

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**NÁVRH MALÉ VODNÍ
ELEKTRÁRNY**

vedoucí práce: Ing. Viktor Majer

2012

autor: Bc. Tereza Starostová

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tereza STAROSTOVÁ**
Osobní číslo: **E10N0055P**
Studijní program: **N2612 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 :

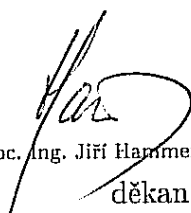
1. Nalezněte vhodnou lokalitu a navrhňte vhodné řešení využití jejího hydroenergetického potenciálu.
2. Zmapujte trh se zařízením pro malé vodní elektrárny.
3. Uveďte právní předpisy a normy týkající se MVE.
4. Zpracujte přibližný výpočet průměrných ročních výnosů elektrické energie a proveďte ekonomický rozbor návratnosti stavby.
5. Zpracujte předběžný technický návrh.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Viktor Majer**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá postupem návrhu malé vodní elektrárny na Křemežském potoce v lokalitě Brloh, přičemž si klade za cíl zejména poukázat na problematiku celého procesu. V úvodu je popsán výběr vhodné lokality pro stavbu vodního díla, kdy je zároveň nastíněno vhodné řešení využití jejího hydroenergetického potenciálu. V další části je mapován trh se zařízeními pro malé vodní elektrárny a jsou popsány právní předpisy a normy jich se týkající. V neposlední řadě je počítána energetická bilance stavby a zpracován ekonomický rozbor její návratnosti, přičemž je porovnávána možnost rekonstrukce současného díla s důrazem na nízké investiční náklady spolu s rozsáhlejší rekonstrukcí za účelem maximálního využití hydroenergetického potenciálu lokality. V závěru práce je pak nastíněn předběžný technický návrh tohoto řešení.

Klíčová slova

Hydroenergetický potenciál, vodní energie, malá vodní elektrárna, vodní kolo, vodní turbína, generátor, náhon, česle, rekonstrukce, spád, průtok, hltnost turbíny, výkon, účinnost, elektrizační soustava, životní prostředí, Křemežský potok, křivka denních průtoků.

Annotation

This diploma thesis deals with the design procedure for small hydropower plant on Kremze stream in Brloh locality and aims to point out especially the issue of its whole process. The introduction describes the site selection for the project, which is also outlined a suitable solution using its hydro energetic potential. In the next part the regulations, standards and the market with equipment for small hydro power plants is mapped. Not least the energy balance is calculated and economic analysis of its return is processed when the reconstruction of current power plant with emphasis on low investment cost and more extensit refurbishment in order to maximize the use of hydro energetic potential of its site. In conclusion the preliminary technical design is outlined.

Key words

Hydroelectric power potential, hydraulic power, small hydro-power plant, water wheel, water turbine, generator, lead, trash rack, reconstruction, head of water, flow rate, maximum usable flow, power, force, electricity supply system, environment, Kremze stream, daily flow rate curve.

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 10.5.2012

Tereza Starostová

Poděkování

Můj dík patří zejména Ing. Viktorovi Majerovi za to, že mi umožnil zhostit se diplomové práce právě na toto téma, jež svými připomínkami a radami učinil ještě více atraktivní. Poděkování patří také jednotlivým majitelům vodních elektráren, kteří se podělili o své zkušenosti a informace z daného odvětví a dodali mi tak neodmyslitelnou část podkladů ke zpracování této práce. V neposlední řadě mé díky patří rodině za její podporu v průběhu celého mého studia. Díky spolupráci či podpoře všech jmenovaných se pro mne diplomová práce nestala pouhou podmínkou k absolvování studia, ale především neocenitelným zážitkem.

Obsah

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 6 |
| ÚVOD..... | 8 |
| 1 VÝBĚR LOKALITY | 9 |
| 1.1 POPIS LOKALITY | 9 |
| 1.2 PŘEDBĚŽNÉ ZHODNOCENÍ | 11 |
| 1.2.1 Stanovení průtočného množství..... | 11 |
| 1.2.2 Hydroenergetický potenciál..... | 14 |
| 1.3 PŘEDBĚŽNÉ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ..... | 15 |
| 2 ZAŘÍZENÍ PRO MVE..... | 17 |
| 2.1 VÝROBCI KOMPONENT PRO MVE..... | 17 |
| 2.2 POROVNÁNÍ KOMPONENT | 20 |
| 2.2.1 Vodní kola..... | 20 |
| 2.2.2 Vodní turbíny | 22 |
| 2.2.3 Generátory MVE..... | 30 |
| 2.2.4 Převody..... | 35 |
| 2.2.5 Česle..... | 37 |
| 3 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE MVE | 40 |
| 3.1 VODNÍ ZÁKON | 40 |
| 3.2 ZÁKON O PODPOŘE VÝROBY ELEKTŘINY Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ | 43 |
| 3.3 ENERGETICKÝ ZÁKON | 45 |
| 3.4 VÝKUPNÍ CENY ENERGIE Z MVE..... | 47 |
| 4 EKONOMICKÁ BILANCE MVE..... | 49 |
| 4.1 NABÍDKA SPOLEČNOSTI CHLOUBA SPOL. S.R.O. + VLASTNÍ PRÁCE | 49 |
| 4.1.1 Náklady na stavbu a provoz..... | 50 |
| 4.1.2 Roční výnosy elektrické energie..... | 50 |
| 4.1.3 Rozbor návratnosti stavby..... | 53 |
| 4.2 NABÍDKA SPOLEČNOSTI CINK HYDRO-ENERGY K.S. | 58 |
| 4.2.1 Technický návrh – parametry..... | 58 |
| 4.2.2 Náklady na stavbu a provoz..... | 61 |
| 4.2.3 Roční výnosy elektrické energie..... | 62 |
| 4.2.4 Rozbor návratnosti stavby..... | 63 |
| 5 ZÁVĚR | 66 |
| POUŽITÁ LITERATURA..... | 68 |
| PŘÍLOHY..... | 72 |
| PŘÍLOHA Č. 1 – VÝKUPNÍ CENY A ZELENÉ BONUSY PRO ŠPIČKOVÉ A POLOŠPIČKOVÉ AKUMULAČNÍ MVE..... | 72 |
| EVIDENČNÍ LIST | 73 |

;

Seznam symbolů a zkratek

Symbols

| | |
|------------|-------------------------------------------------------------|
| a | anuita [-] |
| A_i | výroba elektrické energie za dobu M [kWh] |
| A_R | celková roční výroba elektrické energie [kWh] |
| C_e | cena energie vyrobené MVE [Kč/kWh] |
| C_{\min} | minimální výkupní cena [Kč/kWh] |
| C_R | celkový roční výnos [Kč] |
| d_p | daň z příjmu [%] |
| D_z | daňové zatížení [Kč] |
| g | gravitační zrychlení [$9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$] |
| H | spád [m] |
| IN | investiční náklady [Kč] |
| i_v | výnosové procento [-] |
| M | počet dní chodu elektrárny [dny] |
| n | otáčky [ot./min.] |
| N | investiční náklady na odepisovanou položku [Kč] |
| N_c | celkové náklady [Kč] |
| N_p | provozní náklady [Kč] |
| N_r | průměrné výrobní náklady na rok provozu [Kč] |
| N_s | náklady na stavební část [Kč] |
| N_T | náklady na technologickou část [Kč] |
| $Nú$ | úrok z úvěru [Kč] |
| O | odpisy [Kč] |
| O_s | odpisy stavební části [Kč] |
| O_T | odpisy technologické části [Kč] |
| P | výkon [W] |
| q | kvocient anuity [-] |
| Q | průtok [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] |
| Q_{\min} | minimální průtok [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] |
| S | úmor [Kč] |

| | |
|-------|--------------------------------|
| s_K | odpisový koeficient [-] |
| T_S | prostá doba návratnosti [roky] |
| T_U | doba úročení investice [roky] |
| Z | hrubý zisk [Kč] |
| $Z_č$ | čistý zisk [Kč] |
| h | účinnost [-] |
| h_g | účinnost generátoru [-] |
| h_p | účinnost převodu [-] |
| h_T | účinnost turbíny [-] |
| r | účinnost [-] |

Zkratky

| | |
|------|---------------------------------|
| CF | cash flow |
| CHKO | Chráněná krajinná oblast |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČSN | Česká technická norma |
| ERÚ | Energetický regulační úřad |
| MVE | malé vodní elektrárny |
| OZE | obnovitelný zdroj energie |
| SP | sanační průtok |

Úvod

Pojmy jako globální oteplování či obnovitelné zdroje energie nabývají v posledních letech zcela jiného významu než dříve. Hovořilo se o nich z počátku zejména z ekologického úhlu pohledu, kdy byly fosilní paliva či ropa považovány takřka za samozřejmost a jen se teoreticky diskutovalo o vlivu člověka na životní prostředí s úvahou možných negativních následků.

Nyní jsou však tyto pojmy prostředkem zájmu nejen z důvodu hledání východiska vzhledem ke stále narůstajícímu nedostatku energetických zdrojů, ale také z hlediska ekonomického či politického. V kontextu s ekologickou daní, obchodováním s emisními povolenkami či různorodou výkupní cenou elektrické energie v závislosti na zdroji jejího získání si lze pak snadno představit v jakých peněžních částkách a mocenských zájmech se tato energetická hra odehrává. Výstavba gigantických slunečních elektráren se tak pro mnohé, oplývající dostatečným kapitálem, stala předmětem podnikání, avšak na úkor těchto projektů byly ty zdánlivě menší zahrnány do ústraní.

Pravdou je, že Česká republika nemá sice ideální podmínky pro stavbu velkých větrných či vodních děl, ale i tak zde například energie vody v oblasti malých¹ výkonů má své nezastupitelné místo. I když některé odhady hovoří o 30% zbývajícím hydroenergetickém potenciálu země k využití (asi 500 mil kWh/rok), faktem je, že se tyto oblasti vyznačují zpravidla horšími hydrologickými podmínkami. Spolu s tímto spojená delší doba návratnosti případných staveb a z toho plynoucí snížený zájem investorů, jsou jen logickým důsledkem. Stále jsou však k nalezení místa, která skýtají možnosti navýšení využití hydroenergetického potenciálu s přijatelnou ekonomickou bilancí. Aktuální se tak stává otázka rekonstrukce starých vodních děl, které v mnoha případech jen nevyužitě chátrají.

Tato práce si klade za cíl seznámit čtenáře s problematikou postupu návrhu malé vodní elektrárny (dále MVE), přičemž je zaměřena na rekonstrukci staršího vodního díla. S úvahou aktuálního trhu se zařízením a právních předpisů a norem týkajících se MVE práce poukazuje na složitost celého procesu a podává ekonomický rozbor návratnosti stavby spolu s jejím předběžným technickým řešením. [1]

¹ tj. do výkonu 10 MW

1 Výběr lokality

I když bývá volba vhodného umístění MVE často podceňována, jedná se o rozhodující faktor v procesu návrhu elektrárny. Jelikož se právě od tohoto kroku odvíjí nejdůležitější aspekty daného díla, jako spádové a průtokové poměry, je vhodné již v této fázi přípravy využít služeb odborníka na hydroenergetiku. Samy bychom poté měli věnovat pozornost dalším úskalím, ať už v podobě majetkoprávních vztahů, požadavků ochrany přírody či pouhého stanoviska obyvatel v okolí budoucí stavby.

Neméně důležitým faktorem, zvláště pak z technicko-ekonomického pohledu, je poté samotná dostupnost lokality, ať už z hlediska vyvedení výkonu do sítě či přístupnosti techniky, jež budeme ke stavbě potřebovat. V případě nevhodnosti jakéhokoli z těchto kritérií se výrazně zvedá problematičnost celého postupu, často vedoucí k výraznému navýšení nákladů, ba dokonce i k úplnému zrušení projektu.

I proto se jako vhodná varianta jeví rekonstrukce staršího vodního díla, kdy nám řada těchto komplikací odpadá. Ostatní podmínky předprojektové přípravy jako splnění předepsaných norem a příslušná legislativa budou rozebrány ve třetí kapitole práce. [2]

1.1 Popis lokality

Vzhledem k dřívějšímu zpracování bakalářské práce na téma Hydroenergetické využití Křemežského potoka, je tato práce jakousi návazností a místo pro rekonstrukci MVE bylo zvoleno právě v této oblasti. I když se jedná zdánlivě o malý tok, vzhledem k hojnému využití jeho hydroenergetického potenciálu v minulosti skýtá toto území hned několik zastaralých vodních děl vhodných k rekonstrukci.

Pramen Křemežského potoka se nachází na severozápadním svahu hory Chlum v nadmořské výšce 950 m. Jedná se o levý přítok řeky Vltavy a většina jeho 29,8 km délky toku protéká CHKO Blanský les. Na základě údajů získaných od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) činí plocha jeho povodí 126,75 km².

Co se týče míst vhodných k výstavbě či rekonstrukci vodní elektrárny, nabízí tato lokalita na první pohled minimálně tři objekty k posouzení. Od pramene prvním takovým je Köglerův mlýn, nacházející se na osmém říčním kilometru potoka za obcí Ktiš. Dílo se pyšní téměř nepoškozeným náhonem a případným spádem 3 m. [3]

Druhým v pořadí je mlýn Cvrčkův, jehož říční kilometr má hodnotu 16,4 km a nachází se u obce Brloh. Zde je situace jednodušší z hlediska zachovalého soustrojí původní elektrárny v podobě dvou Bánkiho turbín s hltností 260 l/s. Původní náhon je však téměř zcela zanesen a hlavní investice by tedy směřovaly tam. V případě obnovy této elektrárny bychom získali spád přibližně 2,7 m.

Třetím dílem v pořadí, jež si zaslouží pozornost, je Chlumský mlýn. Po násilném vystěhování majitelů v roce 1948 bylo toto vodní dílo z větší části zničeno, ale ke konci osmdesátých let byl majetek původnímu majiteli navrácen a ten využil dobrých hydrologických podmínek a relativně zachovalého náhonu a postavil malou vodní elektrárnu jen několik metrů za původním mlýnem. Povodně roku 2002 a 2009 však zničily soustrojí a poškodily náhon a nyní se majitel snaží elektrárnu obnovit. Oproti předešlým dvěma disponuje tato MVE výrazně vyšším průtokem a čistým spádem 3,5 m.



