovy turbíny pro malé spády a malé průtoky. Podle výrobce se tato turbína nejlépe uplatní na rozkolísaných průtocích pro $Q = 0,03-0,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Jedná se o monoblokovou konstrukci v šířkách oběžného kola 125, 250, 375 mm.[20][27]

Firma může dodávat veškeré zařízení pro MVE. Zaměřuje se na výrobu generátorů (synchronní i asynchronní), elektrorozvaděčů, elektrotechnického zařízení až po zařízení potřebné k napojení na síť. Věnuje se také výrobě řídicích systémů s možností dálkového ovládání, čistící stroje čelistí, trubní uzávěry, stavidla či jeřáby do strojovny.[27]

Ačkoliv je sortiment poměrně veliký, společnost se zaměřuje na elektrárny do 3MW. Jistou výhodou je nabídka mikrodrojů od výkonu 5 kW.[27]

MSA, a.s.

Společnost dodává buď kompletní MVE, nebo zajišťuje dodávku jejich částí. Jedná se o části strojně-technologické, elektrozařízení spolu s měřením, regulací a částí stavební. Firma dodává čerpadlové turbíny vlastní výroby typu T-QVD, T-QVDR, T-QVDW a T-QVC. Čerpadlové turbíny typu T-QVD jsou využitelné pro spády od 6 do 120 m a pro průtok od $0,05$ do $3,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; jsou určeny na výkony od 5 kW do 2200 kW. Turbíny firmy MSA jsou hojně využívány na přivaděcích užitkové i pitné vody. Pro MVE pracující do ES; jsou využívány asynchronní generátory vyráběné především tuzemským výrobcem MEZ Drásov.[20][28]

Vodní turbíny, s.r.o.

Malá česká společnost, která vyrábí vodní turbíny (pouze s Kaplanovým oběžným kolem) na přání zákazníka. Společnost funguje na trhu již déle než 10 let a svou výrobou dokáže pružně reagovat na přání zákazníků. Firma dodává a montuje kompletní zařízení turbíny ovšem bez elektrořízení a generátorů. Společnost má osobitý přístup ke klientům, proto je jistě dobré v první fázi projektování MVE se obrátit na některé z menší subjektů. Firma Vodní turbíny, s.r.o., bezproblémově navrhuje řešení pro určité lokality.[29]

Vyrábí tedy malé vodní turbíny (do průměru oběžného kola $d = 2$ m); instalovaný výkon na jednu turbínu nepřesahuje 400 kW.

Exmont-Energo a.s.

Firma dodává, montuje a vyrábí vodní turbíny pro účely MVE. Spolu s turbínami dodává generátory, doplňkové strojní a elektrické technologie.[30]

2.2 Závěrem k výrobcům zařízení pro MVE

Ačkoliv neexistuje mnoho výrobců zabývajících se výrobou zařízení pro MVE, pokaždé lze však ale nalézt vhodné řešení druhu turbíny a ostatních technologií, které bude vhodné pro vybranou lokalitu. Každý výrobce se snaží rozvíjet a v rámci maximalizace zisků zvyšovat svou nabídku. Standardní tuzemskou nabídkou zůstávají tři nejznámější vodní turbíny. Malí výrobci vodních turbín se na tuzemském trhu zaměřují na výrobu vodních motorů pro nízké spády, protože právě většina instalací na našem území je v oblastech s možností využití pouze nízkých spádů.

Další společnosti, které se zabývají výrobou součástí pro MVE a nebylo by možné je opomenout jsou např. Siemens, Strojírny Podzimek, s.r.o., ALVA Strakonice, s.r.o., Zirmont s.r.o., a ČKD Blansko, a.s.

3 Právní předpisy a normy týkající se MVE

3.1 Právní předpisy a metodické pokyny

Pro zbudování nové či rekonstrukci bývalé vodní elektrárny je důležitá orientace v právních předpisech souvisejících s její výstavbou, provozem a rekonstrukcí. Výčet zákonů, nařízení vlády, vyhlášky a metodické pokyny zde uvedených se bezprostředně týkají MVE a úzce souvisí s Českou technickou normou ČSN 75 2601 s názvem a označením: *Malé vodní elektrárny - Základní požadavky*. Důležité právní předpisy jsou následující[9]:

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon); účelem zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovování hospodárných podmínek pro využívání těchto zdrojů. Pomocí aplikací zákona se snižují nepříznivé účinky povodní a období sucha, zajišťuje se bezpečnost vodních děl. Zákon má chránit vodní ekosystémy a k nim přiléhající suchozemské ekosystémy.[10] Důležitými paragrafy z právních předpisů výše zmíněného zákona týkající se MVE jsou [10]:

- § 8 odst. 1; podmínky, za jakých je třeba disponovat oprávněním k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami,
- § 9 odst. 1; povolení k nakládání s vodami se vydává na dobu časově omezenou,
- § 9 odst. 5; povolení k nakládání s vodami, které lze vykonávat pouze užíváním vodního díla lze vydat pouze současně se stavebním povolením k takovému vodnímu dílu ve společném řízení,
- § 9 odst. 6; povolení k nakládání s vodami pro využívání jejich energetického potenciálu nemůže být vydáno na dobu kratší než 30 let,
- § 36 odst. 1; minimální zůstatkový průtok (MZP) je průtok povrchových vod, který ještě umožní obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. MZP stanovuje vodoprávní úřad, kdy při povolení k nakládání s vodami přihlédne k § 26,
- § 52 odst. 1; vlastníci staveb a zařízení v koryt vodních toků jsou povinni odstraňovat předměty zachycené či ulpělé na těchto stavbách a zařízeních,
- § 57; pokud má prospěch z vodního díla jiný oprávněný než vlastník tohoto díla, je povinen podílet se na úhradě nákladů na údržbu tohoto vodního díla. To neplatí v případě, že osoba oprávněná k nakládání s vodami podle § 8 užívá vodu pouze za účelem využití energetického potenciálu k výrobě

elektřiny ve vodních elektrárnách do celkového instalovaného výkonu výroby 10 MW_e.

Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí); pro výstavbu malých zdrojů energie využívající OZE se tento výše uvedený právní předpis uplatňuje na vodních elektrárnách s celkovým instalovaným výkonem nad 50 MW_e a u vodních elektráren s výkonem v rozmezí od 10 MW_e do 50 MW_e. [11]

Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů); Dle § 1 odst. 2 je účelem toho zákona v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpořit využití OZE [12]. Zejména, v rámci MVE, se jedná o tyto části výše zmíněného zákona č. 180/2005 Sb. [12]:

- § 2, odst. 2d; definice zeleného bonusu,
- § 4, odst. 1; ukládá provozovateli přenosové soustavy nebo provozovatelům distribučních soustav povinnost připojení OZE do soustavy při splnění podmínek daných zákonem,
- § 4, odst. 3; výrobce elektřiny z OZ, na níž se vztahuje podpora, si může vybrat, zda nabídne svoji elektřinu k výkupu nebo zda na ni bude požadovat zelený bonus. Výběr lze změnit po jednom roce od počátku užívání podpory.

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon); zákon upravuje (§ 1) podmínky podnikání v energetických odvětvích, výkon státní správy a regulaci elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství [13].

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií; předmětem tohoto zákona je zvyšování hospodárnosti užití energie a nakládání s ní, dále zákon určuje pravidla pro tvorbu státní energetické koncepce [14].

Zákon č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů [32],

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) [15];

Zákon ČNR č. 114/1992 Sb., o ochraně krajiny a přírody;

Vyhláška Českého úřadu bezpečnosti práce a českého báňského úřadu č. 50/1982 Sb.; vyhláška dle § 1 stanovuje odborné způsobilosti (dále jen „kvalifikace“) pracovníků kteří obsluhují nebo provádějí práce na elektrických zařízeních a další činnosti související s elektrickými zařízeními dle § 1 výše zmíněné vyhlášky [16].

Vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky č. 395/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny;

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu;

Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činnosti související se správou toků;

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly;

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 195/2002 Sb., o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl;

Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, ve znění vyhlášky č. 367/2005;

Vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě;

Metodický pokyn č. 9 odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích – Věstník MŽP č. 5/1998.

3.2 Česká technická norma zabývající se MVE

Česká technická norma s označením ČSN 75 2601 s názvem: „*Malé vodní elektrárny - Základní požadavky*“ byla vydána v listopadu roku 2010. Vypracování normy vycházelo z poznatků používání předchozí normy ČSN 73 6881 s ohledem k normám, které lze uplatnit při navrhování, výstavbě a provozu MVE. Citované, související normy a právní předpisy jsou taktéž uvedené ve výše zmíněné normě.

3.2.1 Všeobecné informace a podklady pro návrh MVE

Všeobecná část normy udává nezbytné technické podklady při návrhu nové MVE. Patří mezi ně data hydrologická, geodetická, stavebně inženýrská a požadavky ochrany přírody dle platných právních předpisů. Funkce MVE je přímo závislá na stavebních úpravách, které vytváří elektrárně potřebný spád. K návrhu řešení zbudování nové MVE, která má být vystavěna jako nový objekt, případně jako objekt u samotného jezu nebo hráze, jsou nutné jisté administrativní kroky[9]:

- vypracování nového vodohospodářského plánu nádrže nebo zdrže (zpracování nového řešení) obsahující navrhovaný způsob hospodaření a manipulace s vodou,
- posouzení funkce a bezpečnostních aspektů stávajícího vodního díla,

- při úpravách vodních děl negativně neovlivňovat stavby, omezovat provozuschopnost ochranných hrází a snižovat bezpečnost vodního díla jako celku.
- zachovat přístup pro správce vodního toku k jeho korytu a dotčeným vodním dílům.

Třídění podle instalovaného výkonu MVE dle normy je uvedeno v *Tab. 3.1*. Hodnota instalovaného výkonu je dána součtem jmenovitých výkonů alternátorů všech soustrojí MVE.

Tab. 3.1 Rozdělení MVE do kategorií[9]

Kategorie MVE	Výkon MVE
I	1 až 10 MW včetně
II	100 kW až 1 MW včetně
III	Do 100 kW včetně

Pro prvotní návrh MVE jsou potřebné hydrologické údaje. Pro zpracování čáry trvání spádu a součtové čáry výrobní energie je dobré znát tyto hodnoty, které mohou být zpracovány tabelárně nebo graficky[9]:

- měrná křivka průtoků v profilu u vtoku a odpadu plánované MVE
- čára překročení denních průtoků v profilu řeky před vtokem (*Obr. 5.1*)

Údaje N-letých průtoků jsou hodnoty, které ovlivňují způsoby ochrany před účinky velkých vod. Je doporučeno tyto údaje doplnit informacemi o rozsahu záplav, zejména pokud se jedná o vodní tok s kolísáním vodních stavů. N-letý maximální průtok je dosažen nebo překročen v časovém horizontu jednou za N-let. Tento parametr se mění v závislosti neustálého pozorování a zaznamenávání hodnot vodního toku. V *Tab. 3.2* níže jsou pro názornost uvedeny N-leté průtoky zaevidované stanicí na řece Otavě v Sušici hlásným profilem č. 115, který spravuje ČHMÚ České Budějovice[31]:

Tab. 3.2 N-leté průtoky zaevidované hlásným profilem č. 155 (ČHMÚ České Budějovice)[31]

N-leté průtoky Q [m ³ s ⁻¹]	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
	101	185	225	323	369

Minimální zůstatkový průtok je takový předepsaný průtok nebo vodní stav, který je nutno zachovat v původním řečišti. Dle technické normy lze předběžně MZP stanovit pomocí čáry překročení denních průtoků, nestanoví-li jinak příslušný vodohospodářský orgán, který MZP určuje. V *Tab. 3.3* jsou uvedeny hodnoty pro orientační stanovení minimálního zůstatkového průtoku na větších tocích, hlavním parametrem pro jeho stanovení je hodnota překročení denních průtoků odpovídající průtoku Q_{355d}[9]:

Tab. 3.3 Orientační určení MZP[9]

Průtok Q_{355d}	Orientační minimální zůstatkový průtok
$0,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} < Q < 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Q_{355d}
$Q > 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \times 0,5$

Geodetické podklady jsou určovány podmínkami území, na kterém plánujeme výstavbu MVE. Jedná se o mapové podklady pozemků navrhovaných k výkupu spolu s podklady pro majetkoprávní a územní řízení.