Obr. 1: *Elektrárna Chlumský mlýn*

Posledním dílem vhodným ke zmínce, co se týče výstavby elektrárny v této lokalitě, je tzv. nedokončené dílo. Elektrárna by sice využívala vodu Vltavy, ale vzhledem k vývodu do Křemežského potoka stojí za zmínku jej popsat. Dílo bylo původně plánem Vojtěcha Lanny a mělo využít nadměrné klikatění a velký spád Vltavy v oblasti ústí Křemežského potoka. Za obrovských investic byl vyražen tunel skrze skálu mezi těmito toky, ale z důvodu nedostatku financí byla nakonec stavba zastavena a jeden konec tunelu z hlediska bezpečnosti zasypan.

V případě realizace původních plánů spolu s dnešními hydrologickými podmínkami, kdy je průtok Vltavy podpořen minimálním průtokem 6 m³/s a naopak velké vody regulovány

pomocí vodní nádrže Lipno, by výkon elektrárny omezoval takřka jen průměr vykopaného tunelu a forma vtokového objektu. Plánovaná stavba 4 m vysokého jezu by zajišťovala spád až 16 m a průtok štolou až 7 m³/s. Průtočná plocha tlakové štoly s betonovou obezdívkou by činila 1,77 m² s návrhovou rychlostí 4 m/s. Vzhledem k velkému spádu by pro tento případ mohla být vhodná volba více soustrojí s Francisovou turbínou. Za zmíněných předpokladů by mohla elektrárna dosahovat výkonu až 900 kW, jeho minimální hodnota by se pak pohybovala přibližně kolem 250 kW. Významný energetický potenciál v tomto případě nelze popřít, ovšem dokončení díla brání již řadu let negativní postoj ochránců. [3]

1.2 Předběžné zhodnocení

K tomu, abychom byli schopni předem odhadnout technicko-ekonomickou výhodnost daného vodního díla, je nezbytné opatřit si údaje o průtokových a spádových poměrech v dané lokalitě. Budeme tak schopni určit přibližný výkon či výrobu elektrické energie elektrárny, což jsou aspekty úzce související s ekonomickou návratností a stávají se tak již v začátku plánování stavby základním měřítkem při rozhodování, zda vůbec projekt uskutečnit či ne.

1.2.1 Stanovení průtočného množství

Co se spádových poměrů týče, můžeme při rekonstrukci využít již existujících podkladů staršího vodního díla. V případě budování zcela nové elektrárny volíme měření nivelací buď speciálním strojem, nebo se lze spolehnout i na běžné měření s vodováhou a měřicí latí.

U stanovení průtočného množství je již situace složitější. V případě, že nemáme k dispozici oficiální údaje o měření na daném toku, je vhodné si opatřit alespoň kvalifikovaný odhad získaný na základě hydrologických poměrů pro danou oblast. Pro takový výpočet bereme v úvahu dva známé profily, mezi nimiž se nachází námi sledovaná oblast, a na základě jim příslušejícím plochám povodí určujeme hodnoty denních průtoků váženou interpolací. V případě obou zmíněných variant informace zpravidla poskytuje za úplaty Český hydrometeorologický ústav.

V případě absence údajů potřebných pro tento odhad se lze obrátit ještě na výpočet vycházející z mapy izochar průměrných specifických odtoků. Je samozřejmé, že v tomto případě jsou pak výsledky o to méně přesné.

Následující tabulky obsahují zaktualizované údaje měření průtokových poměrů v místech třech zmiňovaných MVE vhodných k rekonstrukci.

| č. povodí | 1-06-01-207 | velké vody | | malé vody | |
|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| místo | Ktišský rybník | opakující se 1* za [rok] | průtok [m ³ /s] | po dobu [dní] | v roce je průtok větší než [l/s] |
| plocha povodí | 102,995 km ² | | | | |
| prům. srážky | 762 mm | 1 | 4,1 | 30 | 396 |
| prům. průtok | 0,183 m ³ /s | 2 | 6,8 | 60 | 280 |
| délka údolí | 8 km | 5 | 11 | 90 | 221 |
| zalesněnost | 65% | 10 | 16 | 120 | 183 |
| | | 20 | 21 | 150 | 155 |
| | | 50 | 28 | 180 | 132 |
| | | 100 | 35 | 210 | 114 |
| | | | | 240 | 97 |
| | | | | 270 | 82 |
| | | | | 300 | 68 |
| | | | | 330 | 53 |
| | | | | 355 | 36 |
| | | | | 364 | 23 |

Tab. 1: Měření ČHMÚ pod hrází Ktišského rybníka - Köglerův mlýn

| č. povodí | 1-06-01-197 | velké vody | | malé vody | |
|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| místo | Brloh | opakující se 1* za [rok] | průtok [m ³ /s] | po dobu [dní] | v roce je průtok větší než [l/s] |
| plocha povodí | 40,745 km ² | | | | |
| prům. srážky | 724 mm | 1 | 6,9 | 30 | 791 |
| prům. průtok | 0,359 m ³ /s | 2 | 12 | 60 | 556 |
| délka údolí | 16,4 km | 5 | 20 | 90 | 437 |
| zalesněnost | 50 % | 10 | 27 | 120 | 359 |
| | | 20 | 35 | 150 | 301 |
| | | 50 | 47 | 180 | 256 |
| | | 100 | 58 | 210 | 218 |
| | | | | 240 | 185 |
| | | | | 270 | 155 |
| | | | | 300 | 126 |
| | | | | 330 | 96 |
| | | | | 355 | 63 |
| | | | | 364 | 38 |

Tab. 2: Měření ČHMÚ v obci Brloh – Cvrčkův mlýn

| č. povodí | 1-06-01-207 | velké vody | | malé vody | |
|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| místo | Křemže | opakující se 1* za [rok] | průtok [m ³ /s] | po dobu [dní] | v roce je průtok větší než [l/s] |
| plocha povodí | 102,995 km ² | | | | |
| prům. srážky | 686 mm | 1 | 14 | 30 | 1760 |
| prům. průtok | 0,776 m ³ /s | 2 | 25 | 60 | 1220 |
| | | 5 | 41 | 90 | 948 |
| | | 10 | 55 | 120 | 770 |
| | | 20 | 70 | 150 | 640 |
| | | 50 | 91 | 180 | 537 |
| | | 100 | 108 | 210 | 452 |
| | | | | 240 | 378 |
| | | | | 270 | 312 |
| | | | | 300 | 249 |
| | | | | 330 | 184 |
| | | | | 355 | 114 |
| | | | | 364 | 63 |

Tab. 3: měření ČHMÚ v obci Křemži – Chlumský mlýn

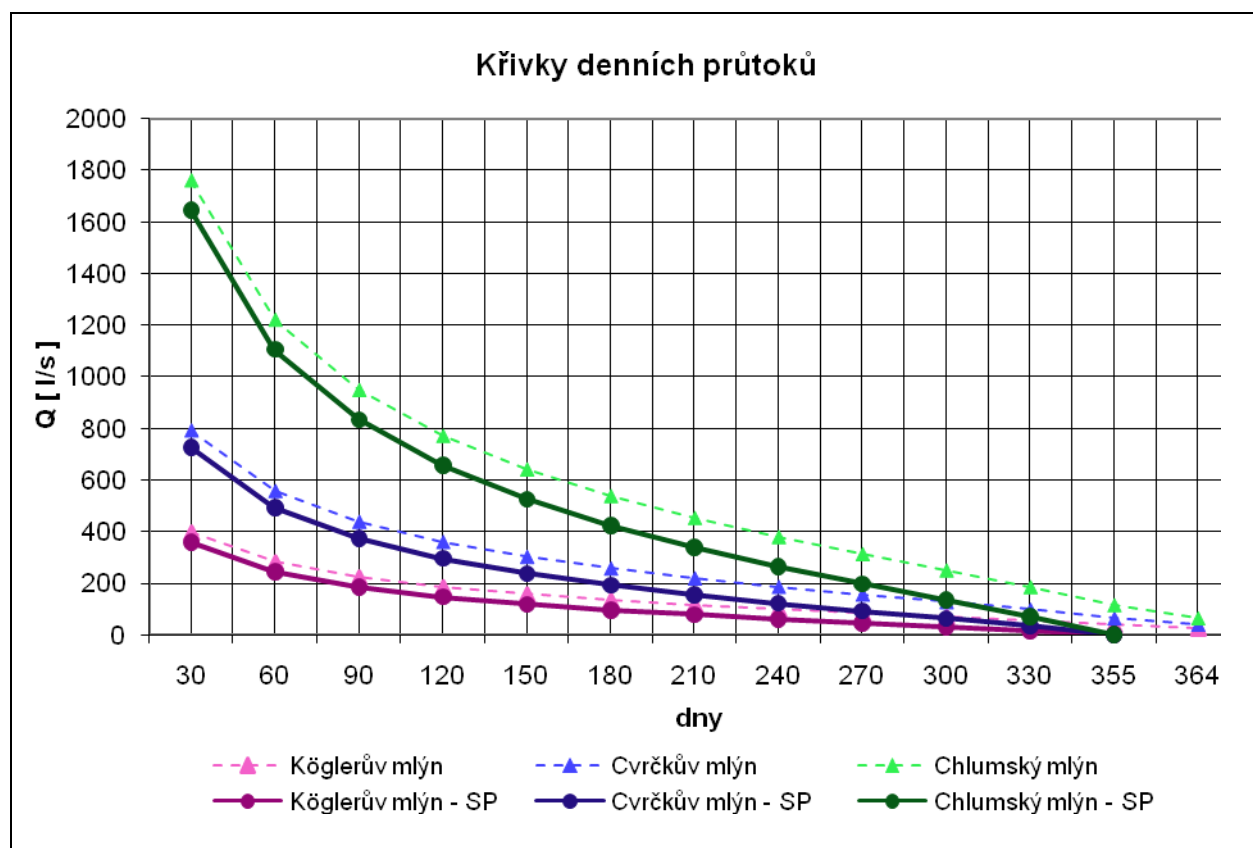
Na základě těchto dat lze pak sestrojít přibližné křivky denních průtoků $Q = f(t)$ jednotlivých vodních děl. Je však nutné brát v potaz sanační² průtok daného toku, o jehož hodnotu bude využitelný průtok elektrárnou nižší. Tuto hodnotu stanoví u každé konkrétní MVE zvlášť vodoprávní úřad, ale obvykle se volí hodnota blízká Q_{355} , což je množství vody, jež protéká korytem alespoň 355 dní v roce. U některých menších toků se volí hodnota až Q_{333} .

Graf 1 znázorňuje výsledné křivky denních průtoků pro Köglerův, Cvrčkův a Chlumský mlýn zároveň. Křivky vykreslené přerušovaně představují křivky denních průtoků vytvořené na základě tabulek měření ČHMÚ bez započítání sanačního průtoky. Při započítání sanačního průtoky (počítáno s hodnotou Q_{355}) pak získáme již poměrně reálné hodnoty denních průtoky, které jsou v grafu vykresleny spojitě. Můžeme tak pozorovat viditelný pokles oproti křivkám původním a zároveň si všimnout, že ani v jednom z případů nebude navrhovaná MVE schopna celoročního provozu.

Z výsledné křivky poté určíme tzv. návrhový průtok elektrárny, který je v hydrologických podmínkách ČR zpravidla blízký hodnotě Q_{90} až Q_{120} . Určíme tedy průtok, který protéká elektrárnou alespoň 90 až 120 dní v roce a následně k této hodnotě dimenzujeme výkon MVE. I když se jednotlivé projekty v závislosti na svém umístění a charakteristice toku mohou samozřejmě lišit a pro stanovení návrhového průtoky mohou být brána v potaz odlišná pravidla, pro porovnání základních výkonových poměrů těchto malých

² Tj. minimální průtok původního koryta

vodních děl na stejném toku jsou střední hodnoty postačující. [2]



Graf 1: Křivky denních průtoků jednotlivých děl

1.2.2 Hydroenergetický potenciál

Pro základní, přesněji teoretický, odhad hydroenergetického potenciálu vodního díla se používá vzorec (1.1), kde je ovšem brána hodnota účinnosti přeměny energie $h = 1$ (100%).

$$P = r \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ [kW]} \quad (1.1)$$

kde r = měrná hmotnost vody, tj. $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

g = gravitační zrychlení, tj. $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Q = průtok vodní turbínou či kolem $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

H = spád využívaný elektrárnou [m]

Skutečný výkon však bude vzhledem ke ztrátám způsobených změnami energie v turbíně, generátoru či převodu značně menší. U malých vodních elektráren se používá pro předběžné odhady výkonu vzorec 1.2, který je zjednodušenou alternativou předchozího. Zahrnuje již paušální hodnotu příslušných ztrát a nedbá tedy na rozdílné vlastnosti případných dimenzovaných soustrojí.

$$P = (5až7) \cdot Q \cdot H \text{ [kW]} \quad (1.2)$$

Pokud zvolíme hodnotu koeficientu 6 a budeme brát v úvahu střední hodnotu průtoku elektrárnou v podobě $Q = Q_{120}$, dostaneme po dosazení do vzorce 1.2 výkon pro Köglerův mlýn v podobě:

$$P = 6 \cdot 0,147 \cdot 3 = 2,65 \text{ kW}$$

V případě Cvrčkova mlýna se dopracujeme k hodnotě 4,8 kW a u MVE Chlumský mlýn pak 13,8 kW. Ani v jednom z případů se samozřejmě nejedná a nijak závratná čísla, kdy navíc vzhledem k mnoha zanedbaným faktorům tyto hodnoty spíše představují maximální dosažitelné výkony v případě ideální přeměny energie. Snadno dojdeme k závěru, že budovat v této oblasti zcela nové dílo v případě výkonových poměrů prvních dvou zmíněných MVE, by nebylo ekonomicky výhodné. V případě rekonstrukce je otázka výhodnosti investice aktuálnější, jelikož vstupní výdaje do těchto děl jsou v porovnání s novými elektrárnami podstatně menší. [1][2]

1.3 Předběžné koncepční řešení

Vzhledem k zachovalému náhonu a danému umístění případné MVE na místě původní elektrárny, kdy by výsledný spád byl 3m, bude v případě Köglerova mlýna nejdůležitějším faktorem, ovlivňující výsledný výkon, volba turbíny. S ohledem na velikost spádu se v tomto případě nabízejí dvě možnosti, a to Kaplanova nebo Bánkiho turbína. Ovšem z důvodu složité konstrukce první jmenované, a tím také spojené vyšší pořizovací ceně, by pravděpodobně v tomto případě vyhovovala spíše turbína Bánkiho. Té lze využít již od průtoků $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ a často se lze setkat i s dělením jejího oběžného kola, nejčastěji na tři části, které tak poskytuje vysokou účinnost turbíny v širším rozsahu průtoků. Pokud bychom zvolili levnější variantu s jednoduchým oběžným kolem Bánkiho turbíny s hltností 150 l/s, což je zhruba hodnota 120denního průtoku Köglerůva mlýna, mohla by být elektrárna v provozu již od hltnosti 30 l/s, tedy od 20% kapacity dané Bánkiho turbíny. To by znamenalo provoz přibližně 300 dní v roce s účinností turbíny přibližně 70%.