Cílem inženýrsko-geologickým průzkumem pro účely MVE je zjišťování vlastností podloží, zejména jeho únosnost, propustnost a stabilita při budoucím provozu elektrárny.

Pro návrh MVE I. Kategorie (Tab. 3.1) se průzkum vyžaduje vždy. Průzkum může být nahrazen odborným posudkem (platí pro MVE II. kategorie), který může být detailně doplněn v průběhu výstavby. Pro návrh MVE III. kategorie není průzkum obvykle požadován.

3.2.2 Dispoziční uspořádání vodního díla a ochrana proti nežádoucím vlivům

Dispoziční uspořádání navrhované MVE je ovlivňováno typem vzdouvacího zařízení, velikostí vodního toku a ostatními podmínkami vodního toku. Konečná varianta uspořádání nově navrhovaného řešení vodní elektrárny má být ekonomicky výhodná a zároveň má dosáhnout optimálního hydroenergetického řešení. Toto řešení je soubor úvah a výpočtů pro optimální využití průtoků a tím i instalovaného výkonu. Vedení vody od vtoku po výtok se navrhuje pokud možno co nejkratší, nejlépe bez náhlých změn směrů a velikosti průtočných průřezů.

Podle kategorií MVE uvedených v Tab. 3.2 se navrhuje přiměřené zabezpečení objektu elektrárny (strojovna, rozvodna a transformátory) před účinky povodňových průtoků. Pro I. a II. Kategorii MVE se uvažuje s ochranou před povodňovým průtokem pro Q_{50-100} . U MVE III. kategorie se ochrana před povodňovým průtokem navrhuje individuálně.

3.2.3 Zapojení a provoz MVE zohledňující vlastní spotřebu

Malé vodní elektrárny se připojují do veřejných rozvodných sítí vn a nn, popřípadě je lze připojit do rozvodných systémů průmyslových závodů nebo do izolovaných místních sítí. Provozovatel MVE a, tedy i výrobce elektřiny, musí zabezpečit, aby napětí na svorkách MVE nepřekročilo hodnoty stanovené v ČSN 33 0120. Tato hodnota napětí na svorkách musí být zaručena i v případech poruchových stavů v síti nebo v MVE. Konkrétní podmínky připojení elektrárny do sítě řeší provozovatel elektrárny s příslušným správcem energetické sítě. Přesné požadavky jsou uvedeny v ČSN 75 2601.

Vlastní spotřeba vodní elektrárny má být v důsledku co nejnižší, zahrnuje spotřebiče technologické i stavební části. U elektráren s jmenovitým napětím alternátorů 400 V se vlastní

spotřeba vodního díla napájí z rozvaděče, na který jsou alternátory připojeny. Za klidu vodní elektrárny se vlastní spotřeba napájí pomocí hlavního transformátoru ve vývodu elektrárny. U malých vodních elektráren I. kategorie musíme vlastní spotřebu zajišťovat pomocí dvou transformátorů přímo z rozvodné sítě vn.

Zařízení (MVE) musí být provozováno především v souladu se souvisejícími právními předpisy (zejména vyhláškou č. 48/1982 Sb. a vyhláškou č. 50/1978 Sb.) a je doporučeno řídit se pokyny této normy. Zařízení MVE podléhá předepsaným povinným výchozím revizím, ať už se jedná o nově zbudovanou či rekonstruovanou elektrárnu. Dále se revize provádějí v předepsaných lhůtách podle ČSN 33 1500 a ČSN 33 2000-6. Prostory strojovny a místnosti s rozvodným zařízením se považují za prostory normální.

3.2.4 Objekty a zařízení MVE

Vtokový objekt má být navržen tak, aby rychlost proudění vody, např. před hrubými česlemi, byla v rozmezí 0,4 až 0,7 ms⁻¹ při maximálním možném průtoku elektrárnou. Na lávku hrubých česlí se zpravidla umísťuje elektronická zábrana proti vnikání vodních živočichů do vtokového objektu. Rychlost proudění vtoku do vodní elektrárny se volí malá, musí umožňovat rybám únik z náhonu vodního díla. V lokalitách s migrujícími organismy a úhořem říčním je vhodné a nutné v podjezí (mimo strojovnu MVE) vybudovat šikmý betonový práh o výšce minimálně 0,3 m nad úroveň dna vodního koryta. Prah umožňuje únik migrujících organismů stálým otvorem mimo strojovnu MVE do podjezí. Na tocích s výskytem ledochodu nebo větších plovoucích předmětů opatřujeme vtokový objekt vodního díla nornou stěnou, kterou dimenzujeme tak, aby zabránila vniknutí plovoucích předmětů do vtokového objektu. Vniknutí plovoucích nebo sunutých předmětů či splavenin zabraňujeme jemnými česlemi; elektrárny jimi musí být vybaveny a umísťují se zpravidla před vtokem do elektrárny (strojovny). Doporučené hodnoty světelnosti jemných česlí jsou podrobně popsány v této normě zabývající se MVE. Jemné česle musí být v každém případě staticky posouzeny, pro 100% zastavení průtoku by měly být dimenzovány všechny ručně stírané česle a česle bez čištění. Automatické čištění česlí je doporučeno u všech kategorií MVE.

Přivaděče je možné navrhovat otevřené, nebo uzavřené. Ty uzavřené mohou přivádět vodu pod tlakem nebo o volné hladině. Rozměry přivaděče se volí s ohledem na minimalizaci všech hydraulických ztrát. V závislosti na bezpečnost musí být navrženo řešení, které umožní vypouštění vody z přivaděče. Tlakové přivaděče jsou v drtivé většině konstruovány z trubních materiálů, musí být dimenzovány na největší provozní tlak vody navýšený o účinek rázu

v potrubí při uzavírání průtoku vody proudící turbínou. Jak již bylo zmíněno v *kap. 1.3.2*, nejvíce náchylné na rázovou sílu v potrubí jsou náchylné Peltonovy turbíny s tlakovým přivaděčem užívající velké spády.

Průřez náhonu (tedy otevřeného přivaděče MVE) se nejčastěji navrhuje lichoběžníkového případně (pro betonové přivaděče) obdélníkového tvaru; hlavním parametrem pro návrh náhonu je požadavek na míru vodotěsnosti. Vodotěsnosti dna i svahů náhonu se dosahuje vhodným typem těsnící zeminy, vodotěsné folie, betonovou obezdívkou apod. Před vtokem do každé z instalovaných vodních turbín by měl tvar kanálu vytvářet homogenní proudové pole, maximálně eliminovat vodní víry, tedy zabezpečit, aby voda v podélném směru měla všude stejnou rychlost proudění.

S průřezem náhonu souvisí i návrhová volba rychlosti se snahou minimalizace ztráty v náhonu. Obecně platí, že čím vyšší rychlost vody v přivaděči navrhne, tím si snížíme užitný spád určený pro turbínu ale částečně můžeme snížit průřez celého náhonu (dopravíme více vody za jednotku času). Rychlost média v přivaděči volíme i s ohledem na podloží v přírodním kanálu, můžeme rozlišit bahnité podloží, jílovité, pískové či betonové. U zemních kanálů při návrhu přivaděče je vhodnější hlubší a užší profil, v násypu naopak širší a mělký. Rychlost se pohybuje v okolí hodnot $0,7 \text{ ms}^{-1}$ podle podmínek daných konkrétní lokalitou.

Provozní, havarijní a revizní uzávěry musí plnit funkci provozního i havarijního uzavírání soustrojí. Provozní uzávěry v návaznosti na hladinovou regulaci zabezpečují automatické uzavření průtoku turbínou v případech poklesu hladiny v nadjezí pod stanovenou hodnotu. Při poklesu celkového průtoku v místě vzdouvacího objektu pod stanovenou hodnotu MZP musí být taktéž zajištěno odstavení soustrojí či celé MVE. Na vtoku před a za turbínou musí být objekt vybaven technickým zařízením, které dovolí úplné odstavení hydraulického obvodu; tyto uzávěry musí být schopné zajistit vypuštění či odčerpání vody pro případy oprav, a revizí které nelze udělat jinak.

3.2.5 Hlavní technologická zařízení

Všechny kategorie MVE (s ohledem na výkon) mají být vybaveny zařízením, které zjišťuje okamžitý stav vodní hladiny. Spád je měřen vodočty u vtoku a u výtoku MVE na nesnížených hladinách.

Při osazení více než dvou soustrojí se doporučuje navrhovat všechny stroje se stejným instalovaným výkonem. Pokud se při rekonstrukci nebo výstavbě nové MVE plánuje instalace starší turbíny, musí to mít své opodstatnění; je nutné ověřit vhodnost jejího typu a zvážit, zda

její parametry odpovídají konkrétní lokalitě. Soustrojí MVE III. kategorie (*Tab. 3.1*) nemusí být nutně vybaveno brzdami, avšak pro účely oprav a revize musí být možnost turbínu zajistit proti otáčení. Mazací ani ostatní oleje a tuky se při poruše jednotlivých technologických částí nesmí dostat do vody.

Výkon alternátorů se navrhuje dle mechanického výkonu turbíny; přihlíží se k typovým řadám jejich výrobců. Turbína se s alternátorem spojuje buď přes spojku, nebo pomocí převodů.

Součástí synchronního alternátoru je budicí soustava. Ta obsahuje automatický regulátor napětí. U synchronních alternátorů se hlídá mez podbuzení a velikost statorového, popř. i rotorového proudu. Alternátor musí být stavěn na trvalé zatížení podle otáček uvedených výrobcem turbíny a nesmí na něm docházet k trvalým deformačním změnám. Do rozvodné sítě nn a vn se připojují synchronní alternátory pomocí přesné synchronizace nebo automatického synchronizátoru.

Při použití asynchronních alternátorů je nutné jednat s příslušnými rozvodnými závody a dohodnout se na hodnotě, na kterou se bude kompenzovat odebíraný jalový magnetizační příkon. Obvykle se kompenzuje za pomoci kompenzačních statických kondenzátorů na hodnotu účinníku 0,95. Asynchronní alternátory se připojují přímo do sítě hned po tom, co stroj dosáhne otáček odpovídajících frekvenci sítě.

Závěrem k české technické normě

Česká technická norma poskytuje mnohem více technických specifikací týkajících se MVE. Je dobré se podle normy řídit, i když je nezávazná. Hlavní výhodou norem je seznam souvisejících ČSN, TNV, dále pak souvisejících právních předpisů; na jednom místě jsou odkazy na všechny potřebné informace pro projektování, zřizování, obsluhu, revize souvisejících s MVE a jejím zařízením.

4 Vliv provozu MVE na životní prostředí

Existuje mnoho úhlů pohledu, kterými lze zhodnotit MVE z hlediska dopadu na životní prostředí. Tato kapitola se pokusí zhodnotit zásadní funkce MVE v návaznosti na životním prostředí.

V první řadě je dobré poukázat na skutečnost, že v podstatě celý svět je nějakým způsobem závislý na výrobě elektrické energie. Je tedy nutné stále hledat ideální poměr všech výroben elektrické energie, aby bylo zajištěno dostatečné množství elektrické energie v rámci co nejmenšího ekonomického a ekologického dopadu na jednotlivé státy. Je jisté, že v nejbližší době nejsou země (např. EU) schopny zajistit většinou výrobu jen pomocí OZE. Podíl vodních elektráren na celkové výrobě el. energie se na našem území pohybuje pod 3 %, z toho je ale zhruba 40 % vyrobeno v elektrárnách o výkonu do 10 MW (tedy MVE), 45 % v elektrárnách o výkonu převyšujícím 10 MW a 15 % v elektrárnách přečerpávacích.[23][33]

4.1 Pozitivní vlivy MVE na životní prostředí

MVE jsou nevyčerpatelným zdrojem energie v porovnání s klasickými tepelnými či jadernými elektrárnami. Mezi globální přínosy můžeme tedy zařadit tyto aspekty[21]:

- nedochází ke znečištění ovzduší (kouř, oxidy síry, dusíku),
- nedochází ke znečištění krajiny, povrchové či podzemní vody (ve srovnání s nutnou těžbou uhlí, uranu a jejich následnou dopravou na velké vzdálenosti),
- jsou bezodpadové,
- nejsou závislé na importu surovin,
- mají malé provozní náklady a dlouhou životnost,
- pružným pokrýváním spotřeby (především přečerpávací a špičkové vodní elektrárny) zvyšují efektivitu ES,
- nedochází k rozsáhlému záboru půdy, objekty elektráren jsou vystaveny buď přímo na toku nebo v jeho těsné blízkosti.

Jedním z hlavních přínosů pro ekologii lze označit fakt, že 1 kWh vyrobená z OZE ušetří přibližně 1,4 až 1,5 kg hnědého uhlí. Vodní elektrárny v tomto smyslu dnes nahrazují přibližně 3 mil. tun hnědého uhlí.[21]

Pozitivním vlivem výstavby nových vodních děl je taktéž skutečnost, že samotné elektrárny lze projektovat na místech bývalých vodních mlýnů, pil a zchátralých již neudržovaných a nevyužívaných elektráren. Není tak třeba nějak výrazně zasahovat do krajinného rázu. Nové a staronové elektrárny jsou v dnešní době většinou budovány jako jezové; nedochází k výše zmíněnému záběru půdy a kladem je i to, že stavby nejsou megalomanského ražení. V tomto případě nedochází k odvádění vody z koryta řeky, voda se vrací přímo pod jezové těleso. Dále se rekonstruují a budují derivační vodní elektrárny, které z větší části (i kvůli ekonomickému aspektu) jsou umístěny na původních kanálech. Dále lze zaznamenat projekty, které využívají vypustná zařízení rybníků[21].

Nízkotlaká vodní díla přispívají ke stabilizaci vodní hladiny příslušného přírodního a odpadního kanálu; dochází tak k udržení vodní hladiny i při nízkých průtocích, zvýšení ochrany přilehlého území proti povodním, možnost účinné likvidace znečištění řeky (např. naplavenin pomocí jemných a hrubých česlí, do jisté míry i likvidace znečištění ropnými látkami), zmírnění nebo zastavení erozivního procesu či zlepšování kvality vody např. jejím okysličováním (jde o přepouštění části vody přes jezové těleso; tím dochází k rovnoměrnému okysličení po celé délce toku).[21]

4.2 Negativní vlivy MVE a jejich eliminace

Nejprve bych rád uvedl výčet negativních vlivů, které jsou s MVE spojovány a kterými je argumentováno proti výstavbě nových vodních děl. V následujících odstavcích budou popsány teoretická i praktická hlediska k vyvrácení těchto tezí nebo případné eliminace některých z negativních vlivů provázející MVE. Mezi negativní účinky vodních elektráren se zpravidla řadí[21]:

- změna průtokových poměrů ,
- změna režimu podzemní vody,
- znemožňování migrace ryb,
- potenciální únik mazadel do povrchových a podzemních vod,
- ohrožování vodních živočichů samotným chodem turbíny,
- zásah do změny složení vodních organismů,
- hlučnost provozu MVE,
- zábor pozemků a urbanistický zásah do rázu krajiny,
- ovlivňování břehových prostorů,
- ovlivňování rekreační plavby.

Prvním zásadním aspektem, jak pro chod MVE, tak pro ekologickou stránku věci, je zásah do průtokových poměrů původních řečišť. U jezových elektráren je tento argument zcela bezpředmětný, nedochází k ochuzování v podstatě ani části vodního toku. Nejčastěji se s tímto problémem setkáváme u derivačního schématu a jeho využívání. Za cílem získání potřebného spádu je část vody (nejčastěji od místa vzduť hladiny pomocí jezového tělesa či zdrže) odváděna do derivace, o kterou je vodní tok ochuzen. Vzhledem k menší části omývaného dna původního řečiště může dojít k nežádoucímu poklesu či vymezení drobných dnových organismů, které tvoří hlavní potravní bázi ryb. Část břehových a dnových úkrytů ryb a jejich trdlišť se tímto počínáním může dostat „na sucho“. V důsledku plytké vody může dojít k eliminaci ryb z prostorových důvodů. Ohrožen může být i potěr, který se v těchto částech řečiště může vyskytovat. Tomu však navíc hrozí v zimě vymrzání a v létě přehřívání.

Proto vodosprávní úřad musí stanovit tzv. MZP, který je nutné ponechat v původním řečišti s ohledem na reálnou přítomnost ryb, jejich druhovou rozmanitost, délku ochuzeného úseku, velikost vodního biotopu, rozkolísanost průtoků či případné silné znečišťování ochuzeného úseku. Obecné orientační schéma pro stanovování MZP je uvedeno v *kap. 3.2.1*.

U MVE není velké nebezpečí změny chodu funkce podzemních vod, avšak dochází tomu tak většinou vzduť hladiny u říčního stupně. U MVE se nepředpokládá ovlivnění změny režimu podzemních vod. Většina MVE se staví v lokalitách bez nutnosti vybudování vzduť hladiny. Pokud však je podezření, že by k tomuto negativnímu ovlivnění mohlo dojít, je zapotřebí (zejména u větších vodních děl) monitorovat tento stav již před samotnou výstavbou.[21]

Rybí přechody neboli rybovody jsou většinou nedílnou součástí určených k migraci vodních živočichů (především ryb) přes vzdouvací zařízení, hráze přehrad a rybníků nebo okolo staveb MVE. Hlavním úkolem rybovodu by mělo být umožnit vodním živočichům zdolání uměle vybudovaných stupňů na řekách a potocích se značným rozdílem hladin v jejich přirozeném prostředí. Tohoto cíle lze dosáhnout několika možnými způsoby, avšak zatím neexistuje ideální rybovod, který by umožnil bezproblémové překonání překážek všem druhům vodních organismů.[21]

V zásadě při návrhu rybovodu je třeba se zaměřit na majoritní skupiny druhů živočichů vyskytující se v daných tocích. Návrh těchto umělých přechodů pro vodní organismy se musí odvíjet od jejich schopností pro překonávání překážek. Při navrhování rybího přechodu se taktéž přihlíží k finanční stránce, která např. při výstavbě biokoridoru nemusí být malá.[21]

Jednou z možností k eliminaci omezení migrace živočichů je rybovod kaskádový. Je jedním z nejpoužívanějších, jeho stavební rozměry nejsou příliš velké a zaručí snadné

překonání i významného spádu. Funkci pro umožnění přechodu ryb plní velký počet jednotlivých nízkých stupňů oddělených přepážkami. Korytem se stupni se přepouští malé množství vody. Ryby překonávají tyto nerovnosti skákáním buď po směru toku, nebo naopak. Rybí přechod nemusí být nijak zvlášť široký, většinou postačí 25-30 cm. Dalším možným způsobem je využití meandrového principu, kdy voda je v tomto typu rybovodu nucena měnit svůj směr v mnoha zákrutech. Tento typ je pro migraci živočichů přirozenější, avšak tento typ rybího přechodu nedokáže překonávat velké rozdíly hladin a vychází ve značných délkových rozměrech. U těchto rybích přechodů je nutné zajistit trvalý přívod vody.[2]

Dosavadní praxe týkající se rybích přechodů ukazuje, že zbudování rybího přechodu automaticky neznamena, že jej ryby budou skutečně využívat. Pouhé budování přechodů tedy není komplexním řešením, které by stačovalo. Bez nutných doprovodných opatření se rybí přechody můžou stávat pouze studnicí pro investiční náklady, které zaslepí celou problematiku, avšak to bude mít velmi špatný vliv na celou populaci vodních organismů a bezdůvodné prodražování vodních děl (samozřejmě i MVE). Tímto problémem může být i fakt, že se soukromí investoři na zbudování rybího přechodu podílejí 10 % z celé jeho částky; může docházet k tendencím šetření na něm samotném. Funkčnost rybích přechodů byla především zkoumána v sousedním Německu. To by mohlo přinést inspiraci pro budování rybích přechodů také na našem území.[24]

Potenciální únik mazadel, tedy ropných látek, se v dnešní době vylučuje díky moderním konstrukcím turbín a pomocného zařízení. Je možné připustit, že u starších vodních elektráren se tyto jevy vyskytovaly. V ojedinělých případech je možné zaznamenat vodní stroje, kde jejich technologické uspořádání není v rámci unikání ropných látek do vodního toku ideální; používají se ovšem mazadla ekologicky nezávadná a přírodou odbouratelná.[21]

Proti vnikání živočichů do přívodního kanálu a následně i do turbíny se používá česlí, které zároveň plní ochrannou funkci proti naplaveninám, které by případně narušovaly chod vodní turbíny. Malí vodní živočichové, tedy především malé ryby, které proplují i jemnými česlemi, většinou projdou vodní turbínou bez jakékoliv újmy. To platí především pro Kaplanovu a Francisovu turbínu. Kromě česlí se dá zhotovit i jakási „elektronická závora“, která ryby odpuzuje od vtokové části MVE; díky malé rychlosti proudu v přívodním kanálu mohou snadno uniknout.[21]

Ve zdržích nově zbudovaných vodních děl může docházet ke změně druhového složení vodních organismů. Existence původních reofilních (proudofilních) a litofilních (vyžadujících šterkový trdlišťový substrát) druhů ryb může být ohrožena. Výstavbou MVE především na zdržích dochází k negativnímu ovlivnění potravních a reprodukčních možností

původních reofilních ryb, dochází k jejich postupnému vytlačování, resp. nahrazení méně žádoucími populacemi.[20][21]

Závěrem k MVE a životnímu prostředí

Z mého osobního pohledu je hydroenergetika čistým, dostupným a stabilním zdrojem el. energie. Oproti ostatním OZE nabízí MVE celkem dobré urbanistické začlenění do krajinného rázu (individuální případy), nedochází k velkému záboru půdy a celý koncept hospodaření a využívání vody do jisté míry pomocí těchto staveb stabilizují. Palčivým problémem mohou být rybí přechody. Některé studie doposud navrhované koncepty považují za nevyhovující vzhledem ke komplexnímu účelu, který mají plnit.