V případě Cvrčkova mlýna je tato volba již předurčena vzhledem k zachovalému soustrojí dvou Bánkiho turbín, které umožňují rozsáhlé využití kolísavého průtoku přibližně od 52 l/s do 520 l/s vždy s využitím jedné či obou turbín zároveň v závislosti na průtoku. Elektrárna by tak byla provozuschopná více než 300 dní v roce, ale plné kapacity kombinace obou turbín by bohužel využívala jen asi 50 dní v roce, takže celková účinnost soustrojí by byla podstatně menší než v případě koupě stejného typu turbín o menších hltnostech.

Ovšem vzhledem k výkonovým poměrům zmíněných děl se zaměříme na to, které se zdá k investici ekonomicky nejefektivnější – tedy jednoznačně MVE Chlumský mlýn. Vzhledem

k průtokovým poměrům se jako vhodná volba jeví opět využití soustrojí dvou Bánkiho turbín například v kombinaci hltností 250 l/s a 400 l/s. Elektrárna by tak byla schopna provozu již od 50 l/s a zároveň by využila dostatečný poskytovaný průtok při relativně vysoké účinnosti. Bohužel původní stavba poskytuje jen omezené množství místa, a tak by v případě jen minimální investice do přestavby bylo nutné spokojit se pouze s jednou turbínou omezené velikosti. Pokud bychom opět zvolili Bánkiho turbínu, která by neměla dělené oběžné kolo, nebylo by vzhledem k charakteru průtoků vhodné dimenzovat ji na 120denní průtok. Pro využití nižších průtoků, aby byla elektrárna v provozu po většinu roku, by proto bylo třeba volit maximální hltnost blízkou 150 až 180dennímu průtoku, tedy například 450 l/s nebo 500 l/s. MVE by tak splňovala provoz minimálně 300 dní v roce (v případě hltnosti 500 l/s) s účinností turbíny okolo 70 %. Bánkiho turbína sice dosahuje účinnosti až kolem 75 %, ale při plné hltnosti tato účinnost klesá opět k hodnotám okolo 70 %.

Přibližný instalovaný výkon elektrárny můžeme určit následně určit pomocí vztahu 1.3, který na rozdíl od vztahu 1.2 již počítá již s účinností konkrétního soustrojí.

$$P = 9,81 \cdot H \cdot Q \cdot h \quad [kW] \quad (1.3)$$

kde h = celková účinnost soustrojí [-]

Po dosazení za účinnost v podobě 70 % příslušné Bánkiho turbíny a průtoku v podobě maximální hltnosti 500 l/s dostaneme hodnotu maximálního instalovaného výkonu elektrárny v podobě 12 kW. Musíme však opět počítat s dalším snížením účinnosti zapříčiněným převody či generátorem, nemluvě o ne vždy bezporuchovém provozu. Proto je vždy vhodné pečlivě zvážit všechny možnosti, ať už se jedná o rozhodování nad koupí dražší a účinnější turbíny, nebo i nad možností kompletní přestavby a rozsáhlejších investic za účelem navýšení celkového výkonu elektrárny. Parametry jednotlivých komponentů využívaných MVE a porovnání různých řešení provedení pro jednu lokalitu jsou předmětem dalších částí této práce.

2 Zařízení pro MVE

Za několik posledních let došlo v oblasti trhu se zařízením pro malé vodní elektrárny z hlediska nabídky k podstatnému posunu. Oproti situaci, kdy vzhledem k nedostatku výrobců bylo vcelku běžné obstarat si potřebný materiál a vyrobit například konstrukčně jednoduchou Bánkiho turbínu po domácku, dnes trh nabízí nepřeberné množství variant jednotlivých komponentů a nejtěžším úkolem investora se tak stává právě volba konkrétního dodavatele či firmy pro realizaci projektu.

2.1 Výrobci komponent pro MVE

V České republice představují nabídku se zařízením pro MVE téměř dvě desítky firem. Vzhledem k současné možnosti využití služeb zahraničních výrobců, jež mají působnost i v České republice nebo v blízkém pohraničí, stává se výběr o to pestřejší, nicméně složitější.

Jednotliví výrobci se samozřejmě liší ať už cenovými relacemi, sortimentem poskytovaného zařízení a jeho specifikacemi, tak i druhem a zaměřením poskytovaných služeb. Některé se tak specializují pouze na poradenské služby či poskytování jen některých částí soustrojí, jiné poskytují stavbu elektráren „na klíč“ a výjimkou nejsou ani firmy zaměřené výhradně na rekonstrukci starších vodních děl. Před volbou služeb konkrétního výrobce je proto vhodné udělat si alespoň základní přehled dostupných možností na trhu.

CINK Hydro-Energy k.s.

Jedná se o českou firmu s několikaletou zkušeností v oboru, jež působí i v zahraničí. Zabývá kompletní výstavbou malých a středních vodních elektráren. Zajišťuje dodávku kompletní technologie spolu s nabídkou výroby turbín na míru, z nichž má v nabídce průtokový typ Crossflow, dále Francisovy, Kaplanovy a Peltonovy turbíny a to do výkonu 3 MW. Kompletní objednávka MVE zahrnuje potřebné plánování a projektování, čistící stroj česlí s příslušenstvím, uzavírací klapky náhonu a by-passu, vhodnou turbínu, generátor, převody, rozvaděče, hydraulické systémy, řídicí systémy a veškeré potrubní či ocelové konstrukce. Následná montáž veškerého zařízení je samozřejmostí.

Zajímavostí společnosti je, že se jako jedna z mála na světě specializuje zároveň na turbosoustrojí pro systémy pitných a odpadních vod. Konstrukce Francisovi a Crossflow turbíny je pro tyto případy ideální, jelikož nezpůsobuje významné hydraulické rázy v potrubí. Ekonomická návratnost těchto projektů je v současné době pohybuje mezi dvěma až pěti lety.

Zajímavou možností pro oblast proměnlivých průtoků představuje turbína Ossberger, jež má firma také v portfoliu a mohla by představovat ideální řešení pro případ stavby nové MVE

v této práci popisované lokalitě Křemežského potoka. V následující části kapitoly, jež se zabývá srovnáním jednotlivých komponent, bude tento typ turbíny popsán detailněji. [8]

ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o.

Dceřiná společnost firmy ČKD BLANSKO HOLDING, k.s., jež se s více než stoletou tradicí pohybuje v oblasti vodních turbín, pro své výrobky našla uplatnění po celém světě.

Základním zaměřením je výroba turbín tzv. na klíč s veškerým strojním a elektrickým vybavením pro malé vodní elektrárny. V nabídce jsou hlavní typy turbín Francis, Kaplan či Pelton v horizontálním i vertikálním uspořádáním. Co se týče výkonu těchto komponent, nalezneme v portfoliu turbíny od 200 kW do 25 MW.

Uzávěry, stavidla, hradidla a jiná hydrotechnická zařízení jsou také součástí výrobního programu výrobce. [9]

DUMAT soukromý podnik, v.o.s.

Jedná se rovněž o českou firmu, která se zabývá zejména návrhem, výrobou a následným automatickým řízením či programováním procesorů strojů pro různorodé účely.

Spolu se zaměřením výroby na vodní turbíny Bánki a semi-Kaplan do výkonu 100 kW se společnost zabývá kompletní dodávkou a projektovou činností technologické části MVE. Mimo jiné se zabývá i opravami a rekonstrukcí MVE jako celku či jejich jednotlivých částí. [10]

EXMONT - Energo, a.s.

Česká firma s více než 20-ti letou tradicí vznikla původně za účelem poskytování oprav různorodých elektrických strojů. Postupem času byl výrobní program předimenzován a společnost poskytuje kompletní služby v oblasti elektromotorů, generátorů a vodních či parních turbín. Spolupráce s katedrou vodních strojů při VUT Brno zajišťují neustálou modernizaci a kvalitu výroby.

Portfolio společnosti také kromě všech základních typů vodních turbín nabízí široké příslušenství MVE. V nabídce jsou vtokové česle včetně jejich čistících strojů, stavidla hradící systémy, trubkování či regulační systémy vodních turbín.

Firma vyhotovuje i základní projektové práce pro MVE a kromě výroby poskytuje také opravy a rekonstrukce starších strojů. [11]

HYDROHROM, s.r.o.

Ústřední činností společnosti s více než 20-ti letou tradicí a působností i na zahraničním trhu je výroba široké škály turbín typu Francis, Kaplan a Pelton a dodávka veškerého technologického zařízení pro vodní elektrárny. Se specializací na MVE firma poskytuje elektrárny tzv. „na klíč“. Kromě základních technologií je poskytována i projektová

dokumentace či široké příslušenství vodních děl v podobě vtoků, stavidel, kontrolních panelů či hrabacích strojů. Mimo jiné lze využít i servisní služby, poskytování renovace starších vodních elektráren či poradenství v oboru. Při tvorbě dokumentace projektu, zpracování samotného návrhu či podkladů pro stavební a jiná povolení využívá společnost spolupráce s firmou HYDROKA Praha. [12]

MAVEL a.s.

Společnost založená v České republice, jež působí po celém světě, se zabývá výrobou vodních turbín a kompletního příslušenství vodních elektráren v rozsahu výkonů od 3 kW do 30 MW. Poskytované služby zahrnují počáteční analýzu proveditelnosti, projektovou dokumentaci, zakázkovou výrobu, samotnou montáž zařízení či jeho rekonstrukci, ale také například stanovení alternativ pro financování projektu.

Součástí výrobního plánu jsou turbíny typu Francis, Kaplan, Pelton, či mikro turbíny. Z příslušenství například stavidla, trubkování, česle včetně jejich čistících strojů, čerpadla, veškeré elektro-technické vybavení a jiné. Stejně jako předchozí výrobci i MAVEL a.s. poskytuje generální opravy a rekonstrukce starších vodních děl. [13]

P&S a.s.

Prostředkem zájmu společnosti je výroba a dodávka vodních turbín a jiných zařízení vodních elektráren spolu s různými druhy čistících strojů česlí, protipovodňových uzávěrů, jezových klapků a dalších vodohospodářských zařízení. V případě MVE jsou poskytovány poradenské služby včetně doporučení lokality, koncepční studie, ekonomického zhodnocení stavby, veškeré potřebné dokumentace včetně potřebných povolení či investorské činnosti. Z vyráběných turbín je nabízen typ Bánki a vrtulové přímoproudé turbíny typu Kaplan. V neposlední řadě společnost nabízí také rekonstrukce a opravy vodních turbín. [14]

SH Control s.r.o.

Společnost se pohybuje především v oblasti programového vybavení pro řídicí systémy v petrochemického a teplárenského zaměření. Mimo jiné se však věnuje již od svého vzniku před dvaceti lety také řízení MVE, pro které vyvíjí vlastní řídicí systémy a pomocná zařízení či ochrany. V nabídce firmy je jak komplexní dodání technologického zařízení MVE „na klíč“, tak i možnost objednávky jednotlivých technologií jako například hladinové či výkonové regulace, řízení čištění česlí, optimalizace chodu turbín, dálkové ovládání přes internet či skrze GSM komunikace a jiné. [15]

ZIROMONT spol. s.r.o.

Za devadesát let své působnosti v oblasti vodních turbín pro MVE se této české firmě podařilo prorazit i na zahraničním trhu. Nabízí vlastní prototyp kompaktní plně regulované

přímoproudé turbíny s využitím pro spády do 10 metrů a větší průtoky. Na tento typ turbíny dále navazují další stroje výrobního programu v široké škále velikostí či stupňů regulace. Mimo tyto se výrobní program zaměřil také na vývoj a produkci mikrozdvořů.

Společnost nabízí poradenství, vypracování kompletní projektové dokumentace a plně technologické provedení vodní elektrárny. [16]

2.2 Porovnání komponent

V případě, že se nechystáme stavět zcela novou MVE, ale máme v plánu rekonstruovat stávající dílo, je na místě udělat si přehled o poskytovaných službách výrobců z hlediska jednotlivých komponentů, které budeme potřebovat. Výhoda tohoto zmapování tkví v tom, že společnost zabývající se například pouze výrobou jednoho typu turbíny, který shledáme jako vhodný pro naše rekonstruované dílo, může díky specializaci tento komponent poskytnout v kýženém provedení a často i s nižší pořizovací cenou. Bohužel údaje o cenových relacích u většiny firem nejsou k dispozici až do bližšího jednání o konkrétním projektu, a tak je nutné se prvotně řídit při výběru dodavatele zejména porovnáním parametrů daného komponentu od více výrobců s těmi, které požadujeme.

2.2.1 Vodní kola

Ani dnes tyto vodní stroje nelze považovat za technicky zastaralé. Jejich největší výhodou je možnost využití i těch nejnižších užitných spádů. Co se týče realizace dnešních projektů, jsou v jejich kontextu zmiňována především lopatková vodní kola, která využívají spádu i okolo 0,1 m. Za této skutečnosti se jejich účinnost pohybuje sice v oblasti 20 %, ale se zvyšující se hodnotou spádu lze dosáhnout účinnosti vodního kola 70 nebo až 80 %.

Společnými znaky všech typů vodních kol jsou pak především provozní spolehlivost, výrobní jednoduchost spojená s relativně nízkou pořizovací cenou, snadná opravitelnost. Velkou nevýhodou jsou ovšem malé provozní otáčky, které kvůli odstředivé síle, kvůli níž by se voda vylévala z lopatek kola, nemohou být zvětšeny. Proto je nutné řešení v podobě převodů do rychla, na nichž se bohužel ztrácí velká část energie a účinnost je tak výrazně snížena.

V České republice se výrobou vodních kol zabývá jen několik soukromníků.

Truhlářství Karel Kopečný, Olomouc

V nabídce firmy jsou konečnicková vodní kola s vrchním nátokem s využitím pro spády maximálně do 4 m s šířkou do 1,2 m. Dále je možná výroba vodních kol na střední a spodní vodu a to do průměru 3,5 m.

Následující tabulka obsahuje přehled rozměrů konečnickových kol běžné výroby.

| H [m] | D [m] | d [m] | h ₁ [m] | s [m] | lop. [ks] | n [ot./min.] | Q ₁ [l/s] | P ₁ [W] |
|----------|----------|----------|-----------------------|----------|--------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| 1,6 | 1,31 | 0,91 | 0,24 | 0,037 | 24 | 14,6 | 60 | 691 |
| 1,8 | 1,51 | 1,11 | 0,24 | 0,037 | 24 | 12,7 | 60 | 778 |
| 2 | 1,71 | 1,27 | 0,24 | 0,04 | 28 | 11,2 | 66 | 950 |
| 2,2 | 1,91 | 1,47 | 0,24 | 0,04 | 28 | 10 | 66 | 1 045 |
| 2,4 | 2 | 1,56 | 0,35 | 0,04 | 28 | 11,4 | 79 | 1 369 |
| 2,6 | 2,14 | 1,62 | 0,41 | 0,048 | 30 | 11,6 | 101 | 1 898 |
| 2,8 | 2,34 | 1,82 | 0,41 | 0,048 | 32 | 10,6 | 101 | 2 044 |
| 3 | 2,54 | 2,02 | 0,41 | 0,048 | 32 | 9,8 | 101 | 2 190 |
| 3,2 | 2,74 | 2,22 | 0,41 | 0,048 | 36 | 9,1 | 101 | 2 336 |
| 3,4 | 2,94 | 2,42 | 0,41 | 0,048 | 36 | 8,4 | 101 | 2 482 |
| 3,6 | 3,08 | 2,48 | 0,47 | 0,055 | 36 | 8,7 | 1,26 | 3 266 |
| 3,8 | 3,21 | 2,61 | 0,54 | 0,055 | 38 | 8,9 | 135 | 3 694 |

Tab. 4: Základní parametry korečnickového kola

kde:

| | |
|----------------|-------------------------------------------------|
| H | jmenovitý spád [m] |
| D | vnější průměr kola [m] |
| d | vnitřní průměr kola [m] |
| h ₁ | vrchol kola pod hladinou [m] |
| s | jmenovité zdvižení stavidla [m] |
| lop. | minim. počet lopatek [ks] |
| n | otáčky kola za [ot./min.] |
| Q ₁ | jmenovitý průtok přes kolo o šíři 1 m [l/s] |
| P ₁ | jmenovitý výkon kola o šíři 1 m na hřídeli [ks] |

Daný typ kola dosahuje účinnosti 65 až 80 % při plnění od 10 do 120 % v závislosti na řemeslném a materiálovém provedení. Jedná se o nejrychloběžnější vodní kolo se spolehlivým chodem i v případě velkého kolísání průtoku. Díky jednoduché konstrukci jsou pořizovací náklady velmi nízké a je často vyráběno i bez pomoci profesionálů.

Dalšími firmou zabývající se výrobou vodních kol je HOLZ servis s.r.o. sídlící Kunžaku. Jejich výroba není nijak specializovaná dle typu či velikosti vodního kola, takže se jedná čistě o výrobu dle požadavků klienta na zakázku.

Další možností je využití služeb aut. Ing. Přemysla Sochy – pro stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství, jež se specializuje na návrh MVE s vodními koly. Poskytuje zdarma předběžné zhodnocení a hrubý návrh řešení zdarma načež probíhá spolupráce se sekerníky či zahraničními výrobci vodních kol na zakázku. [17][18][19][20]

2.2.2 Vodní turbíny

Jedná se takřka o nejdůležitější komponent MVE, od něž se odvozují parametry dalších strojních zařízení, a rozhoduje tak o velikosti výsledného výkonu. Výběr odpovídajícího typu turbíny a jejích parametrů vzhledem k hydrologickým podmínkám v lokalitě elektrárny je proto při výběru komponentů jednou z hlavních priorit.

V oblasti turbín je nabídka na domácím trhu velmi pestrá, jelikož se na jejich výrobu specializuje hned několik tuzemských firem, z nichž některé vyvíjí i vlastní prototypy těchto vodních strojů. Při výběru musíme zvažovat především velikost spádu, průtoku a charakter vodního toku. Každý typ vodní turbíny je totiž ideálně dimenzován na jiné podmínky a například užití turbíny, která je schopna pracovat jen ve větší oblasti hltnosti na toku s velmi kolísajícím průtokem, by nebylo ekonomicky příhodné.

2.2.2.1 Bánkiho turbína

CINK Hydro-Energy k.s.

Vlastní výroba Bánkiho turbín Cink-Banki byla přerušena v roce 2005, ale firma nadále dodává veškeré náhradní díly a provádí opravy těchto turbín. Z hlediska parametrů se jedná o turbíny pro spády od 1,5 do 100 m s šíří oběžného kola od 3 cm do 3,15 m a průměry oběžného kola 150, 250, 340, 390, 450, 600 a 960 mm. [8]

P&S a.s.

Turbína je dodávána s vlastními konstrukčními úpravami s ručním ovládáním nebo plně automatickou regulací s využitím pro spády přibližně od 4 do 20 m. K dispozici jsou turbíny s průměrem rotoru 340 a 600 mm, kdy každý typ je vyráběn v několika základních provedeních. Turbína s průměrem rotoru 340 mm je k dostání se šíří oběžného kola 170, 340, 510 a 680 mm, s průměrem rotoru 600 mm pak 300, 500, 900, 1200 a 1500 mm. [14]

DUMAT soukromý podnik, v.o.s.

V nabídce jsou Bánkiho turbíny ve dvou provedeních s průměrem oběžného kola 265 a 360 mm s šíří oběžného kola v závislosti na konkrétní lokalitě od 200 do 450 mm. Bánkiho turbíny jsou navrhovány jen pro vyšší spády od 4 m a to s cenou od 200 tisíc Kč. [10]

Následující tabulka obsahuje přehled parametrů nabízených turbín typu Bánki.

| | CINK Hydro-Energy k.s. | Dumat soukromý podnik, v.o.s. | P & S a.s. |
|------------------------|------------------------|-------------------------------|------------|
| H [m] | 1,5 - 100 | nad 4 | 4 - 20 |
| průměr o.k. [m] | 150 - 960 | 265, 360 | 340, 600 |
| šíře o.k. [m] | 30 - 3150 | 200 - 450 | 170 - 1500 |
| cena [Kč] | - | od 200 tis. | - |

Tab. 5: Porovnání parametrů turbín typu Bánki

2.2.2.2 Průtoková turbína Ossberger

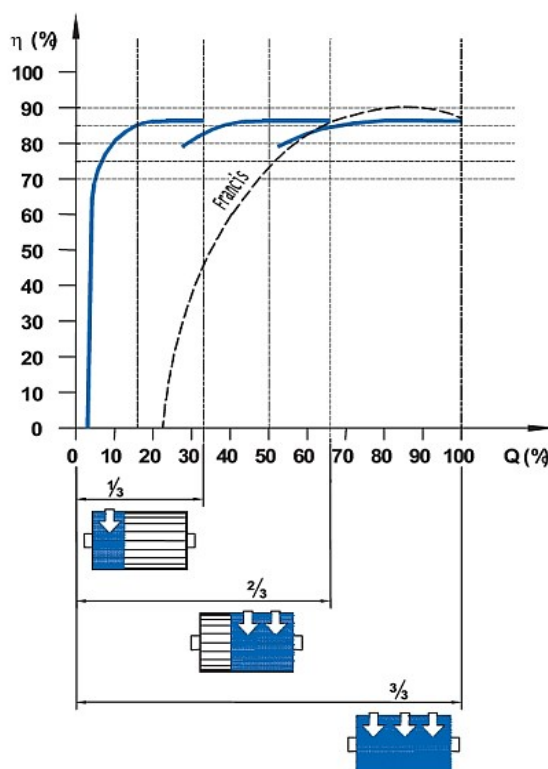
CINK Hydro-Energy k.s.

Jedná se prakticky o podobu turbíny typu Bánki, která se však výrazně odlišuje dispozicí děleného oběžného kola. Výroba tohoto typu je vždy individuální vzhledem k daným podmínkám lokality. Jedná se o radiální, mírně přetlakovou turbínu s horizontální hřídelí a tangenciálním ostřikem lopatek oběžného kola.

Oblast použití:

- Spád $H = 3 - 200$ m
- Průtok $Q = 0,03 - 13$ m³/s
- Výkon $P = 5 - 3000$ kW

V případě proměnlivého průtoku se dělí oběžné kolo na dvě části a to většinou v poměru 1:2, kdy v případě menšího průtoku vodu zpracovává užší nátoková komora a naopak při větším průtoku komora širší nebo obě zároveň. Množství vody dané hltnosti turbíny díky tomuto lze využít až do 1/6 při optimální účinnosti kolem 80 %. U malých spádů a výkonů tak lze dosáhnout průměrné účinnosti až 84 %. Následující obrázek naznačuje výhody dělení oběžného kola průtokové turbíny Ossberger z hlediska účinnosti v porovnání s kaplanovou turbínou, jež se vyznačuje špičkovým stupněm účinnosti.



Obr. 2: Průběh účinnosti turbíny Ossberger v porovnání s Kaplanovo turbínou

Mezi výhody této turbíny patří bezúdržbová a hlavně dlouholetá životnost, snadné opravy, možnost využití v systémech pitné vody a relativně jednoduchá konstrukce související s nižšími pořizovacími náklady. [8]

2.2.2.3 Francisova turbína

CINK Hydro-Energy k.s.

V současné době firma nabízí provedení tohoto typu turbíny jak s horizontálním, tak i vertikálním uložením hřídele, a to pouze pro vyšší spády od 50 do 150 m s minimálním průtokem 120 – 430 l/s do výkonu až 3 MW. Lopatky i kola jsou vyráběny z nerezové oceli se speciálním nátěrem pro případ provedení pro pitnou vodu. Oběžné kolo se umísťuje přímo na hřídel generátoru, na přání zákazníka je pak možná i varianta se spojkou a vlastním ložiskováním. [8]

ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o.

Výrobní program zahrnuje vertikální i horizontální provedení pro spády od 10 do 300 m s průměry oběžného kola od 400 do 1600 mm. To vše ve výkonových relacích od 200 do 6000 kW. V nabídce je spirálové provedení i reverzní Francisovy turbíny pro přečerpávací elektrárny. [9]

HYDROHROM, s.r.o.

V nabídce je jak vertikální tak i horizontální provedení turbíny a to pro spády od 20 do 100 m s nominálním průtokem do 2000 l/s. Navrhovány jsou pouze s přímým spojením na generátor a to s vlastním uložením nebo s oběžným kolem přímo na hřídeli generátoru. V závislosti na přívodu turbína disponuje setrvačником či klapkovým uzávěrem. PLC systém řídí činnost turbín a mechanické části jsou ovládány pomocí hydrauliky. [12]

Strojírny Brno, a.s.

Firma vyrábí horizontální provedení turbíny pro spády od 9 m do 150 m s šíří oběžného kola od 0,3 m do 1,5 m. Dále je vyráběno i vertikální provedení pro spády od 3 m do 200 m s průměrem oběžného kola od 1 m do 2,5 m.

Tabulka na následující straně obsahuje souhrn parametrů nabízených turbín typu Francis od uvedených výrobců. [21]

| | H [m] | průměr o.k. [m] | Q_{\min} [l/s] | P [kW] | provedení |
|-------------------------------|----------|-----------------|------------------|-------------|-----------------------------|
| CINK Hydro-Energy k.s. | 50 - 150 | - | 120 - 430 | do 3000 | horizontální, vertikální |
| ČKD Blansko SH, s.r.o. | 10 - 300 | 400 - 1600 | - | 200 - 16000 | horizontální, vertikální |
| Hydrohrom, s.r.o. | 20 - 100 | - | do 2000 | do 1000 | horizontální, vertikální |
| Strojírny Brno, a.s. | 9 - 150 | 300 - 1500 | - | - | horizontální |
| | 3 - 200 | 1000 - 2500 | - | - | vertikální |

Tab. 6: Srovnání parametrů turbín typu Francis

2.2.2.4 Kaplanova turbína

CINK Hydro-Energy k.s.

Ve výrobě je jak přímoproudé horizontální, tak kašnové-vertikální provedení, a to pro spády od 1 m do 18 m a to až do výkonu 3 MW. K dispozici jsou turbíny se čtyřmi nebo pěti lopatkami vyráběnými z bronzu či nerezové oceli s celkovou šíří konstrukce turbíny od 500 do 3200 mm. Z pohledu převodu je na výběr provedení TKP, které disponuje čelní převodovkou a generátor je umístěn ve středovém obtékaném pilíři nebo provedení AD a RD s usměrněným převodem s plochým řemenem. [8]

ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o.

V nabídce jsou jak horizontální tak i vertikální provedení pro spády od 2 do 40 m o výkonech od 200 do 6000 kW. Firma vyrábí k typy spirálové, kašnové, šachtové, kolenové, s obtékaným generátorem a Saxo. Oběžná kola jsou dodávána s průměrem 500 až 3000 mm. Počet oběžných lopatek, které jsou v nabídce buď pevné, nebo regulovatelné, se pohybuje v rozmezí 3 až 6. [9]

DUMAT soukromý podnik, v.o.s.

Výroba zahrnuje typ Semi-Kaplan s regulací rozváděcího kola a oběžného kola za klidu a dále typ Kaplan s plnou regulací. Turbíny jsou vyráběny celooceľové v osmi základních velikostech oběžného kola, a to 345, 475, 600, 640, 690, 800, 1000 a 1900 mm ve výkonových relacích do 100 kW. Cena těchto turbín se pohybuje v závislosti na konstrukčním řešení od 500 000 Kč. [10]

HYDROHROM, s.r.o.

Firma vyrábí tento typ turbíny v provedení horizontální-S typu Semi-Kaplan, horizontální-S Kaplan, vertikální Kaplan a Z-Kaplan. Ty jsou navrhovány pro spády od 1,5 do 20 m. Horizontální-S provedení Semi-Kaplan disponuje pevnými rozváděcími lopatkami, regulací oběžného kola a navrhuje se pro menší spády často při opravách starších děl, jež dříve využívala vertikální Francisovu turbínu, jelikož dosahuje vyšší účinnosti. Instaluje se

bud' v přímém spojení s generátorem, nebo s řemenovým převodem.

Horizontální-S Kaplan provedení se naopak navrhuje až od 3,5 m spádu. Provádí se s regulací oběžného i rozváděcího kola výhradně v provedení přímého spojení na generátor.

Vertikální provedení turbíny nachází uplatnění při rekonstrukcích starších vodních elektráren, je řešena jako monoblok a taktěž disponuje regulací oběžného i rozváděcího kola. Provádí se jak s přímým spojením na generátor, tak i s řemenovým převodem. Typ Z-Kaplan má podobné uplatnění, ale instaluje se výhradně s přímým spojením na generátor. Řízení turbín je zprostředkováno skrze PLC systém, mechanika pak hydraulikou. [12]

MAVEL a.s.