5 Energetické a technické řešení MVE pro lokalitu Malá Chmelná

5.1 Střední Šumava z hlediska hydroenergetického potenciálu

Řeka Otava je významným vodním tokem na území České republiky, délka celého toku činí 113 km. Otava vzniká soutokem dvou řek, a to Vydry a Křemelné u Čeňkovy pily (nadmořská výška 627 m). Její spád dosahuje celkové hodnoty 281 m (od pramene k ústí do Vltavy). Hlavní potenciál této řeky se skrývá na území Plzeňského kraje, kdy její celkový spád činí 207 m, což při její části protékající Plzeňským krajem (43 km) udává průměrné klesání 4,8 ‰. Plocha celého povodí Otavy včetně Vydry a Křemelné je 3788,2 km². Původně byla řeka využívána k plavbě dříví, vory ze středošumavských lesů putovaly vodním tokem až do Prahy. Již v roce 1897 bylo na Otavě využíváno vodní energie pro výrobu elektrického proudu v Anníně nedaleko Sušice, kde byly známé sklárny.[4][17]

Mezi velmi významné vodní díla v Pošumaví a oblasti Plzeňského kraje patří především vodní elektrárny Čeňkova pila, Černé jezero a Vydra. V roce 2007 došlo na elektrárně Vydra ke změně způsobu provozu z původní průtočné na špičkovou vodní elektrárnu. Nyní tedy elektrárna přepouští vodu přes Francisovy turbíny jen v době špičkového zatížení ES. Tím dochází ke značnému kolísání toku. Od Čeňkovy pily po toku směrem do Sušice je vystaveno několik elektráren. Potřebného spádu se dosahuje především pomocí koncepce derivačního řešení přívodního kanálu s pomocí jezového vzdutí hladiny. V Dlouhé Vsi na 98. říčním km je např. MVE s osazenou Francisovou turbínou a celkovým instalovaným výkonem 270 kW.[4][7][17]

5.2 Lokalita Malá Chmelná

Vesnice Malá Chmelná patří k obci Sušice s rozšířenou působností. Nachází se necelý kilometr od železničního mostu nad řekou Otavou. Právě na 89,5 říčním kilometru toku Otavy je situován Chmelenský jez; jeho výška (tedy rozdíl hladin nad a pod ním) je 0,7 m. Z pravé strany (po toku řeky těsně nad jezem) je odváděna nepatrná část průtoku řeky do dříve uměle zbudované Mlýnské strouhy, která Malou Chmelnou protéká. Při pravé straně po směru toku Mlýnského potoka se rozprostírá především zahrádkářská kolonie, po levé straně strouhy se nacházejí pozemky v soukromém vlastnictví. Na konci vesnice Malá Chmelná se nachází původní objekt vodního mlýna (později MVE), který v dnešní době není pro tyto účely využíván. Délka části mlýnského potoka od jezu k objektu bývalé elektrárny měří 410 m, odpadní kanál do místa, kde se opět vlévá do řeky, pak 701 m. Hrubý spád od nátoku

do strouhy po vyústění odpadu uvažovaného objektu bývalé elektrárny je 2,05 m. Celkový hrubý spád od místa, kde se voda odděluje a natéká do Mlýnského potoka do místa zpětného soutoku s Otavou, činí 5,5 m. Strouha je v dnešní době velmi zanesená, její břehy jsou vymleté. Vtok je zahrazen betonovým kvádrem, pod kterým protéká určité malé množství vody.[18]

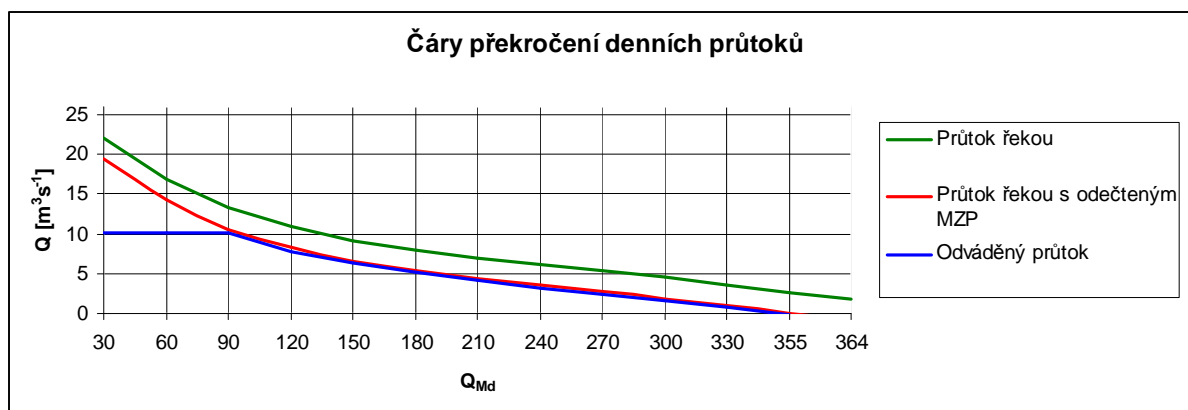
Tato lokalita je předurčená svými podmínkami pro zbudování a návrhu nového řešení MVE nebo do jisté míry rekonstrukci původního vodního díla v rámci technologického vylepšení. Původní objekt dle dochovaných informací sloužil jako vodní mlýn již v polovině 19. století. V rozmezí let 1930-1950 (nelze přesně specifikovat) bylo místo vodního kola osazeno vodní turbína. Jednalo se o Girardovu turbínu; v příloze A bakalářské práce jsou fotografie původní instalace, části turbíny jsou kompletně zachovalé, avšak je zanesená. Bohužel nynější stav vodního díla neposkytuje více technických informací o tehdejší MVE, faktem také je, že se turbína nachází na soukromém pozemku, na který jsem měl časově omezený přístup.

5.3 Návrh rekonstrukce MVE v původní lokaci (varianta A)

Návrh rekonstrukce (varianta A) předpokládá dispoziční využití bývalého vodního mlýna (vodní elektrárny) s tím, že přívod vody k MVE je plánovaný betonovým přivaděčem, odpad pak vyhloubením bývalého odpadního kanálu s jistými úpravami. Budova MVE je navržena na původním místě, tak jak bylo vodní dílo koncipováno v minulosti. Vzhledem k tomu, že z řeky do derivačního kanálu bude nutné přepustit téměř průměrnou hodnotu průtoku řeky, stavební části kanálů (přívod a odpad) budou vycházet značné.

5.3.1 Navržení průtoku MVE

Při návrhu vodních elektráren se obecně doporučuje navrhovat MVE na průtok Q_{Md} (pro M v rozmezí hodnot 90 – 120). Hodnoty průtoků řeky Otavy mi byly poskytnuty českobudějovickou pobočkou Českého hydrometeorologického ústavu. Jedná se o měrný profil LG Sušice s číslem hydrologického pořadí (ČHP) 1-08-01-064. Hodnoty naměřené v profilu LG Sušice se shodují s hodnotami profilu řeky před Chmelenským jezem; mezi měrným profilem a jezem není žádný přítok. Průměrný dlouhodobý roční průtok činí $10,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



Obr. 5.1 Čáry překročení denních průtoků[31]

V grafu (Obr. 5.1.) je vyobrazena čára překročení denních průtoků v nadjezí, čára překročení denních průtoků s odečteným MZP a hodnoty průtoků, které budou fakticky elektrárnou odebírány. Maximální návrhový průtok Q_{\max} pro MVE tedy činí $10,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Pro denní průtoky (po 30 dnech) na vodorovné ose grafu odpovídají hodnoty na svislé ose, které značí průtok korytem. Čára překročení denních průtoků nám udává, kolik dní v roce můžeme očekávat daný či vyšší průtok. Tyto hodnoty jsou zásadní pro návrh malé vodní elektrárny a určují nám množství vody, které je možné odvádět z původního řečiště.

5.3.2 Spádové poměry

Hrubý spád od vtoku pod vodní dílo je v dané lokalitě (jedná se o disp. uspořádání dle původní MVE) 2,05 m. Vyčištěním odpadního kanálu v délce 100 metrů od vodní elektrárny lze zvýšit původní spád o 0,5 m, tudíž celkový hrubý spád lokality (již bez ztrát spádu v odpadním kanálu celé délky) je 2,55 m. Od hrubého spádu je nutné odečíst 0,03 m na vstupu do náhonu, 0,05 m rozdílu před a za česlemi a konečně cca 0,05 m by činil rozdíl hladin na začátku náhonu po vtok vody do strojovny MVE[2]. Čistý spád H (m) tedy činí 2,42 m.

5.3.3 Instalovaný výkon

Výkon na hřídeli vodního motoru (potažmo celého soustrojí pokud použijeme konstantu μ_c) u navrhované MVE pro maximální průtok turbínou lze spočítat podle rov. (5.1) ve tvaru

$$P_s = 9,81 \cdot Q_{\max} \cdot H \cdot \mu_c, \quad (5.1)$$

kde P_s je výkon soustrojí (kW), Q_{\max} je průtok turbínou (m^3s^{-1}), H představuje čistý spád turbíny (m) a μ_c značí účinnost celého soustrojí MVE. Celková účinnost μ_c se dá vypočítat pomocí rovnice (5.2)[20]:

$$\mu_c = \mu_T \cdot \mu_P \cdot \mu_G \cdot \mu_{TR} \quad (5.2)$$

Symbol μ_c značí celkovou účinnost která se skládá (zleva doprava) z násobků účinnosti turbíny, převodu, generátoru (alternátoru) a výstupního transformátoru. Pro tento případ byla zvolena konstanta $\mu_c = 0,65$. Tato hodnota respektuje veškeré ztráty, které mohou vznikat při přeměně mechanické energie na elektrickou. Po dosazení do vzorce (5.3) lze vypočítat navrhovaný instalovaný výkon varianty A (hodnota po zaokrouhlení na celé kW)[20]:

$$P_s = 9,81 \cdot 10,1 \cdot 2,42 \cdot 0,65 = 156 \text{ kW}. \quad (5.3)$$

5.3.4 Výkupní ceny MVE

Pravděpodobně jednou z nejefektivnějších a nejlevnějších cest pro dosažení zvyšování podílu OZE na výrobě elektřiny jsou vodní elektrárny. Vodní elektrárny nejsou zdaleka tak dotovány jako jiné OZE, mezi které patří např. slunečné, větrné elektrárny, kotle na spalování biomasy či geotermální energie. Z energetického regulačního věstníku energetického úřadu můžeme sledovat vývoj výkupních cen, které podporují výrobce el. energie využívající OZE. Následující tabulka *Tab. 5.1* dokládá výkupní ceny elektřiny a zelených bonusů, které vydává ERU:

Tab. 5.1 Výkupní ceny (cenové rozhodnutí ERU)[22]

Rok uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/kWh	Zelené bonusy v Kč/kWh
2012	3,19	2,14
2011	3,06	2,01
2010	3,13	2,08
2008, 2009	2,88	1,83
2006, 2007	2,72	1,67
do konce r. 2005 (a rekonstruované MVE)	2,45	1,40

V případě předpokládaných variant (Varianta A, B) návrhu lze počítat s výkupní cenou pro uvedení MVE do provozu roku 2012. Jelikož je doložitelné, že vodní elektrárna nebyla více než 30 let v provozu, lze tedy pokládat i danou rekonstrukci na původním díle za nově vybudovanou elektrárnu. Pro další výpočty lze tedy použít cenu 3,19 Kč za jednu kWh. U návrhů se nepředpokládá nabídnutí elektřiny na trhu a následné využití zeleného bonusu.