Výroba zahrnuje jak horizontální, tak i vertikální provedení turbín pro spády až do 30 m v provedení S-Kaplan, spirálovém, šachtovém či s obtékaným generátorem (OG). Turbíny disponují třemi až šesti oběžnými lopatkami s jednoduchou nebo dvojitou regulací. [13]

P&S a.s.

Výrobní program zahrnuje 2 typy kaplanovy turbíny. Prvním je turbína horizontální přímoproudá řady VC 1220 určená pro spády od 1,7 m do 3,5 m s výkonem až 150 kW a průtokem do 5920 l/s. Druhým typem je Kaplanova kolenová turbína 3TH určená pro nižší a střední spády. Vyrábí se ve třech rozměrech oběžného kola se šíří 500, 750 a 1130 mm. [14]

Strojírny Brno, a.s.

Společnost nabízí horizontální provedení přímoproudé s úplnou regulací, disponující oběžným kolem o šíři 0,5 m až 3,5 m a počtem lopatek od 2 do 5. Tento typ je navrhován pro spády od 1 m do 15 m. Dále je v nabídce i vertikální provedení s ocelovou či betonovou spirálou opět s úplnou regulací. Průměr oběžného kola se u toho typu pohybuje opět od 0,5 m do 3,5 m a počet lopatek činí 4 nebo 5. Turbíny tohoto typu jsou navrhovány pro spády od 2 m do 25 m. [21]

ZIROMONT spol. s.r.o.

Výrobní program zahrnuje přímoproudý typ turbíny s diagonálním rozváděcím nebo axiálním oběžným kolem, nejčastěji s řemenovým převodem a pro spády od 2 m do 10 m. Hltnost turbín se pohybuje od v rozmezí 400 – 10 500 l/s a výkon turbín od 15 do 500 kW.

Souhrn parametrů nabízených turbín typu Kaplan od jednotlivých výrobců je shrnut v tabulce 7. [16]

| | H [m] | průměr o.k. [mm] | P [kW] | uspořádání | provedení |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
| CINK Hydro - Energy k.s. | 1 - 18 | 500 - 3200 | do 3000 | horizontální | přímoproudé |
| | | | | vertikální | kašnové |
| ČKD Blansko SH, s.r.o. | 2 - 40 | 500 - 3000 | 200 - 6000 | horizontální, vertikální | spirálové, kašnové, šachtové, OG, kolenové, Saxo |
| Dumat, v.o.s. | - | 345 - 1900 | do 100 | horizontální, vertikální | Semi-Kaplan, Kaplan |
| Hydrohrom, s.r.o. | 1,5 - 20 | - | - | horizontální, vertikální | S-Kaplan, spirálové, šachtové, OG |
| Mavel, a.s. | do 30 | - | - | horizontální, vertikální | S-Kaplan, spirálové, šachtové, OG |
| Strojírny Brno, a.s. | 1 - 15 | 500 - 3500 | - | horizontální | přímoproudé |
| | 2 - 25 | 500 - 3500 | - | vertikální | - |
| P&S a.s. | 1,7 - 3,5 | 1220 | do 150 | horizontální | přímoproudé |
| | od 1 | 500, 750, 1130 | - | | S-Kaplan 3TH |
| Ziromont spol. s.r.o. | 2 - 10 | - | 15 - 500 | horizontální | přímoproudé |

Tab. 7: Srovnání parametrů turbín typu Kaplan

2.2.2.5 Peltonova turbína

CINK Hydro-Energy k.s.

V nabídce je turbína horizontální a to v 1 – 2 dýzovém uspořádání a provedení vertikální s 1 – 6 dýzovým uspořádáním, a to pro spády od 100 do 500 m s výkonem do 3 MW. Dýzy jsou konstruovány ve čtyřech základních provedeních s průměry 32, 50, 63 a 80 mm. Při vysokých tlacích či u dlouhých potrubí se provádí s deflektorem, možná je i varianta s elektrickou regulací. [8]

ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o.

Výroba zahrnuje turbíny horizontální s maximálně dvěma dýzami a vertikální s až šesti dýzami. Ty jsou navrhovány jen pro vyšší spády od 70 do 800 m s průměrem oběžného kola 500 až 1500 mm ve výkonových relacích od 300 do 25000 kW. Vícedýzové provedení zahrnuje koaxiální dýzy hydraulicky ovládané. [9]

HYDROHROM, s.r.o.

Firma nabízí horizontální i vertikální provedení pouze s přímým spojením na generátor pro vyšší spády od 30 do 500 m. V horizontálním provedení lze oběžné kolo instalovat i s vlastním uložením, ale ve většině případů je přímo na hřídeli generátoru. Horizontální provedení disponuje jednou nebo dvěma tryskami a lze použít i v potrubních systémech. Lze ovládat hydraulicky či elektromechanicky. Vertikální turbína Pelton je vyráběna ve čtyř nebo pětitryskovém provedení. Řízení i možnost využití v potrubních systémech odpovídá

provedení horizontálního. [12]

MAVEL a.s.

Společnost vyrábí turbíny s využitím spádu až 1000 m v provedení horizontálním i vertikálním do instalovaného výkonu až 30 MW na jednotku. Počet trysek se pohybuje od jedné do šesti. [13]

Strojírny Brno, a.s.

V nabídce je horizontální provedení pro spády od 35 m do 250 m s průměrem oběžného kola od 0,4 m do 1,5 m. Vyhotovení je jednodýzové nebo dvoudýzové. Naproti tomu vertikální provedení, jež je také obsahem výroby, disponuje 1 až 5 dýzami s oběžným kolem o průměru od 0,4 m do 2 m. Tento typ je dimenzován především pro vyšší spády od 75 m až do 400 m. [21]

Následující tabulka obsahuje shrnutí parametrů turbín typu Pelton od jednotlivých výrobců.

| | H [m] | průměr dýzy [mm] | P [kW] | uspořádání | počet dýz |
|---------------------------------|-----------|------------------|-------------|-----------------------------|-----------|
| CINK Hydro - Energy k.s. | 100 - 500 | 32, 50, 63, 80 | do 3000 | horizontální | 1 - 2 |
| | | | | vertikální | 1 - 6 |
| ČKD Blansko SH, s.r.o. | 70 - 800 | 500 - 1500 | 300 - 25000 | horizontální | 1 - 2 |
| | | | | vertikální | 1 - 6 |
| Hydrohrom, s.r.o. | 30 - 500 | - | do 10000 | horizontální | 1 - 2 |
| Mavel, a.s. | do 1000 | - | do 30000 | horizontální, vertikální | 1 - 6 |
| Strojírny Brno, a.s. | 35 - 250 | 400 - 1500 | - | horizontální | 1 - 2 |
| | 75 - 400 | 400 - 2000 | - | vertikální | 1 - 5 |

Tab. 8: Srovnání parametrů turbín typu Pelton

2.2.2.6 Turbína microcross

CINK Hydro-Energy k.s.

Jedná se o cenově přijatelný, robustní typ turbíny pro oblasti velmi malých výkonů, který i při značném kolísání průtoku dosahuje vysoké účinnosti a je vhodný jak pro paralelní provoz se sítí, tak i pro samostatný provoz.

Turbína (Obr.2) je vyráběna ve výkonových relacích od 5 kW do 35 kW pro nominální průtok od 30 l/s do 200 l/s a spád 2 m – 60 m. Regulační klapka zajišťuje v rozsahu plnění 40% – 100% účinnost až 80 %. S průměrem oběžného kola 200 mm, které disponuje samočisticí schopností, jsou vyráběny tři typové řady s šíří oběžného kola o velikostech 125, 250 a 375 mm. Spojení s generátorem je zajištěno přes spojku nebo skrze řemenový převod s klínovými řemeny.

Tab. 9 uvádí přehled parametrů turbíny Microcross, které nabízí výrobní program společnosti. [8]



Obr. 3: Turbína Microcross od společnosti CINK Hydro-energy k.s.

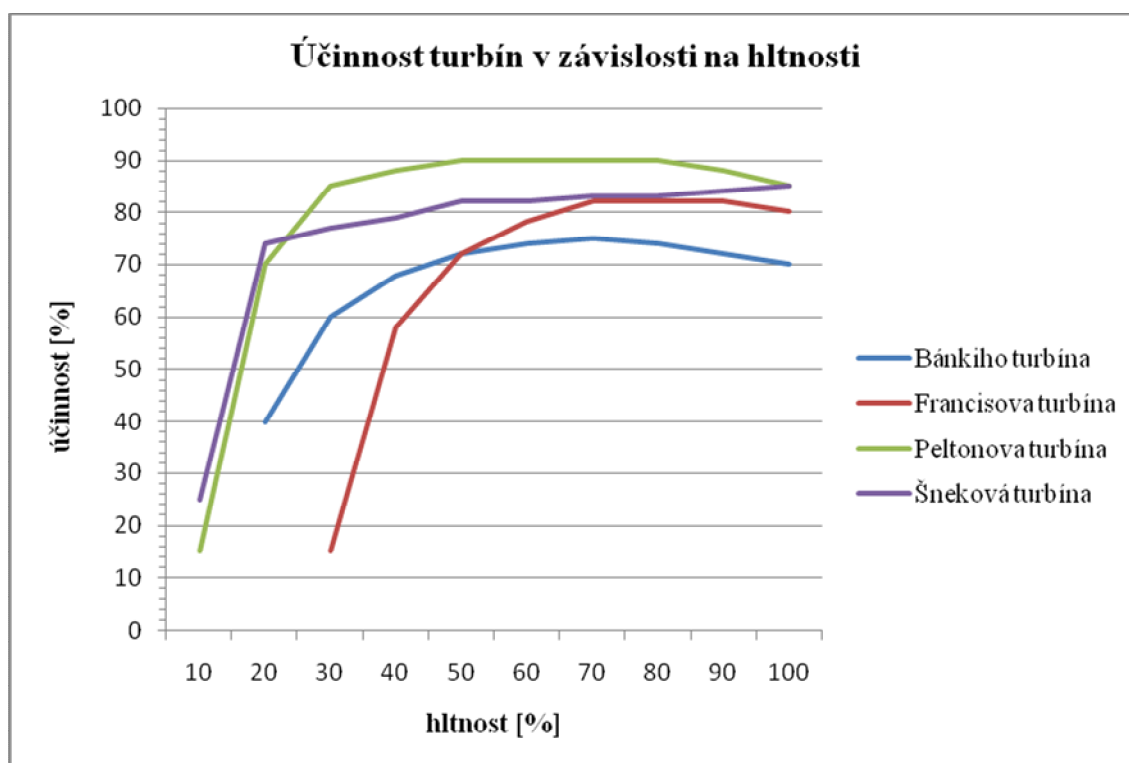
| | CINK Hydro-Energy k.s. | | |
|------------------|------------------------|----------|-----------|
| průměr o.k. [mm] | 200 | | |
| šíře o.k. [mm] | 125 | 250 | 375 |
| H [m] | 2 - 45 | 2 - 25 | 2 - 9 |
| Q [l/s] | 28 - 130 | 50 - 180 | 110 - 220 |
| P [kW] | 5 - 35 | | |

Tab. 9: Přehled parametrů turbíny microcross

2.2.2.7 Šneková turbína

GESS-CZ, s.r.o.

Použití tohoto typu turbíny je vhodné pro nízkospádové oblasti od 1 do 10 m s kolísavým průtokem. Turbína je založena na principu Archimédova šroubu a pracuje s asynchronním generátorem. Výroba společnosti je cílena na oblasti s průtokem od 100 do 10000 l/s s výkonovými poměry do 500 kW. Úhel sklonu turbíny je volen v rozmezí 22 - 36°. Již při 20 % hltnosti dosahuje turbína činnosti kolem 74 %. Mezi další výhody tohoto typu patří rovněž jednoduchost spojená s nižšími pořizovacími náklady i jednodušší stavební část MVE v případě jejího využití. Následující graf znázorňuje srovnání účinnosti základních typů vodních turbín se Šnekovou turbínou v závislosti na jejich hltnosti. [17][22]



Graf 2: Graf závislosti účinnosti na hltnosti jednotlivých typů turbín

2.2.3 Generátory MVE

Generátor, u vodních elektráren často nazývaný hydroalternátor, je základním prvkem elektrického systému elektrárny, který mění mechanickou energii hřídele na energii elektrickou. Typ generátoru je volen především v závislosti na požadovaném výkonu motoru, kdy se pro nejmenší výkonové relace, většinou v samostatných sítích používají stejnosměrné generátory. Ty v posledních letech ale často plní jen funkci pomocných zdrojů napětí nebo jako zdroj v samostatných provozech o nízkých napětích.

Ve vodních elektrárnách obecně převažuje použití generátorů střídavých. Ty dělíme na synchronní a asynchronní, kdy synchronní jsou méně časté, zpravidla používané na žádost provozovatele.

I když konečný návrh hydroalternátoru pravděpodobně při projektování necháme na profesionálovi, lze alespoň díky základním poznatkům určit přibližná specifika požadovaného generátoru a udělat si tak přehled o nabízených variantách. Podobně jako u vodních turbín se výrobou generátorů v České republice zabývá hned několik výrobců, jejichž produkty se z hlediska parametrů samozřejmě liší. Následující část kapitoly uvádí jejich základní přehled spolu s parametry nabízených hydroalternátorů. [1][6]

2.2.3.1 Asynchronní generátory

Nejčastěji trojfázový indukční stroj se statorovým vinutím jednotlivých fází, jež je prostorově rozloženo tak, že připojením na trojfázovou síť vzniká magnetické točivé pole. Budící proud je indukován ve vinutí rotoru a jeho magnetické pole sledující točivé pole statoru následně stroj roztáčí. Synchronní otáčky pole statoru s rotorem by způsobily zánik budícího proudu, z čehož vyplývá, že je stroj schopen pracovat jen v asynchronních otáčkách.

V praxi se lze setkat převážně s asynchronním generátorem s kotvou nakrátko, popřípadě s kotvou kroužkovou. Tyto provedení se liší pouze v rozdílném rotorovém vinutí. Základními parametry jsou poté jmenovité otáčky, uchycení stroje, provedení statorového vinutí, provedení krytu a jiné.

Co se týče volby generátoru z hlediska výkonu, volíme zpravidla takový, aby stroj pracoval při jmenovitém výkonu, kde má nejvyšší účinnost. Při výběru dále zohledňujeme především jeho otáčky. Jelikož ty se u turbín v MVE mohou pohybovat i v řádech desítek otáček za minutu, je třeba tomu generátor přizpůsobit. Generátory větší pracují zpravidla při nižších otáčkách a naopak generátory menší při otáčkách vyšších. Jelikož s velikostí roste komplikovanost chlazení stroje i jeho pořizovací cena, je nutné najít kompromis mezi volbou dražšího a většího generátoru a generátoru levnějšího, který je schopen pracovat taktéž v nižších otáčkách při použití převodů. Musíme však uvážit, že jejich použití sebou nese snížení účinnosti zapříčiněné mechanickými ztrátami na těchto převodech. [1][2][6]

Siemens, s.r.o.