5.3.5 Výpočet hrubých příjmů z MVE

Výkon soustrojí s příkonem 1 kW po dobu 1h odpovídá 1 kWh. Pro kalkulaci ceny v rámci nějakého období se hodnota výkonu soustrojí P_s násobí počtem hodin, ve kterém soustrojí pracuje s tímto výkonem. Tabulka *Tab. 5.2* znázorňuje teoretické využití dostupných průtoků (po 30 dnech), počítá teoretický výkon celého soustrojí a množství vyrobené elektrické energie (kWh). Výsledná částka (Kč) za dané období je násobkem počtu vyrobených kWh vynásobených platnou cenou (za kWh) zveřejněnou Energetickým regulačním úřadem pro výkup elektrické energie z obnovitelných zdrojů (MVE). Výkupní cena elektřiny (tarif) dodané do sítě pro elektrárny uvedené do provozu v období od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2013 je uvedena v *Tab. 5.2*. Výkony v jednotlivých obdobích průtoků řeky a hrubé příjmy z nich jsou následující:

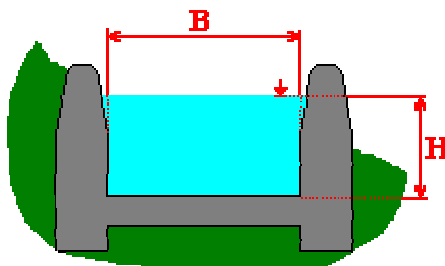
Tab. 5.2 Výkon a hrubý příjem z MVE pro daná období roku (varianta A)

N-dnů (Q_{M-Md})	Q	H	μ_c	P_s	Vyrobene kWh	Tarif	Hrubý příjem
30 (Q_{0-30d})	10,1	2,42	0,65	156	112 215	3,19	357 966
30 (Q_{30-60d})	10,1	2,42	0,65	156	112 215	3,19	357 966
30 (Q_{60-90d})	10,1	2,42	0,65	156	112 215	3,19	357 966
30 ($Q_{90-120d}$)	8,1	2,42	0,65	125	89 994	3,19	287 082
30 ($Q_{120-150d}$)	6,6	2,42	0,65	102	73 329	3,19	233 919
30 ($Q_{150-180d}$)	5,41	2,42	0,65	83	60 107	3,19	191 742
30 ($Q_{180-210d}$)	4,4	2,42	0,65	68	48 886	3,19	155 946
30 ($Q_{210-240d}$)	3,51	2,42	0,65	54	38 998	3,19	124 402
30 ($Q_{240-270d}$)	2,68	2,42	0,65	41	29 776	3,19	94 985
30 ($Q_{270-300d}$)	1,87	2,42	0,65	29	20 776	3,19	66 277
30 ($Q_{300-330d}$)	1	2,42	0,65	15	11 110	3,19	35 442
Celkový hrubý příjem za rok (Σ 330 dní) [Kč]							2 263 695

5.3.6 Přivaděč

Vzdálenost od místa vtokového objektu (začátek náhonu) k bývalé vodní elektrárně je 410 m. Znamená to, že náhon musí být zkonstruován v této vzdálenosti. V návrhu se dispozičně počítá s prohloubením již stávajícího náhonu a s rozšířením na levou stranu po směru toku vody (pro realizaci by bylo nutné vykoupení pozemků pro rozšíření náhonu).[19] Rozšiřování na druhou stranu břehu je nereálné z hlediska velkého množství zahrádek a obytných domů postavených na parcelách sousedících s tímto náhonem. Tento návrh počítá s maximálním průtokem odpovídajícím Q_{90d} který lze odečíst z grafu (*Obr. 5.1*). Přívodní kanál je navržený jako beztlakový a otevřený; při požadavku průtoků až $10,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ by varianta tlakového přivaděče (nejspíše v provedení tlakové roury) byla velmi nákladná a ekonomicky nevhodná.

V dnešní době se šířka Mlýnského potoka pohybuje v rozmezí 4-10 m, je zanesený bahnem. V návrhu se tedy počítá s náhonem obdélníkového tvaru o rozměrech $B \times H_k$, kdy B značí šířku přívodního kanálu a H_k jeho výšku přesně tak, jak je to znázorněno na *Obr. 5.2*.



Obr. 5.2 Rozměry betonového přivaděče[2]

Poměr šířky oproti výšce by měl vycházet v poměru přibližně 2:1. Návrhová šířka B je tedy 7 m, výška náhonu H_k se naprojektovala na hodnotu 2,5 m. Boční stěny budou postaveny kolmo (tedy pod úhlem 90°) oproti dnu náhonu. Touto konstrukcí přívodu vody dostaneme užitečný průřez, který odpovídá hodnotě $17,5 \text{ m}^2$. Návrhovou rychlost média v náhonu je zvolena s ohledem na jeho rozměry. V betonovém přivaděči lze použít větších rychlostí, např. oproti bahnitému nebo jílovitému podloží. V případě lokality Malá Chmelná volíme rychlost $0,6 \text{ ms}^{-1}$, čímž minimalizujeme ztráty spádu v tomto přívodním kanálu. Výše zmíněná rychlost nejlépe odpovídá zvolenému průřezu náhonu v souvislosti s maximálním množstvím vody určené k dopravě. Dle tabulky ze zdroje [2] můžeme zjistit spád udávaný v milimetrech vztažený na jeden metr délky vodního díla; hodnota při rozměrech $7 \times 2,5 \text{ m}$ a navrhované rychlosti média $0,6 \text{ ms}^{-1}$ odpovídá spádu $0,031 \text{ mm}$ vázající se na jeden metr přívodního kanálu. Při délce 410 m spád přivaděče ochudí celkový hrubý spád turbíny pouze o 1,2 cm. Můžeme tedy pro zjednodušení tvrdit, že pokles spádu na náhonu je nulový.

Mohutnost (M) postranních zdí a dna náhonu jsem navrhl 0,4 m, což je dostatečná šířka pro tento účel; beton se navíc zpevní armováním. Na každých 15 m délky případně zbudování dvou rozpěrných betonových kusů, které zabezpečí a podpoří a stabilizuje celé přívodní koryto. Po 15 metrech jsou navrženy dilatační spáry, které zabrání nepříznivým vlivům, zejména nízkým teplotám pod bodem mrazu. Cena za 1 m^3 betonu se na českém trhu pohybuje okolo 7 000 Kč (do této částky jsem již pro zjednodušení výpočtu započítal armovací materiál, výkopové práce a dilatační spáry). Tato částka je uvedena po ústní konzultaci s majitelem stavební firmy Hlavsa, s.r.o. Cena jednoho metru délky kanálu dle rov. (5.4) se spočítá jako:

$$(H_k + H_k + B) \cdot M \cdot 7\,000 \cdot l = 33\,600 \text{ Kč.} \quad (5.4)$$

Celý přivaděč (410 m) by stál 13 776 000 Kč ($l = 410 \text{ m}$).

Vzhledem ke skutečnosti, že by přívodní kanál k MVE stál téměř 14 mil. Kč (při délce 410 m), není toto řešení zcela vhodné po ekonomické stránce. Výkon soustrojí, které by bylo instalováno v budově MVE, není adekvátní vůči pořizovací ceně přívodního kanálu a celkové finanční náročnosti výstavby MVE.

5.4 Nové navrhované řešení MVE (varianta B)

Návrh nového řešení se zakládá na myšlence vybudování vodního díla, kdy umístění samotné strojovny, obsahující přímoproudé Kaplanovy vodní turbíny, bude situováno v blízkosti jezu. Strojovna bude vystavěna taktéž na Mlýnském potoce, ovšem pouhých 110 m od vtokového objektu. Důvodem pro toto řešení je skutečnost, že ve vzdálenosti 20 m od návrhu samotné strojovny je vedení vn s možností snadného připojení a dodávky elektrické energie do sítě. Sníží se také náklady na betonový otevřený náhon a zlepší se tak ekonomický aspekt celé MVE. V návrhu se taktéž uvažuje s maximálním průtokem MVE odpovídajícím Q_{90d} .

5.4.1 Spádové poměry

Celý návrh MVE vychází ze skutečnosti, že rozdíl výšky od vzdutí jezu a zpětného soutoku Mlýnského potoka s řekou Otavou činí 5,5 m (jedná se o hrubý spád). Ve vzdálenosti 110 metrů od vtokové části přivaděče směrem po toku proudu Mlýnského potoka se předpokládá umístění samotné strojovny MVE. Terén v místě předpokládané výstavby strojovny je snížen oproti hladině vzdutí na jezu o hodnotu 0,95 m. To znamená, že přivaděč (horní hrana přivaděče) dle návrhu bude v tomto místě nad terénem o tuto hodnotu vyvýšen. Ztráta spádu v betonovém přivaděči při délce 110 m vychází na 0,32 m (odečteno ze zdroje [2]). Většina potřebného spádu bude realizována pomocí vyhloubení odpadního kanálu. Uvažovaný rozdíl hladin před a za strojovnou bude 3,2 m za té podmínky, kdyby nebylo možné provést výkopové práce na odpadním kanálu do hloubky podle návrhu odpadního kanálu uvedeném níže (*kap. 5.4.4.*). Teoreticky (s ohledem na ztrátu spádu v odpadním kanálu) by bylo možné prohloubit odpadní kanál do takových rozměrů, že by se užitečný spád pro turbínu zvedl o 1,2 m. S ohledem na snadno prostupné podloží (geologická mapa okolí Malé Chmelné) je reálné získat hrubý spád 4,4 m již oproštěný o hodnoty poklesu spádu na přívodním a odpadním kanálu. Pokud tedy odečteme hodnotu poklesu hladiny při vstupu

do náhonu (0,03 m), rozdíl hladin před a za česlemi (0,05 m) od hodnoty hrubého spádu; získáváme teoretický dosažitelný čistý spád (H), který je 4,32 m.

Spád byl v dané lokalitě měřen svépomocí za použití nivelačního přístroje H-3KA ruské výroby roku 1990. Jelikož nebyl tento spád změřen certifikovanými odborníky, lze předpokládat, že hodnoty pro výpočet nemusí být zcela přesné.

5.4.2 Instalovaný výkon

Dle kapitoly 5.3.3 lze stejným způsobem u této varianty vypočítat maximální výkon soustrojí při maximálních navržených odebíraných průtocích. Jelikož bereme v potaz právě maximální průtok $Q = 10,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, čistý spád $H = 4,32 \text{ m}$ a účinnost celého soustrojí $\mu_c = 0,65$, instalovaný výkon dle rovnice (5.1) činí 278,2 kW. Hodnoty jednotlivých výkonů pro období celého roku a hrubé příjmy z vyrobené elektrické energie jsou v k dispozici v Tab. 6.1.

5.4.3 Návrh přivaděče

Návrh přivaděče je popsán v kap. 5.3.6 s tím rozdílem, že přivaděč oproti variantě A bude navržený ve vzdálenosti pouze 110 m od vtokové části. Následující Tab. 5.3 a Tab. 5.4 popisují jeho technické parametry i investiční výdaje na jeho pořízení. Délka přivaděče je navržena od vtokového objektu k plánované strojovně, rozměry jsou v poměru $B \times H_k$, rychlost proudění udává návrhovou rychlost proudění vody a poslední kolonkou tabulky je maximální možný dimenzovaný průtok přívodem. V ceně za 1 m^3 betonu pro přivaděč jsou již započítány náklady na vybagrování zeminy a její odvoz, armování betonu, dilatační spáry po 15 m jeho délky, betonové rozpěry (2 ks po 15 m) a práce na něm včetně.

Tab. 5.3 Návrhové hodnoty přivaděče

Délka [m]	Rozměry [m]	Průřez [m^2]	Rychlost proudění [ms^{-1}]	Průtok [m^3s^{-1}]
110	7×2,5	17,5	0,6 – 0,7	10,5

Tab. 5.4 Cenová kalkulace přivaděče

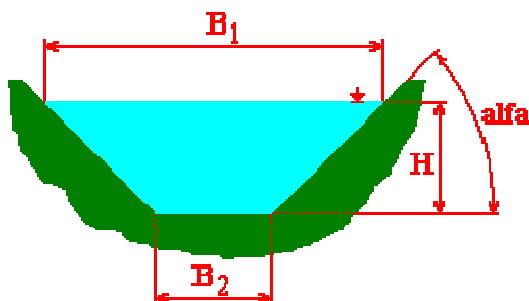
Cena za 1 m^3 betonu [Kč]	Cena za 1 m přivaděče [Kč]	Cena celého přivaděče [Kč]
7 000 Kč	33 600	3 696 000

5.4.4 Návrh odpadního kanálu

Vybudování odpadního kanálu (dále jen odpad) je závislé na geologickém mapovém podkladu (viz zdroj [25]). Vybudování nového odpadu je nutné pro realizaci celého projektu MVE. Plánovaný odpad lichoběžníkového tvaru bude mít velké rozměry v návaznosti na navrhovaný průtok MVE. Geologická mapa dokládá možnost vybagrování náhonu až k místu soutoku s řekou Otavou. Podloží v místě návrhu vedení odpadu je nezpevněné, sediment je složený z hlíny, písku a štěrku.

Vyhroubení odpadního kanálu těsně za strojovnu MVE je navrženo do 4 m, samotné vývařiště pak ještě o metr hlouběji. Při návrhové rychlosti průtoku $0,6 \text{ ms}^{-1}$ v odpadu je nutné počítat s již uvedenou ztrátou v tomto kanálu. Tuto rychlost průtoku si můžeme dovolit v písčitém podloží. Na 1 m délky odpadu je potřeba 1,09 mm spádu[2]; ten při jeho navrhované délce 1001 m vychází po zaokrouhlení 1,1 m.

Na začátku bude odpadní kanál hluboký a úzký a postupně se bude rozšiřovat a jeho výška snižovat. V místě soutoku Mlýnského potoka a Otavy bude hloubka odpadního kanálu pouhých 1,2 m. Průřez náhonu je třeba dimenzovat s ohledem na množství protékající vody a na její rychlost. Platí zásada, že nejlepší je navrhnout náhon (strouhu) takovým způsobem, že střední šířka B , která se vypočte jako průměr hodnot B_1 a B_2 , má být dvojnásobkem hodnoty H_k (výška kanálu).



Obr. 5.3 Otevřený odpadní kanál (strouha)[2]

Nejprve, (těsně za vývařištěm) bude náhon hluboký a úzký, u soutoku naopak mělký a široký. Ve středu délky náhonu budou rozměry následující: hloubka $H_k = 2,5 \text{ m}$, $B_1 = 16 \text{ m}$, $B_2 = 10 \text{ m}$. Tyto rozměry jsou dimenzovány na Q_{\max} spolu s navrhovanou rychlostí proudění média v odpadním kanálu.

Cena za jeden 1 m^3 při výkopových pracích je kalkulována na 90 Kč. Při průměrných rozměrech kanálu výše uvedených bude nutné vyhrabat objem $[\text{m}^3]$ zeminy

$$V = \frac{(B_1 + B_2)}{2} \cdot H_k \cdot l, \quad (5.5)$$

kde $l = 1001 \text{ m}$ a značí délku navrhovaného odpadního kanálu. Pokud tedy předpokládaný objem vyhrabané zeminy vynásobíme částkou 90 Kč, získáme částku (Kč) nutnou pro vybudování odpadního kanálu. Po dosazení do rovnice (5.5), dostáváme konečný objem zeminy, kterou bude nutné vykopat, tedy:

$$V = \frac{(B_1 + B_2)}{2} \cdot H_v \cdot l = \frac{(16 + 10)}{2} \cdot 2,5 \cdot 1001 = 32\,532,5 \text{ m}^3 \quad (5.6)$$

Výsledná cena odpadního kanálu MVE je pak jen násobek objemu vykopané zeminy a ceny výkopu za 1 m^3 . Celková částka, kterou bude nutné vynaložit pro vybudování odpadu činí po zaokrouhlení na celé tisíce 2 928 000 Kč. Poměr cen odpadního kanálu oproti betonovému náhonu je 1:9,6 na jednom metru délky. Toto řešení, kdy betonový náhon měří pouhých 110 m a odpad 1001, ušetří mnoho finančních prostředků.

5.4.5 Návrh zařízení strojovny

Návrh samotného vodního motoru se odvíjí na základě konzultace s p. Václavem Jiříčkem, majitelem firmy Vodní turbíny, s.r.o.; čistý spádu (H) je 4,32 m a maximální možný průtok elektrárnou $Q_{\max} = 10,1 \text{ m}^3$. Pro tyto hodnoty spádu a průtoků je navržena jedna přímoproudá Kaplanova turbína. Návrhový průměr turbíny (průměr v místě oběžných lopatek) je $D = 1500 \text{ mm}$. Jedná se o plně regulovatelnou vodní turbínu; lze regulovat jak rozváděcí lopatky vodního stroje, tak samotné oběžné lopatky. Na oběžném kole vodní turbíny jsou 4 listy vzhledem k průtokům při špičkovém zatížení. Výrobce udává, že jeho navržená turbína by byla schopna s mírným poklesem účinnosti (5-8%) využít průtoky odpovídající 10 % z maximální hodnoty průtoku, na který je navržena (hltnost turbíny). To v aplikaci znamená, že při poklesu množství průtoku z $10,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dojde ke snížení její účinnosti pouze o 5-8 %. Výrobce udávaná účinnost je 0,8 (hodnota nezahrnuje účinnost a ztráty v alternátoru či transformátoru).

Savka spojená mezikusem s vodní turbínou je navržena tak, že plynule přechází do obdélníkového tvaru; je postupně rozšiřována oproti nejužší části konstrukce přímoproudé turbíny cca na její 5-ti násobek. Poloha savky je naprojektována pro vstup do vývařiště pod úhlem 15° téměř v horizontální poloze. Tento tvar savky zvyšuje danou hltnost vodní turbíny a snižuje hydraulické ztráty ve vývařišti.

Cena za kompletní dodání turbíny s montáží bez generátoru (alternátoru) a elektrořízení byla vyčíslena p. Jiříčkem na 6 000 000 Kč.

5.4.6 Důležité technologie zajišťující provoz MVE

Turbína má fungovat v plně automatickém provozu, je propojena s čidlem umístěným před náhonem v místě vzduť jezu. Toto čidlo zajišťuje měření aktuální hladiny a následná hladinová regulace zajišťuje regulaci hltnosti turbíny a v této souvislosti ovlivňuje a zajišťuje MZP v řečišti automaticky. U vtokové části je nutná instalace hrubých česlí. Před vodní turbínou návrh počítá s osazením jemných česlí a instalaci automatického hydraulického čištění. U vtokového objektu jsou navržena stavidla, která budou dimenzována proti povodňovým průtokům Q_{100} .

6 Ekonomické zhodnocení (varianty B) návrhu MVE

Prvním aspektem celého ekonomického zhodnocení je hrubý příjem (v Kč) za daná období po 30-ti dnech poskytnutý v *Tab. 6.1*. Výpočet je stejný jako v *Tab. 5.2* a *kap. 5.3.5*. Pro hodnoty průtoků odpovídající $Q_{240-330d}$ je snížena předpokládaná účinnost celého soustrojí z hodnoty 0,65 na 0,6. Je to důsledkem toho, že navrhovaná turbína ztrácí svoji účinnost při menším plnění.

Tab. 6.1 Výkon a hrubý příjem z MVE pro daná období roku (varianta B)

N-dnů (Q_{M-Md})	Q	H	P_s	μ_c	Vyrobene kWh	Tarif	Příjmy
30 (Q_{0-30d})	10,1	4,32	278,2	0,65	200 304	3,19	638 970
30 (Q_{30-60d})	10,1	4,32	278,2	0,65	200 304	3,19	638 970
30 (Q_{60-90d})	10,1	4,32	278,2	0,65	200 304	3,19	638 970
30 ($Q_{90-120d}$)	8,1	4,32	223,1	0,65	160 632	3,19	512 416
30 ($Q_{120-150d}$)	6,6	4,32	181,8	0,65	130 896	3,19	417 558
30 ($Q_{150-180d}$)	5,41	4,32	149	0,65	107 280	3,19	342 223
30 ($Q_{180-210d}$)	4,4	4,32	121,2	0,65	87 264	3,19	278 372
30 ($Q_{210-240d}$)	3,51	4,32	96,7	0,6	69 624	3,19	222 101
30 ($Q_{240-270d}$)	2,68	4,32	73,8	0,6	53 136	3,19	169 504
30 ($Q_{270-300d}$)	1,87	4,32	51,5	0,6	37 080	3,19	118 285
30 ($Q_{300-330d}$)	1	4,32	27,5	0,6	19 800	3,19	63 162
Celkový hrubý investiční příjem za rok (Σ 330 dní) [Kč]							4 040 531

Investiční výdaje na celé vodní dílo je v návrhu těžké stanovit přesně, proto se vždy musí počítat s určitou rezervou. Je vhodné do nákladů zahrnout vyšší částku na jednotlivé části a součásti vodního díla. Zásadní části MVE, které jsou finančně nejnáročnější a musejí se zakomponovat do celkové bilance vodního díla, jsou uvedeny v *tab. 6.2* níže. Získané částky jednotlivých součástí či stavebních úprav jsou pouze orientační, byly získány po debatách s odborníky vlastníci MVE (např. Josef Ludvík – vlastník elektrárny na Panském jezu v Sušici), Majitelem stavební firmy Hlavsa, s.r.o., a výrobcem vodních turbín p. Václavem Jiříčkem. Částky jsou zaokrouhleny na statisíce směrem nahoru.

6.1 Čisté investiční výdaje

Jsou v tomto případě celkové výdaje spjaté s kompletní výstavbou celé MVE. Tyto výdaje jsou přehledně rozepsány v *tab. 6.2* Pro účely výpočtu základu daně z příjmu jsou rozděleny podle odpisových skupin dle přílohy zákona o dani z příjmu.

Tab. 6.2 Náklady na pořízení MVE

	Zařízení, stavba, úkon	Částka [Kč]
Nelze odpisovat	Pozemky	1 600 000
	Geologický průzkum, projektování	600 000
3. odpisová skupina	Technologie turbíny, turbína	6 000 000
	Elektrořízení, generátor	2 000 000
	Česle, hydraulika česlí	1 650 000
	Připojení VN	350 000
5. odpisová skupina	Přívodní kanál	3 800 000
	Odpadní kanál	3 000 000
	Stavební část strojovny	2 100 000
	Stavidla, norná stěna	1 400 000
Σ Investičních výdajů		22 500 000

Investiční výdaje se kterými lze dále počítat pro případný úvěr, výpočet sazby daně a dobu návratnosti činí pro celou MVE 22 500 000 Kč. Provozní náklady elektrárny lze jen těžko předvídat dopředu, ovšem po konzultaci přímo s majiteli MVE jsem dospěl k částce 50 000 Kč (jejich kvalifikovaný odhad). V provozní nákladech se počítá s dopravou k MVE při jejích kontrolách, financování drobných oprav atd. Návrh počítá s tím, že majitel elektrárny bude chod MVE zajišťovat svépomocí.