Ve výrobě jsou synchronní motory s kotvou nakrátko, které jsou MVE často využívány. Na výběr jsou buď standardní nízkonapěťové motory s osovou výškou do 315 vyráběné v devíti typových řadách nebo motory vysokonapěťové dostupné s kotvou nakrátko nebo kroužkové ve výkonových relacích do 8 MW. V tabulce 2.7 je uveden přehled parametrů nízkonapěťových generátorů firmy Siemens, s.r.o. využívaných v MVE. [23]

| typ | velikost [mm] | rozsah výkonů [kW] | počet pólů [ks] | jmen. napětí, frekvence do 3 kW [V, Hz] | jmen. napětí, frekvence nad 3 kW [V, Hz] | kostra |
|---------------|---------------|--------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|
| 1LE1 | 100 - 160 | 0,75 - 22 | 2, 4, 6, 8 | 230VD / 400VY, 50 Hz // 460 VY, 60 Hz | 400VD / 690VY, 50 Hz // 460 VD, 60 Hz | hliník |
| 1LA7 | 56 - 160 | 0,06 - 18,5 | 2, 4, 6, 8 | | | |
| 1LA9 | 56 - 160 | 0,14 - 24,5 | 2, 4 | | | |
| 1LF7 | 56 - 100 | 0,12 - 3 | 2, 4, 6 | 230 V, 220 V, 110 V, 50 Hz | | |
| 1MA7 | 63 - 160 | 0,18 - 13,5 | 2, 4, 6 | 230VD / 400VY, 50 Hz // 460 VY, 60 Hz | 400VD / 690VY, 50 Hz // 460 VD, 60 Hz | šedá litina |
| 1LG4, 1LG6 | 180 - 315 | 11 - 200 | 2, 4, 6, 8 | 400VD / 690VY, 50Hz // 460V, 60 Hz | | |
| 1MJ6 | 71 - 200 | 0,25 - 37 | 2, 4, 6, 8 | 230VD / 400VY, 50 Hz nebo 400VD / 690VY, 50Hz // 460VD, 60 Hz | | |
| 1MJ7 | 225 - 315 | 18,5 - 200 | 2, 4, 6, 8 | 400VD / 690VY, 50Hz // 460V, 60 Hz | | |
| AOM, AVM | 71 - 200 | 0,25 - 37 | 2, 4, 6, 8 | 400 V, 50 / 60 Hz | | |

Tab. 10: Parametry asynchronních generátorů firmy Siemens, s.r.o.

Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Frenštát

Výrobní program zahrnuje trojfázové nízkonapěťové asynchronní generátory v provedení nakrátko ve výkonových relacích od 5 do 300 kW. Jejich přehled spolu s některými parametry uvádí tabulka 2.8. [24]

| typ | pozn. | osová výška [mm] | rozsah výkonů [kW] | kostra |
|------|-----------------------------------|------------------|--------------------|--------|
| 1LG4 | - | 225 - 315 | 18,5 - 200 | litina |
| 1LG6 | zvýšená účinnost | 225 - 315 | 18,5 - 300 | |
| 1MA6 | zajištěné provedení | 225 - 315 | 18,5 - 165 | |
| 1MJ7 | zajištěné provedení | 225 - 315 | 18,5 - 165 | |
| 1PP6 | zvýšená účinnost, bez ventilátoru | 225 - 315 | 18,5 - 200 | |
| 1LP4 | bez ventilátoru | 225 - 315 | 5 - 67 | |
| 1PP4 | bez ventilátoru | 225 - 315 | 18,5 - 200 | |

Tab. 11: Přehled asynchronních generátorů společnosti Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Frenštát

TES Vsetín s.r.o.

Společnost má ve svém výrobním programu asynchronní i synchronní generátory pro MVE. Asynchronní generátory řady GAK jsou vyráběny ve výkonových relacích od 100 do 1500 kW s otáčkami od 250 do 1500 ot/min v horizontálním i vertikálním provedení. Všechny tyto generátory jsou vyráběny s kotvou nakrátko.

Následující tabulka uvádí přehled parametrů nabízených asynchronních generátorů společnosti TES Vsetín s.r.o. [25]

| | počet pólů [ks] | synchronní otáčky [ot./min.] | rozsah výkonů [kW] | zapojení | napětí |
|--------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| běžná výroba | 4 | 1500 | 65 - 1500 | D, 4 vývody, na přání Y | 3x400 V, 50 Hz (3x690 V, 3x6300 V), na přání 60 Hz |
| | 6 | 1000 | 40 - 950 | | |
| | 8 | 750 | 30 - 850 | | |
| | 10 | 600 | 30 - 870 | | |
| | 12 | 500 | 35 - 1000 | | |
| na přání | 14 | 428 | - | | |
| | 16 | 375 | - | | |
| | 18 | 333 | - | | |
| | 20 | 300 | - | | |
| | 22 | 273 | - | | |

Tab. 12: Parametry asynchronních generátorů - TES Vsetín s.r.o.

2.2.3.2 Synchronní generátory

Stroj s třífázovým statorovým vinutím, které je rozloženo tak, aby při napájení třífázovým napětím sítě vytvářel točivé magnetické pole. Magnetické pole statoru je synchronně sledováno stejnosměrným elektromagnetem rotoru, což způsobuje synchronní otáčky stroje. Zmíněný elektromagnet napájí tzv. budící obvody stejnosměrným napětím.

Použití těchto generátorů je časté ve velkých elektrárnách, ale u nových elektráren v menších výkonových relacích se s nimi tak často vzhledem k vyšší pořizovací ceně komplikovanosti automatizace provozu nesetkáme. U starších MVE bylo jejich použití naopak díky možnosti nezávislého provozu na napájecí síti vcelku běžným řešením.

Základním parametrem synchronních generátorů je kromě výkonu a napětí počet synchronních otáček. Největší výhodou tohoto typu generátoru představuje možnost práce bez připojení na síť. V tomto případě se však vyskytují komplikace v podobě nutnosti zajistit synchronní otáčky. To je prováděno regulací turbíny v závislosti na zatížení generátoru. [1][2][6]

Siemens, s.r.o.

Výrobní program společnosti z hlediska MVE je zaměřen především na asynchronní generátory, ale pro přehled jsou v tabulce 2.10 uvedeny dostupné varianty synchronních motorů firmy s jejich základními parametry. [23]

| typ | rozsah výkonů [kVA] | osová výška [mm] | počet pólů [ks] | pozn. | max. účinnost [%] |
|-------------|------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 1FC2 | 290 - 2200 | 350 - 560 | 4 - 10 | pro nízká napětí | 97,5 |
| 1FC3 | 630 - 5950 | 630 - 100 | 4 - 10 | pro nízká napětí | 97,6 |
| 1FC4 | 630 - 7400 | 450 - 800 | 4 - 12 | pro vysoká napětí | 97,6 |

Tab. 13: Přehled parametrů základních typů synchronních generátorů společnosti Siemens, s.r.o.

TES Vsetín s.r.o.

Synchronní generátory řady GSH jsou v nabídce od 100 do 15000 kVA při 100 až 1500 ot/min v provedení horizontálním i vertikálním. Dodávka zpravidla obsahuje digitální či analogové regulátory napětí nebo regulátor účinníku.

V následující tabulce jsou obsaženy parametry nabízených synchronních generátorů běžné výroby od společnosti TES Vsetín s.r.o.. Na přání je možná výroba generátorů i s jinými specifikacemi. [25]

| počet pólů [ks] | Otáčky [ot./min.] | rozsah výkonů [kVA] | zapojení | napětí |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| 4 | 1500 | 15 - 4500 | Y, 4 nebo 6 vývodů | 3x420/242 V, 50 Hz, (3x690 V, Sx950 V) |
| 6 | 1000 | 11.00 | | |
| 8 | 750 | 8.00 | | |
| 10 | 600 | 27 - 2400 | | |
| 12 | 500 | 20 - 2000 | | |
| 14 | 428 | 135 - 1300 | | |
| 16 | 375 | 120 - 1000 | | |

Tab. 14: Parametry synchronních generátorů - TES Vsetín s.r.o.

2.2.3.3 Stejnoseměrná dynamo

Tento typ stroje se velice podobá stroji synchronnímu, avšak obsahuje mechanický usměrňovač, tzv. komutátor. Na statoru jsou umístěny budící magnety a na rotoru kotva. V té se indukují proud, jehož zdrojem může být jak proud kotvy spojené v sérii s budícím vinutím (sériové dynamo), svorkové napětí kotvy, kombinace obou těchto budících vinutí (kompaundní) nebo i zcela cizí zdroj (dynamo s cizím buzením). Tento proud je poté usměrňován v komutátoru, který se točí. Dle velikosti dynamo jsou buď na statoru umístěny elektromagnety napájené stejnosměrným proudem (velká dynamo) nebo permanentní magnety (malá dynamo).

U MVE se s tímto typem už prakticky nesetkáme, jelikož i při záměrném využití stejnosměrného proudu dnes již tato dynamo nahradily střídavé alternátory s usměrňovači. Se stejnosměrným dynamem se většinou setkáme v případě starších vodních děl, a to nejčastěji s kompaundním dynamem, kdy je však potřeba regulovat výstupní napětí. To se provádí změnou odporu, který je zapojen v derivačním vinutí.

Výhodou stejnosměrných strojů je možnost pracovat jako generátor i jako motor. Této vlastnosti se využívá právě v MVE, kdy dynamo slouží jako zdroj pro dobíjení baterií a v případě nedostatku vody (zanesení česlí apod.) přechází do chodu motoru a místo původního nabíjení baterií vybíjí. Hlavní nevýhodou je nutnost údržby komutátoru. [1][2][6]

Siemens, s.r.o.

Jak již bylo zmíněno, výroba společnosti v oblasti MVE se věnuje především asynchronním generátorům, ale pro přehled jsou uváděny i další možnosti. Výrobní program stejnosměrných motorů byl před šesti lety částečně omezen, ale na zakázku jsou stále vyráběny náhrady těchto modelů. Stále však jsou v nabídce motory s parametry, které uvádí tabulka 2.12. [23]

| jmen. napětí DC [V] | jmen. otáčky [ot./min.] | jmen. výkon [kW] | osová výška [mm] | jmen. točivý moment [m] | chlazení |
|------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|------------------|
| 280 - 810 | 50 - 4000 | 31,5 - 1610 | 160 - 630 | 256 - 41800 | vlastní, externí |

Tab. 15: Přehled parametrů stejnosměrných dynam společnosti Siemens, s.r.o.

2.2.4 Převody

U velkých elektráren bývá přenos energie mezi turbínou a generátorem řešen obvykle přímým spojením jejich hřídelí, kdy je toto soustrojí přímo navrhováno na požadované otáčky. U MVE se však setkáváme převážně s cenově přijatelnějšími asynchronními generátory s poměrně vysokými otáčkami a je tedy nutné vyrovnávat otáčky pomaloběžných turbín převody dorychla. Toto opatření s sebou přináší řadu nevýhod, a proto jsou na převody kladeny velice přísné požadavky. Zpravidla požadujeme vysokou účinnost, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám. Dalšími kladenými aspekty jsou nízké pořizovací i provozní náklady, dlouhá životnost a především pak vysoká spolehlivost. Mezi nejpoužívanější převody u MVE se řadí převody řemenové, lanové, řetězové nebo ozubená soukolí.

Řemenové převody, které využívají jako nosné prvky uhlíková nebo polyamidová vlákna či textilní vložky, jsou u MVE nejrozšířenějším typem. Dělí se na převody s řemeny ozubenými, klínovými a plochými. S ozubenými řemeny lze dosáhnout účinnosti až 99 % a lze je využít do výkonu až 300 kW. V případě převodů s řemeny klínovými lze v ideálně navrženém případě dosáhnout účinnosti až 98 %, ale při provozu u nich dochází k postupnému protahování, což s sebou přináší nevýhodu v podobě nutnosti výměny vždy celé sady řemenů. Jejich obvodová rychlost dosahuje maximálně 40 až 60 m/s a maximální převodový poměr 1:10. Naproti tomu s řemeny plochými lze zrealizovat převod s poměrem až 1:15 s maximální obvodovou rychlostí do 70 m/s. Účinnost u tohoto typu provedení se pohybuje mezi 96 až 98 % v závislosti na obvodové rychlosti, použitém materiálu a dalších faktorech. [1][2][6]

Lanové převody jsou již spíše minulostí. Využívaly lanovic s drážkami pro lana z přírodních materiálů (bavlna, konopí), která byla později nahrazena ocelovými. Účinnost těchto převodů dosahuje hodnoty až 99 % s možností realizace převodového poměru až 1:15.

V současnosti nacházejí uplatnění u pohonů jeřábů či výtahů.

Řetězové převody se u MVE realizují s jedno- nebo víceřadými článkovými řetězy, kdy jednořadé lze použít jen při vodorovné poloze os ozubených kol a víceřadé v poloze vodorovné i vertikální. Takzvané válečkové řetězy jsou nejčastějším typem u tohoto druhu převodu, kdy rozteč jednotlivých válečků je nepřímo úměrná velikosti možného převodového poměru. Ten lze realizovat až do poměru 1:15. Maximální účinnost se pohybuje kolem 98,5 %, ale klesá přímo úměrně s počtem zubů či postupně při špatném mazání. U nižších obvodových rychlostí (do 10 m/s) lze řetěz mazat jeho broděním v oleji, u vyšších rychlostí je pak nutné mazací zařízení. Co se výkonových poměrů týče, lze díky tomuto typu převádět až 5000 kW.

Ozubená soukolí v dřevěném (později ocelovém) provedení patřila k nejčastějším u vodních děl nižších spádových poměrů. U dnešních MVE se můžeme setkat s ozubením čelním nebo kuželovým. Ozubení čelní se vyznačuje rovnoběžným provedením soukolí a jeho zuby lze rozlišovat na šípové, šikmé a přímé, které jsou pro snazší výrobu nejlevnější. Ozubení kuželové se vyznačují mimoběžnými nebo protínajícími se osami, které obvykle svírají pravý úhel a umožňují tak změnu směru přenosu energie z turbíny. V závislosti na provedení ozubení rozlišujeme kola se zuby přímými, šikmými, spirálními, hypoidními a šípovými. [1][2][6]

Wikov MGI a.s.