6.2 Podmínky úvěru a jeho výpočet

Pro výpočet úvěru a jeho splácení se zde používá tzv. anuitního výpočtu splátky dluhu. Vstupní informace pro tyto výpočty jsou kapitál banky (půjčovaná částka), úroková sazba (podmínka půjčky dané bankou) a rozložení splátkového kalendáře, tedy počet roků, po který se dluh bude splácet. Je nutné podotknout, že čím větší vlastní kapitál (podíl) vložíme do projektu v poměru ke kapitálu banky, tím můžeme zlepšovat podmínky daného úvěru; banka poté nabízí nižší úrokovou sazbu. Je také jisté, že čím rychleji daný dluh splatíme, tím méně se úroková míra promítne do našich financí a o to méně půjčovanou částku přeplatíme. Vstupní hodnoty pro teoretický úvěr od banky a podmínky úvěru jsou následující[34]:

Tab. 6.3 Shrnutí úvěrových podmínek

Vlastní kapitál V_k	Počáteční hodnota dluhu D	Úroková sazba i	Počet let splátky k
5 500 000	17 000 000	7 %	12

Tento úvěr tedy počítá s počáteční hodnotou dluhu $D = 17\,000\,000$, úrokovou sazbou $i = 7\%$ a splátka by měla být tedy splacena po 12. roku od uzavření tohoto úvěru. Každoroční anuitní splátka se tedy vypočte jako[34]:

$$a = D \cdot \frac{i \cdot (1+i)^k}{(1+i)^k - 1}, \quad (6.1)$$

kde a je tedy splátka, kterou bude nutné zaplatit bance (či subjektu, od kterého se kapitál vypůjčí) po dobu n -let. Kompletní rozbor takto nastaveného úvěru je uveden v *Tab. 6.4*. Příklad výpočtu anuitní splátky pro první rok je [34]:

$$a = 17000000 \cdot \frac{0,07 \cdot (1 + 0,07)^{12}}{(1 + 0,07)^{12} - 1} = 2\,140\,334 \text{ Kč}, \quad (6.2)$$

Tab. 6.4 Splátkový roční kalendář pro úvěr

Vzorec	D	a	$i \cdot D$	$a - (i \cdot D)$	<i>Splátka – D</i>
Roky (k)	Dlužná částka	Zaplaceno	Úrok	Splátka	Zůstatek dluhu
1	17 000 000	2 140 334	1 190 000	950 334	16 049 666
2	16 049 666	2 140 334	1 123 477	1 016 857	15 032 809
3	15 032 809	2 140 334	1 052 297	1 088 037	13 944 772
4	13 944 772	2 140 334	976 134	1 164 200	12 780 572
5	12 780 572	2 140 334	894 640	1 245 694	11 534 878
6	11 534 878	2 140 334	807 441	1 332 892	10 201 986
7	10 201 986	2 140 334	714 139	1 426 195	8 775 791
8	8 775 791	2 140 334	614 305	1 526 028	7 249 763
9	7 249 763	2 140 334	507 483	1 632 850	5 616 912
10	5 616 912	2 140 334	393 184	1 747 150	3 869 762
11	3 869 762	2 140 334	270 883	1 869 450	2 000 312
12	2 000 312	2 140 334	140 022	2 000 312	0
13	0	0	0	0	0

Z této *Tab. 6.4* názorně vidět, jakou částku musí podnikatel zaplatit (a), kolik z této částky činí úrok („přeplatek bance“) a kolik činí samotná splátka dluhu. Pokud provedeme sumaci všech úroků za 12 let, získáme částku (Kč), kterou „zaplatíme“ bance za poskytnutí tohoto úvěru nad hodnotu půjčované částky. Výpočet je podle rov. (6.3) následující:

$$\sum_{k=1}^{12} \text{Úrok} = 8\,684\,006 \text{ Kč}. \quad (6.3)$$

Tento úrok lze oproti úvěrové částce vyjádřit v procentech, činí tedy 51,08 % z ní. Předpokládá se roční platební schopnost anuitní splátky podnikatele v návaznosti na spolehlivost vodního díla a předpokladu bezporuchového a konstantního ročního provozu.

6.3 Odpisy MVE

Dle zákona o dani z příjmu lze většinu částí MVE odepisovat. Všechny části MVE se řadí pouze do dvou odpisových skupin (dle přílohy zákona o daních), tedy na 3. odpisovou skupinu, kde se odpisuje po dobu 10 let, a na 5. odpisovou skupinu, kde doba odpisování je určena tímto zákonem na dobu 30 let. Následující tabulka stanoví míru odpisování jednotlivých skupin. Pro tento případ se předpokládá rovnoměrné odpisování.

Tab. 6.5 Odpisové skupiny pro části staveb a technologií MVE

Odpis. Skupina	1. Rok	Další léta	Doba odpisu (k-let)
3.	5,5%	10,5%	10
5.	1,4%	3,4%	30

V příloze B jsou znázorněny kompletní odpisované částky pro jednotlivé roky. V této příloze jsou zvlášť rozděleny odpisy pro 3. odpisovou skupinu a současně i 5. odpisovou skupinu.

6.4 Výpočet daně z příjmu

K určení základu pro výpočet daně z příjmu fyzické osoby (ZDFO) použijeme vzorec

$$ZDFO = P - V, \quad (6.4)$$

kde symbol P zastupuje příjmy, tedy celkové výnosy za počet vyrobených kWh vynásobených cenou za 1 kWh (v případě návrhu varianty B příjmy činí 4 040 531 Kč.) Do výdajů (V) k určení základu pro daň z příjmu se započítávají odpisy, úrok z úvěru a provozní náklady.

Výpočet ZDFO pro první rok tedy bude vypadat takto[34]:

$$ZDFO = 4\,040\,531 - (694\,200 + 1\,190\,000 + 50\,000) = 2\,106\,331\text{Kč} \quad (6.5)$$

Daň z příjmu fyzické osoby (15% z této částky) činí 315 950 Kč. Pro další léta (2-30) lze najít tyto výpočty v příloze C mojí práce. Jak je vidět v této příloze, daň se pohybuje zprvu okolo 315 000 Kč a stoupá k hodnotě 546 000 Kč. Jedná se pouze o spekulativní částky, jelikož se nedá předpokládat, jaké budou daňové podmínky pro fyzické osoby v horizontu 5, 10, 20 či dokonce 30 let.

6.5 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti představuje počet let, ze kterých se příjmy z investic vyrovnají vynaloženým výdajům na ně samotné. Pokud aplikujeme výpočet prosté doby návratnosti přímo na projekt výstavby MVE (varianta B), zjistíme, v jakém roce se nám již tato stavba vyplácí. Ve snaze vyčíslit prostou dobu návratnosti co nejpřesněji musíme dosazovat skutečně reálné částky (Kč), které každý rok obdržíme v rámci tohoto podnikání. Jedná se tedy o částky čistých investičních příjmů. Prostou dobu návratnosti lze spočítat ze vzorce[35]:

$$\sum_{k=0}^{PDN} \check{CIP}_k = \sum_{k=0}^k \check{CIV}_k, \quad (6.6)$$

kde PDN je prostá doba návratnosti, \check{CIP}_k jsou čisté investiční peněžní příjmy, \check{CIV}_k značí čistý investiční peněžní výdaj a k udává sled jednotlivých let. \check{CIP} je v případě tohoto investičního návrhu hodnota hrubého výnosu přímo z provozu vodní elektrárny odečtená o hodnoty provozních nákladů, daň z příjmu a anuitní splátku (v tomto případě odečtením anuitní splátky po dobu 12 let). V prvním roce bude čistý investiční příjem následující[35]:

$$\check{CIP}_1 = 4\,040\,531 - (50\,000 + 315\,950 + 2\,140\,334) = 1\,534\,247. \quad (6.7)$$

Hodnoty \check{CIP}_k kro roky 1-30 jsou taktéž uvedeny v příloze C.[35]

Pro vizualizaci prosté doby návratnosti jsem použil Tab. 6.6, která zahrnuje \check{CIV}_k i \check{CIP}_k . V místě, kde se čisté investiční náklady a příjmy vyrovnávají, můžeme předpokládat výslednou prostou dobu návratnosti.

Tab. 6.6 Vizualizace prosté doby návratnosti[35]

Roky (k)	0	1	2	3	4	5	6
\check{CIP}	0	1 534 247	1 630 169	1 619 492	1 608 067	1 595 843	1 582 763
\check{CIV}	22 500 000	0	0	0	0	0	0
$\Sigma \check{CIP}$	0	1 534 247	3 068 494	4 602 742	6 136 989	7 671 236	9 205 483

Roky	7	8	9	10	11	12	13
\check{CIP}	1 568 768	1 553 793	1 537 770	1 520 625	1 344 780	1 325 150	3 444 481
\check{CIV}	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma \check{CIP}$	10 739 730	12 273 977	13 808 225	15 342 472	16 876 719	18 410 966	19 945 213

Roky	14	15	16	17	18	19	20
\check{CIP}	3 444 481	3 444 481	3 444 481	3 444 481	3 444 481	3 444 481	3 444 481
\check{CIV}	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma \check{CIP}$	21 479 460	23 013 708	24 547 955	26 082 202	27 616 449	29 150 696	30 684 943

Do čistých investičních výdajů vstupuje pouze jedna částka v nultém roce. Tato částka je zanesena do tabulky právě v nultém roce, v časovém okamžiku, kdy investujeme danou částku. V tomto časovém okamžiku nultého roku se nepředpokládají žádné čisté investiční příjmy. Pro 15. rok je tato investice zlomová, v tomto roce $\check{CIP} > \check{CIV}$. Prostá doba návratnosti je tedy PDN = 15 let.[34][35]

Do 12. roku je z tabulky vidět zatížení hodnoty $\check{C}IP_{1-12}$ anuitní splátkou úvěru, od 13. roku od počáteční investice je ukazatel $\check{C}IP_{13+}$ výrazně vyšší. Tento rok se již z $\check{C}IP_{13}$ odečítá pouze daň z příjmu a provozní náklady stanovené pro MVE.[34][35]

Závěr

Malé vodní elektrárny můžou být bezesporu dobrou investicí. Vhodná lokalita je hlavním úspěchem jejího návrhu a následné výstavby či rekonstrukce. Na území České republiky existuje mnoho míst, kde by se dalo uvažovat o zprovoznění MVE; často však může vznikat problém s majetko-právními vztahy či vlivu provozu MVE na životní prostředí.

Dle mého názoru není třeba zatracovat vodní kola a žít s představou, že pouze vodní turbína je jediné východisko pro MVE. Je jisté, že na větší spádové poměry a větší průtoky je výhodnější použít vodní turbínu, avšak vodní kola dokážou pracovat také s vysokou účinností a lze je dobře uplatnit na říčkách, kde se vyskytuje kolísání průtoků.

Při zbudování a rekonstrukci vodních děl pro výrobu elektrické energie je nutné si opatřit mnoho povolení a podkladů. Důležité úkony se musí zahrnout již do projektové přípravy vodního díla. Kapitola 3 je jakýmsi „návodem“, jak postupovat při uvádění malé vodní elektrárny do provozu (a jak ji v provozu udržovat). Existuje mnoho právních předpisů a metodických pokynů, které je třeba dodržet a řídit se jimi. Následující část této kapitoly, tedy výťah textu z ČSN, je průnikem právních předpisů a snahy o zlepšování energetického a ekonomického potenciálu plánovaného vodního díla; přináší především technické řešení problémů vycházející z předešlých zkušeností.

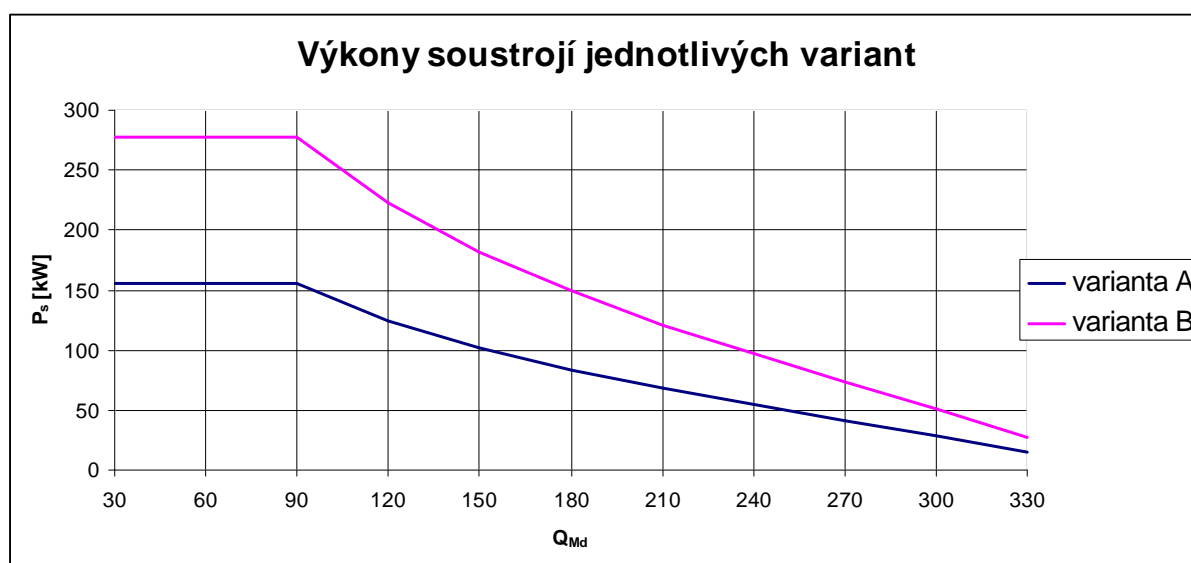
Dle všech dostupných pramenů, které jsem měl v průběhu zpracovávání práce k dispozici, musím konstatovat, že MVE jsou k životnímu prostředí šetrné. Jelikož se Česká republika zavazuje svými dohodami vůči EU plnit limity pro využívání OZE, myslím si, že výstavba vodních elektráren je nejekologičtější řešení. Největším problémem ekologie MVE je migrace ryb a s tím spojené rybí přechody. Podle mého názoru je nutností, aby se stát, popř. Ministerstvo životního prostředí touto problematikou zabývalo více do hloubky.

V mé bakalářské práci jsem uvedl dvě varianty řešení (A,B), které by se daly aplikovat na lokalitu s významným hydroenergetickým potenciálem. První návrh (varianta A) respektoval dispoziční uspořádání bývalého vodního mlýna (později MVE). V této variantě je uvažováno s přivaděčem o délce 410 m. Tato koncepce vodního díla by vedla k celkovému prodražení celé investice; cena betonového obdélného přívodního kanálu by se přiblížila k částce 14 mil. Kč.

U druhé varianty, kterou jsem rozpracoval více do hloubky, se předpokládá s výstavbou strojovny ve vzdálenosti 110 m od vtokového objektu. Pro vytvoření funkčního návrhu bylo nutné uvažovat také s tím, jak se vyřeší spádové poměry. Stěžejní částí výstavby této varianty je vybudování odpadního kanálu, který využije maximálního možného spádu

této lokality. Oproti první variantě se v tomto návrhu počítá s prohloubením odpadního kanálu; v místě těsně za strojovnu do hloubky 4 metrů.

U varianty A je počítáno s čistým spádem $H = 2,42$, naopak u varianty B se $H = 4,32$ m. Jak je vidět v tabulkách výkonů a hrubých příjmů (varianty A a varianty B) *Tab. 5.2* a *Tab. 6.1* dosahujeme rozdílných instalovaných výkonů při stejném průtoku. Je jisté, že rozdíl těchto hodnot čistých spádů je markantní, činí 1,9 m. Celkové hrubé investiční příjmy za jeden rok jsou v poměru 1:1,78. Přivaděč navržený pro variantu A by stál 14 mil. a množství vyrobené elektrické energie by bylo téměř poloviční oproti variantě B. Proto se jako výhodnější jeví druhý návrh. Srovnání výkonů obou variant v závislosti na průtoku (Q_{Md}) je patrné z následujícího grafu:



V poslední části práce je diskutováno ekonomické zhodnocení varianty B návrhu MVE. Celá kapitola je souhrnem investičních příjmů a výdajů. V kapitole 6.2 je počítán úvěr z banky. Předpokládá se podnikatelský úvěr s úrokovou sazbou 7 %. Roční splátky jsou počítány podle vzorce pro anuitní splátku (rov. (6.2)). Při výše zmíněných podmínkách úvěru (*kap. 6.2*), úrok určený jako „provize“ bance dosáhl hodnoty 8 684 006 Kč. Je možné předpokládat, že daná fyzická osoba, které je poskytnutý úvěr, bude schopna splácet anuitní splátku. Pokud by z nějakých důvodů elektrárna musela být odstavena mimo provoz, bylo by vhodné, aby si vlastník této investice varianty B tvořil rezervy z čistých investičních peněžních příjmů. V 11. a 12. roce jsou ČIP (příloha C) nejnižší, jedná se o nejrizikovější roky pro splácení úvěru. Prostá doba návratnosti (PDN) vychází na $k = 15$ let (*Tab. 6.6*), to znamená, že minimálně po dobu horizontu další 15 let ($k = 16-30$) bude tato investice pro jeho vlastníka přínosem (vodoprávní povolení je vydáváno na dobu minimálně 30 let).

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 299 s. ISBN 80-010-1808-0.
- [2] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: mve.energetika.cz
- [3] KŘENEK, Vladimír. *Člověk a energie*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006, 191 s. ISBN 80-704-3489-9.
- [4] BARTÁK, Jiří, Zdeněk ETTLER a Václav FREMR. *Malé vodní elektrárny v západních Čechách*. Plzeň: TYPOS, 2003. ISBN 80-239-1475-8.
- [5] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010, 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [6] *Vodní kola* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: www.vodnikola.cz
- [7] ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.: vodní elektrárny*. 2. vyd., přeprac. V Plzni: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2000, 126 s. ISBN 80-708-2675-4.
- [8] *Malé vodní elektrárny* [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: www.vodni-elektrarny.cz
- [9] ČSN 75 2601. *Malé vodní elektrárny: Základní požadavky*. Praha, 2010.
- [10] O vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *zákon č. 254/2001 Sb.* Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_003.htm
- [11] O posuzování vlivů na životní prostředí. In: *zákon č. 100/2001 Sb.* Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_005.htm
- [12] O podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. In: *zákon č. 180/2005 Sb.* Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_001.htm
- [13] Energetický zákon. In: *zákon č. 458/2000 Sb.* Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_002.htm
- [14] *Svaz podnikatelů pro využití obnovitelných zdrojů* [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/>
- [15] O územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Zákon č. 183/2006 Sb.* Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_004.htm
- [16] O odborné způsobilosti v elektrotechnice. In: *vyhláška č. 50/1978 Sb.* Dostupné z: http://www.elektro-shop.cz/Vyhl_50.pdf
- [17] Vydra. *ČEZ* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/vydra.html>
- [18] *Otava: vodácký průvodce*. Praha: Tiskárna REPROPRINT, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7224-045-6.
- [19] *Nahlížení do KN* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>
- [20] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 271 s. ISBN 80-200-0828-4.
- [21] *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003, 175 s. ISBN 80-889-0545-1.
- [22] *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: www.eru.cz
- [23] *Obnova malých vodních elektráren*. [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://www.vasevec.cz/blogy/obnova-malych-vodnich-elektraren-ma->

- energeticky-i-ekologicky-vyznam
- [24] *Naše voda: informační portál o vodě* [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.nase-voda.cz/>
- [25] *Geologické a geovědní mapy* [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-651915/>
- [26] *Hydrohrom: Vodní turbíny* [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.hydrohrom.cz/>
- [27] *CINK Hydro-Energy k.s.* [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/>
- [28] *MSA: výrobce armatur* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: www.msa.cz
- [29] *Vodní turbíny s.r.o.: Václav Jiříček* [online]. [cit. 2012-06-03]. Dostupné z: <http://www.vodniturbiny.com/>
- [30] *Exmont: Exmont-Energo a.s.* [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.exmont.cz/>
- [31] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: www.chmi.cz
- [32] O dani z příjmu. In: *Zákon č. 586/1992 Sb.* Dostupné z: <http://www.podnikatel.cz/zakony/zakon-c-586-1992-sb-o-danich-z-prijmu/>
- [33] PAŽOUT, František. *Vodní elektrárny: ekonomika a předpisy*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00192-0.
- [34] KISLINGEROVÁ, Eva. *Manažerské finance*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2004, xxxi, 714 s. ISBN 80-717-9802-9.
- [35] MAREK, Petr. *Studijní průvodce financemi podniku*. Vyd. 1. Praha: Ekopress, 2006, 624 s. ISBN 80-861-1937-8.

Přílohy

Příloha A – Fotodokumentace původní instalace Girardovy turbíny



Regulace a převod Girardovy turbíny



Zanesená Girardova kašnová turbína

Příloha B – Odpisované částky MVE pro jednotlivé roky

Rok (k)	Odpis 3. skupiny	Odpis 5. skupiny	Odpisovaná částka dohromady
1	550 000	144 200	694 200
2	1 050 000	350 200	1 400 200
3	1 050 000	350 200	1 400 200
4	1 050 000	350 200	1 400 200
5	1 050 000	350 200	1 400 200
6	1 050 000	350 200	1 400 200
7	1 050 000	350 200	1 400 200
8	1 050 000	350 200	1 400 200
9	1 050 000	350 200	1 400 200
10	1 050 000	350 200	1 400 200
11	0	350 200	350 200
12	0	350 200	350 200
13	0	350 200	350 200
14	0	350 200	350 200
15	0	350 200	350 200
16	0	350 200	350 200
17	0	350 200	350 200
18	0	350 200	350 200
19	0	350 200	350 200
20	0	350 200	350 200
21	0	350 200	350 200
22	0	350 200	350 200
23	0	350 200	350 200
24	0	350 200	350 200
25	0	350 200	350 200
26	0	350 200	350 200
27	0	350 200	350 200
28	0	350 200	350 200
29	0	350 200	350 200
30	0	350 200	350 200
Odpisovaná částka celkem [Kč]			20 300 000

Příloha C – Výpočet daně a čistých investičních příjmů pro roky k = 1-30

Rok (k)	Hrubé příjmy/rok	Výdaje	Úrok z půjčky	a - splátka	ZDFO	Daň	ČIP _k
1	4 040 531	1 934 200	1 190 000	2 140 334	2 106 331	315 950	1 534 247
2	4 040 531	2 573 677	1 123 477	2 140 334	1 466 854	220 028	1 630 169
3	4 040 531	2 502 497	1 052 297	2 140 334	1 538 034	230 705	1 619 492
4	4 040 531	2 426 334	976 134	2 140 334	1 614 197	242 129	1 608 067
5	4 040 531	2 344 840	894 640	2 140 334	1 695 691	254 354	1 595 843
6	4 040 531	2 257 641	807 441	2 140 334	1 782 889	267 433	1 582 763
7	4 040 531	2 164 339	714 139	2 140 334	1 876 192	281 429	1 568 768
8	4 040 531	2 064 505	614 305	2 140 334	1 976 025	296 404	1 553 793
9	4 040 531	1 957 683	507 483	2 140 334	2 082 847	312 427	1 537 770
10	4 040 531	1 843 384	393 184	2 140 334	2 197 147	329 572	1 520 625
11	4 040 531	671 083	270 883	2 140 334	3 369 447	505 417	1 344 780
12	4 040 531	540 222	140 022	2 140 334	3 500 309	525 046	1 325 150
13	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
14	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
15	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
16	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
17	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
18	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
19	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
20	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
21	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
22	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
23	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
24	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
25	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
26	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
27	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
28	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
29	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481
30	4 040 531	400 200	0	0	3 640 331	546 050	3 444 481