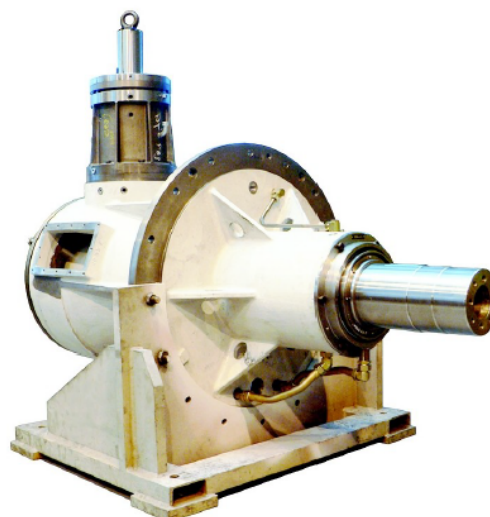
Společnost nabízí výrobu a servis v oblasti mechanických převodovek především pro všechny turbíny typu Kaplan. Dále je možný návrh na zakázku pro Bánkiho turbíny a některé modifikace dalších typů turbín. Každé řešení je vždy navrhováno na míru konkrétní situaci za účelem co nejvyšší účinnosti díky možnosti podélné i příčné geometrii ozubení a bezkontaktního těsnění.

Servisní služby jsou zaměřené nejen na převodovky Wikov, ale také na produkty společností ŠKODA, ČKD a dalších předních výrobců z celého světa.

Výrobní program firmy nabízí pro použití v MVE převodovky čelní jednostupňové řady ZP-V a dvoustupňové ZP-H, kuželové jednostupňové řady KHVE, speciální čelní koaxiální řady ZP-CX či řaditelné ZP-R a katalogové čelní a kuželočelní řady STANDARD. [26]



Obr. 4: Převodovka ZP-V pro vertikální Kaplanovu turbínu



Obr. 5: Kuželová převodovka řady KHVE pro nakloněnou Kaplanovu turbínu

Pro ideální výpočet je používán software KISSsoft a následná modelace v programu Solid Edge. Pro všechny typy je využívána suchá skříň převodovky, aby se zabránilo ztrátám z důvodu hydrodynamického odporu soukolí. Hřídele jsou utěšňovány bezkontaktně. V oblastech s větším rizikem záplav se instalují speciální těsnící prvky, které zabrání vniknutí vody do skříňe.

Následující tabulka obsahuje přehled základních typů převodovek pro MVE od firmy Wikov spolu s oblastmi jejich použití co se týče volby turbíny a výkonových relací. [26]

| typ | popis | typ turbíny | provedení turbíny | výkon [kW] |
|-------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|------------|
| ZP-V | čelní jednostupňová vertikální | vertikální Kaplanova, vertikální Francisova | Saxo, compact | 250 - 2500 |
| ZP-H | jednostupňová horizontální, dvoustupňová horizontální | horizontální Kaplanova, nakloněná Kaplanova | Pit, S-typ | 450 - 6500 |
| KHVE | jednostupňová kuželová | horizontální Kaplanova, nakloněná Kaplanova | Bulb | 200 - 2000 |
| ZP-CX | speciální čelní s děleným výkonem | horizontální Kaplanova, nakloněná Kaplanova | Pit, S-typ | 2000 |

Tab. 16: Přehled mechanických převodovek firmy Wikov MGI a.s.

2.2.5 Česle

Neodmyslitelnou součástí vtokových objektů vodních elektráren jsou česle, které slouží k zachycení nežádoucích naplavenin před vtokem do samotné budovy elektrárny. Zabraňují tak poškození lopatek turbíny či případnému výraznému poklesu výkonu způsobenému zachycováním nežádoucího materiálu na lopatkách a s tím spojené změně charakteru jejich obtékání a proudění turbínou.

U MVE se setkáváme s česlemi hrubými a jemnými. Jak název napovídá, hrubé česle slouží k zachycení rozměrnějších naplavenin v podobě větších kusů ledu, stromů apod.

Nejčastěji jsou konstruovány jako svislá mříž s šíří mezery od 300 do 600 mm, která musí snést případné plné ucpání česlic a tedy vysoký hydrostatický tlak. Při proudění vody česlemi vznikají hydraulické ztráty, které v závislosti na zvyšování rychlosti proudění rostou. Ideální hodnota střední rychlosti proudění profilem hrubých česlí se pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,7 m/s. Zanesením česlí se samozřejmě ztráty ještě zvyšují, proto je zapotřebí je pravidelně čistit. Toto čištění probíhá v případě hrubých česlí obvykle ručně.

Jemné česle se na rozdíl od hrubých dimenzují s určitým sklonem, který závisí především na postupu při jejich čištění. Nejčastěji jsou navrhovány pod úhlem 60° až 70°, ale v případě stírání naplavenin strojně se tento úhel pro snazší vyhrnování naplavenin pohybuje i okolo 85°. Stejně jako česle hrubé, se i ty jemné dimenzují na vysoký hydrostatický tlak odpovídající plnému ucpání, a proto musí být konstrukce dostatečně pevná a často i osazena podpěrným systémem nosníků po stranách. Nejčastější provedení mříže bývá v podobě pásové oceli s průřezem od 50 x 6 mm do 180 x 20 mm. Profil navrhujeme tak, aby se střední rychlost proudění česlemi pohybovala v rozmezí 0,8 až 1,2 m/s. Čištění tohoto typu česlí je možné provádět v případě stálé obsluhy ručně, ale stále častěji se již volí čištění čistícími stroji. [1][2]

2.2.5.1 Čistící stroje česlí

Jak již bylo zmíněno, u bezobslužných MVE jsou dnes již tyto stroje takřka nezbytnou součástí. Stejně jako u dalších zařízení pro vodní elektrárny, i čistících strojů česlí existuje několik variant. U MVE převládají čistící stroje stacionární, které jsou svými rozměry uzpůsobeny profilu česlí, a dále se lze setkat i s čistícími stroji pojezdovými. Co se týče druhu pohonu a stírání naplavenin z česlí, setkáme se s provedením lanovým, řetězovým či hydraulickým. U prvních dvou typů je pohon zajištěn skrze převodovku elektromotorem, kdy u lanového typu je stírací lopatka uchycena na ocelových lanech a v případě řetězového provedení pak na článkovém řetězu. Stroje hydraulické mají jak název napovídá pohon hydraulický a oproti předchozím disponují výraznou zdvihovou silou, takže se užívají především v lokalitách s výraznějšími naplaveninami nebo například při nutnosti probourávání ledu v zimním období.

Především v ročních obdobích, kdy jsou naplaveniny častější, jako například spadané listí na podzim či led v zimě, lze díky těmto strojům navýšit výkon až o 30 %. [1][2]

CINK Hydro-Energy k.s.

Společnost vyrábí čistící stroje česlí v provedení teleskopickém, stacionárním, pojízdné či řetězem poháněné pro česle do šíře až 50 m a výšce zdvihu až 10 m. Všechny typy se vyznačují robustním ocelovým provedením s kompletním pozinkováním a bezúdržbovými ložisky. K dispozici jsou zároveň pojistky proti přetížení, řízení hladinovými tlakovými sondami nebo pomocí spínacích relé a na zakázku lze vyhotovit i mrazuvzdorné pásové dopravníky. [8]

P&S a.s.

Výrobní program obsahuje čistící stroje česlí mnoha variant. Nabídku tvoří stacionární i pojízdné stroje v provedení hydraulickém, lanovém, jednoramenném i dvouramenném, a to v různých kombinacích. V posledních letech společnost vyrábí na zakázku taktéž čistící stroje hrubých česlí. [14]

Přehled jednotlivých typů čistících strojů česlí výše uvedených firem spolu se základními specifikacemi uvádí následující tabulka.

| | typ | šíře česlí do [m] | šíře hrabla do [m] | výše zdvihu do [m] | nosnost hrabla do [kg] |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| CINK Hydro-Energy k.s. | pojízdné hydraulické | 50,0 | - | 5,0 | - |
| | stacionární řetězové | 15,0 | - | 10,0 | - |
| | stacionární hydraulické | 6,0 | - | 5,0 | - |
| | stacionární teleskopické | 3,5 | - | 1,5 | - |
| P&S a.s. | pojízdné hydraulické dvouramenné | - | 3,5 | 8,0 | 3000 |
| | pojízdné hydraulické, se zdvojenými rameny | - | 6,2 | 8,5 | 500 |
| | pojízdné lanové | - | 3,5 | 30,0 | 2000 |
| | stacionární hydraulicko-mechanické jednoramenné | 2,8 | 2,8 | 5,6 | 500 |
| | stacionární hydraulické dvouramenné | 7,0 | 7,0 | 14,0 | 800 |
| | stacionární hydraulické, se zdvojenými rameny | 11,3 | 11,3 | 8,5 | 1200 |
| | stacionární lanové | 4,0 | 4,0 | 18,0 | 700 |

Tab. 17: Přehled čistících strojů česlí a jejich základních parametrů

3 Legislativa týkající se MVE

Stejně jako na jiné stavební celky, i na vodní elektrárny se vztahují odpovídající předpisy a je nutné si před jejich samotnou výstavbou opatřit potřebná povolení a při jejich následné realizaci dodržet příslušné normy.

Z hlediska legislativy problematiku MVE upravuje hned několik zákonů. Mezi ty zásadní, které budou podrobněji popsány v této kapitole, můžeme zařadit především:

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, jinak také nazývaný vodní zákon.
- Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. V roce 2012 je připravována novela tohoto zákona.
- Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy energetických odvětvích a o změně některých zákonů, jinak nazýván jako energetický zákon.

Problematika MVE je samozřejmě spojena s mnoha dalšími zákony či normami, ovšem vzhledem k omezenému obsahu této práce není možné se všem detailněji věnovat. Pro přehled je uveden výčet alespoň některých z nich.

- Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu, jinak známý jako stavební zákon.
- Zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí.
- Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny.
- Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií.
- Zákon č. 586/1992 Sb. o daních z příjmů.
- Vyhláška 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie.
- Vyhláška 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.
- ČSN 76 2601 Malé vodní elektrárny – základní požadavky.
- ČSN EN 50160 a jiné. [27][28]

3.1 Vodní zákon

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (§1, odst.2) upravuje právní vztahy týkající se povrchových a podzemních vod, jakožto vztahy fyzických a právnických osob k využívání těchto vod a vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí. To vše za účelem zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod,

bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha. Podle §3, odst.1,2 a 3 nejsou tyto vody předmětem vlastnictví ani součástí příslušenství pozemku, na němž nebo pod nímž se vyskytují a proto jsou práva k nim upraveny tímto zákonem.

MVE se především týká §8, odst.1, který zmiňuje potřebu povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami v případě, jde-li o vody povrchové a nejedná-li se o obecné nakládání s nimi. Jedná se o nakládání s těmito vodami:

- a) k jejich odběru,
- b) k jejich vzdouvání, popřípadě akumulaci,
- c) k využívání jejich hydroenergetického potenciálu,
- d) k užívání těchto vod pro chov ryb, vodní drůbeže, popřípadě jiných vodních živočichů, za účelem podnikání
- e) k jinému nakládání s nimi.

Zmíněné povolení se vydává fyzickým nebo právnickým osobám (§8, odst.2) na základě žádosti. Na základě tohoto povolení získá fyzická nebo právnická osoba oprávnění nakládat s vodami v daném rozsahu a k účelu po dobu stanovenou tímto povolením. V případě MVE, povolení k nakládání s vodami pro využívání jejich energetického potenciálu, je tato doba stanovena minimem 30 let. Následné prodloužení tohoto povolení je popsáno v §12, odst.2, kdy jej stanoví vodoprávní úřad v případě absence sankcí udělených oprávněnému za opakované porušování povinností stanovených v tomto zákoně (§9, odst.6).

Na základě uloženého povolení podle §11, odst.2 nevznikají žádná práva oprávněného k cizím pozemkům či stavbám. Dále podle tohoto článku na základě daného povolení nevzniká povinnost vodoprávnímu úřadu, správci vodního toku nebo vlastníku vodního díla poskytnout náhradu oprávněným osobám za nemožnost nakládat s vodami v maximálním povoleném množství a s určitými vlastnostmi. Povolení může být v případě nevyužívání nebo minimálního využívání bez vážných důvodů po dobu více než 2 let podle §12, odst.1a změněno nebo zcela zrušeno vodoprávním úřadem. Dále se tak může stát na základě stanovení minimální hladiny podzemních vod, jež nebyla dříve stanovena, či v případě její změny (§11, odst.1c).

Podle §15, odst.3 stanoví v rámci stavebního povolení vodoprávní úřad povinnosti s případnými souvisejícími podmínkami a účel vodního díla, to vše v souladu s tímto zákonem a příslušným povolením. Vodoprávní úřad tedy v tomto případě zastává funkci speciálního stavebního úřadu (§15, odst.4).

Další část zákona se týká minimálního zůstatkového průtoku, jež je podle §36, odst.1 průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami

a ekologické funkce vodního toku. Hodnotu tohoto průtoku stanovuje vodoprávní úřad v rámci povolení s nakládání s vodami. Přihlíží při tom k podmínkám konkrétního toku, charakteru nakládání s vodami a k opatřením k dosažení cílů ochrany vod přijatých v plánu povodí podle §26.

Podle §52, odst.1 spadá povinnost odstraňovat a nakládat s předměty zachycenými na stavbách či zařízeních na vodních tocích podle zvláštního zákona na vlastníky těchto staveb a zařízení.

Zákon v §55, odst.1 definuje vodní díla jako stavby, které slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným tímto zákonem, a to zejména přehradu, hráze, vodní nádrže, jezy a zdrže, stavby, jimiž se upravují, mění nebo zřizují koryta vodních toků, stavby k využití vodní energie a energetického potenciálu a další.

Pokud takové dílo užívá i jiná oprávněná osoba (§8) než jeho vlastník, a ta má bezprostřední prospěch z tohoto díla, je podle §57 povinna podílet se na nákladech na údržbu tohoto díla. V případě absence dohody mezi zmiňovanými o způsobu úhrady těchto nákladů, rozhoduje o tomto soud. Pro MVE toto však neplatí, jelikož zákon udává výjimku, pokud osoba oprávněná k nakládání s vodami (§8) užívá vody jen za účelem využití energetického potenciálu k výrobě elektřiny ve vodních elektrárnách do celkového instalovaného výkonu 10 MW.

Vybrané povinnosti vlastníka vodního díla

Mezi hlavní povinnosti vlastníka se řadí zejména dodržování podmínek a povinností daných v rámci povolení, zejména pak dodržování daného provozního řádu, manipulačního řádu. Dále neprodlené hlášení změn vodoprávnímu úřadu v případě, že tyto změny mají vliv na obsah manipulačního řádu či předkládání zákonem vyhovujících (§46 odst. 4g) návrhů na úpravu manipulačního řádu, rovněž vodoprávnímu úřadu (§59, odst. 1a). Mezi povinnosti vlastníka se řadí také osazení cejchu, vodní značky nebo vodočtu na příslušném vodním díle. Mimo jiné podle rozhodnutí vodoprávního úřadu musí zajistit zvláštní úpravu přelivu nebo výpusti nebo umožnit průběžný přenos dat o průtocích na daném toku (§59, odst.1g). Odstraňování větších naplavenin z hrází, jež slouží jako ochrana před povodněmi, ke vzdouvání či akumulaci vody je také povinností vlastníka daného díla (§59, odst. 1j). V neposlední řadě do povinností spadá i provádění pravidelných technických revizí vodního díla ohlášeného podle §15a, a to prostřednictvím odborně způsobilé osoby, jež má pověření k této činnosti od Ministerstva životního prostředí. Četnost je stanovena na revize každé

2 roky, přičemž výsledky musí být předány vždy do 31. prosince roku, v němž bylo měření provedeno, vodoprávnímu úřadu a v případě odhalených závad tyto odstranit do 60 dnů od příslušné revize (§59, odst. 1k).

Podle §104, odst. 1 je státní správa ve věcech tohoto zákona vykonávána vodoprávními úřady a Českou inspekcí životního prostředí. [27]

3.2 Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů

Jedná se o základní zákon týkající se rozvoje obnovitelných zdrojů energie, jehož hlavním účelem je podle §1, odst. 2 v zájmu ochrany klimatu a v zájmu ochrany životního prostředí:

- a) podpořit využití obnovitelných zdrojů energie (dále OZ),
- b) zajistit trvalé zvyšování podílu OZ na spotřebě primárních energetických zdrojů,
- c) přispět k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti,
- d) vytvořit podmínky pro naplnění indikativního cíle podílu elektřiny z OZ na hrubé spotřebě elektřiny v České republice ve výši 8% k roku 2010 a vytvořit podmínky pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010.

Pro účely tohoto zákona je elektřina z OZ definována v §2, odst. 2b jako elektřina vyrobená v zařízeních, která využívají pouze OZ, a také část elektřiny vyrobené z OZ v zařízeních, která využívají i neobnovitelné zdroje energie.

Zelený bonus je podle §2, odst. 2d pak taková finanční částka, kterou hradí provozovatel regionální distribuční nebo přenosové soustavy výrobci elektřiny z OZ a navyšuje tím tržní cenu elektřiny. Tento bonus zohledňuje šetrnější zacházení k životnímu prostředí, dále druh a velikost příslušného zařízení a kvalitu dodávky elektřiny.

Práva a povinnosti provozovatele přenosové či distribuční soustavy

Zákon určuje v §4, odst. 1 povinnost přednostního připojení k přenosové nebo distribuční soustavě zařízení podle §3 za účelem distribuce či přenosu elektřiny z OZ, a to na licencí vymezeném území provozovatele a na základě žádosti výrobce elektřiny z OZ, pokud tento splňuje podmínky dané zvláštním právním předpisem. Tato povinnost vzniká provozovateli té distribuční soustavy, kde jsou náklady na toho připojení nižší, pokud se neprokáže prokazatelným nedostatkem kapacity zařízení či nehrozí-li narušení spolehlivého provozu soustavy (§4, odst. 2). Povinností je také podle §4, odst. 4 vykupovat veškerou elektřinu z OZ, na kterou je vztahována podpora, pokud tuto výrobce nabídl. V každém takovém případě je uzavírána smlouva o dodávce za podmínek dle §5 a ceny na odpovídající

§6. Provozovatel je dále povinen uhradit příslušnému výrobcí elektřiny z OZ zelený bonus (§4, odst. 7) v případě, že tento nenabídl elektřinu k povinnému výkupu podle odst. 4 a prodal ji na trhu s elektřinou. Povinnost hradit zelený bonus má i provozovatel příslušné regionální distribuční soustavy, na jehož území se nachází výrobní elektřiny výrobce, kdy tento elektřinu vyrábí pro vlastní spotřebu (§4, odst. 16).

Práva a povinnosti výrobce elektřiny

Podle §4, odst. 3 má výrobce elektřiny z OZ, na kterou se vztahuje podpora, právo volby nabídnout tuto elektřinu k výkupu (odst. 4) nebo požadovat za ni zelený bonus. Tuto volbu je možné změnit vždy k 1. lednu následujícího roku a to nejméně za jeden kalendářní rok od data výběru jedné z těchto možností. V případě uplatnění nároku na úhradu zeleného bonusu (§4, odst. 15), je výrobce povinen uzavřít smlouvu na dodávku elektřiny z OZ s jiným účastníkem trhu s elektřinou, jen s výjimkou výrobce, jež tuto elektřinou beze zbytku sám spotřebovává. V případě vlastní spotřeby elektřiny z OZ výrobcem, má tento stále nárok na úhradu zeleného bonusu (§4, odst. 16). Nárok na tuto úhradu vzniká splněním povinnosti předání naměřeného nebo vypočteného údaje o množství jím vyrobené elektřiny z OZ (§4, odst. 13).

Výkupní ceny elektřiny z OZ podle §6, odst. 1 stanoví vždy na kalendářní rok dopředu Energetický regulační úřad (ERÚ), a to pro jednotlivé druhy OZ a zelené bonusy zvlášť tak, aby bylo mimo jiné při podpoře výkupními cenami u zařízení uvedených do provozu po nabytí účinnosti tohoto zákona dosaženo doby návratnosti investic 15 let za podmínky splnění technických a ekonomických parametrů stanovených prováděcím právním předpisem. Pro zařízení uvedená do provozu před dnem nabytí účinnosti tohoto zákona jsou stanoveny po dobu 15 výkupní ceny v minimální výši těchto cen stanovených pro rok 2005 se zohledněním indexu cen průmyslových výrobců. Výkupní ceny pro následující rok nesmí klesnout podle §6, odst. 4 pod hodnotu 95 % hodnoty těchto cen platných v roce rozhodování o těchto budoucích cenách.

Vybrané správní delikty

Zákon podle §9, odst. 1 stanoví pokutu ve výši až 5 mil. Kč provozovateli regionální distribuční či přenosové soustavy, který na žádost nevykoupí elektřinu z OZ podle §4, odst. 4 nebo neuhradí zelený bonus podle §4, odst. 7. Také podle §9, odst. 2 je udělena pokuta ve výši až 5 mil. Kč v případě, že výrobce předá nepravdivé údaje o množství jím vyrobené elektřiny z OZ příslušnému provozovateli. Veškeré pokuty ukládá, vybírá a vymáhá inspekce (§10, odst. 1) a jsou příjmem státního rozpočtu (§10, odst. 6). [27]

3.3 Energetický zákon

Tento zákon se zabývá úpravou podmínek podnikání a výkonem státní správy a regulací v energetických odvětvích, jež představuje teplárenství, plynárenství a elektroenergetika. Co se elektřiny (MVE) týče, je předmětem podnikání (§3, odst.1) výroba, přenos a distribuce elektřiny, obchod s elektřinou či činnost operátora trhu. Dále se do kategorie předmětů podnikání řadí taktéž výroba, přeprava, distribuce a uskladňování plynu, obchod s plynem a výroba či rozvod tepelné energie. Pro účel této práce budou však uvedeny jen některé důležité a zajímavé části zákona, které se týkají MVE.

Přenos elektřiny, jakož i ostatní procesy, jež jsou předmětem podnikání v energetických odvětvích v rámci energetického zákona, se uskutečňuje ve veřejném zájmu (§3, odst.2). V případě stavby sloužící k vyvedení výkonu z výroby elektřiny, která je zřízena a provozována ve veřejném zájmu nebo stavby, jež je součástí distribuční, přepravní či přenosové soustavy, lze uplatnit zákon o vyvlastnění za účelem získání práva k této stavbě či pozemku.

Za podmínek stanovených tímto zákonem, mohou v odvětví energetiky podnikat na území České republiky (§3, odst.3) fyzické či právnické osoby, které získají licenci od Energetického regulačního úřadu. Tato licence není udělována v případě, kdy odběratel poskytuje pomocí vlastního nebo jím provozovaného odběrného zařízení odebranou elektřinu jiné fyzické či právnické osobě a náklady spojené s nákupem této elektřiny rozúčtuje těmto osobám dohodnutým nebo určeným způsobem. V takovém případě se nejedná o podnikání.

Zmiňovaná licence na výrobu, přenos či distribuci elektřiny je udělována na dobu maximálně 25 let. Fyzická osoba (§5, odst.1) musí pro udělení licence vyhovovat podmínkám dosažení věku 21 let, úplné způsobilosti k právním úkonům, bezúhonnosti a odborné způsobilosti mít ustanoveného odpovědného zástupce podle §6. V případě žádosti o licenci právnickou osobou, musí podmínky první tři z těchto podmínek splňovat členové příslušného statutárního orgánu a musí být stanoven odpovědný zástupce.

V případě výroby elektřiny (pro účel této práce MVE) do instalovaného výkonu 20 kW, povinnost prokazovat odbornou způsobilost odpadá.

Zároveň se žádostí o udělení licence je fyzická či právnická osoba povinna doložit, že disponuje potřebnými finančními a technickými prostředky umožňujícími výkon činnosti, za jejímž účelem o licenci žádá. Pokud žadatel používané energetické zařízení nevlastní, je nutné doložit souhlas příslušného vlastníka s použitím tohoto zařízení, a to nejméně na dobu, na kterou má být licence vystavena.

Při regulaci cen přenosu či distribuci elektřiny, postupuje Energetický regulační úřad tak,

aby takto stanovené ceny pokryly účelně vynaložené náklady spojené se spolehlivým, bezpečným a efektivním výkonem dané činnosti, dále odpisy a určitý zisk. Ten je v tomto případě brán v měřítku návratnosti příslušných investic do zařízení, jež jsou prostředkem příslušné činnosti.

Vybrané povinnosti výrobce elektřiny

Výrobce je povinen zajistit připojení svého zařízení k přenosové nebo distribuční soustavě, a to na své náklady. Dále musí umožnit a rovněž uhradit instalaci a zajistit přístupnost měřicího zařízení té soustavy, ke které je výrobná připojena. Dána je také povinnost poskytnout provozovateli příslušné soustavy potřebné údaje vyplývající ze smluv, sloužící pro provoz a rozvoj dané soustavy či informace nezbytné pro dispečerské řízení. V případě udělení licence je povinnost registrace u operátora trhu nejpozději do 30 dnů. Novelou byla přidána rovněž povinnost vybavení výrobní elektřiny o instalovaném výkonu 100 kW a více zařízením, jež umožňuje dispečerské řízení a to udržovat v provozu. Od tohoto jsou osvobozeny výrobní elektřiny z OZE, které byly uvedeny do provozu před rokem 2000 včetně o instalovaném výkonu do 10 MW a také průtočné MVE rovněž s instalovaným výkonem do 10 MW.

Vybrané povinnosti provozovatele přenosové či distribuční soustavy

Mezi povinnosti provozovatele se řadí připojení k přenosové/distribuční soustavě či poskytnutí přenosu zařízení každému, kdo o to požádá a zároveň splňuje podmínky připojení a obchodní podmínky. Tyto jsou stanoveny Pravidly provozování přenosové/distribuční soustavy. V případě splnění těchto podmínek může provozovatel žádost odmítnout pouze v případě prokazatelného nedostatku kapacity zařízení pro přenos/distribuci nebo v případě, že by byla ohrožena bezpečnost a spolehlivost provozu. Další povinností provozovatele je například zpracování údajů potřebných pro rozhodnutí ERÚ o těchto cenách.

Novela zákona podle §30a udává nutnost udělení státní autorizace na výstavbu výrobní elektřiny v případě stavby výrobní o instalovaném výkonu od 1 MW včetně. Instalovaným výkonem je v tomto směru uvažován celkový součet instalovaných výkonů všech výrobních jednotek v místě připojení do elektrizační soustavy (odst. 1). Tuto autorizaci vydává ministerstvo na základě písemné žádosti (odst. 2) po posouzení předpokládané výrobní elektřiny (odst.2).

V případě porušení podmínek stanovených za účelem získání licence nebo například v případě podnikání v energetickém odvětví bez licence, stanovuje zákon správní delikty držitele licence (§91) či právnických a podnikajících fyzických osob (§91a). V těchto případech může být udělena pořádková pokuta ve výši až 5 mil Kč nebo ve výši 1% čistého

obratu za poslední účetní období. ERÚ může uložením donucovacích pokut vymáhat určitá splnění (§96d). Mezi tyto patří například uložení povinnosti pokračovat ve výkonu licencované činnosti po dobu stanovenou ERÚ podle §10 odst. 4. [27]

3.4 Výkupní ceny energie z MVE

Výkupní ceny energie z obnovitelných zdrojů energie (OZE), a zároveň tedy z MVE, jsou pravidelně stanovovány cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Toto rozhodnutí uvádí jak minimální stanovené výkupní ceny (dle zák. č. 526/1990 Sb., o cenách), tak i pevnou výši tzv. zelených bonusů. Provozovatel MVE si může zvolit možnost prodeje elektřiny z OZ za pevnou výkupní cenu nebo prodej této elektřiny některému obchodníkovi za cenu tržní a zároveň uplatnit nárok na zelený bonus. Výkupní ceny jsou odvozovány z hlediska data uvedení nové MVE do provozu či v závislosti na dané rekonstrukci MVE. Podle zákona č. 180/2005 Sb., jsou ceny, jak již bylo zmíněno výše, nastavovány tak, aby návratnost investice do MVE nepřesáhla 15 let za podmínek splnění daných technických a ekonomických parametrů.

Následující tabulka uvádí souhrn výkupních cen energie z MVE dle nejnovějšího rozhodnutí ERÚ. Příloha 1 navíc uvádí výkupní ceny pro špičkové a pološpičkové akumulární MVE. Uvedené ceny nezahrnují daň z přidané hodnoty, která se připočítává dle zvláštního právního předpisu.

| datum uvedení do provozu | výkupní ceny elektřiny dodané do sítě [Kč/MWh] | zelené bonusy [Kč/MWh] |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| MVE v nových lokalitách od 1.1.2012 do 31.12.2012 | 3190 | 2140 |
| MVE v nových lokalitách od 1.1.2011 do 31.12.2011 | 3060 | 2010 |
| MVE v nových lokalitách od 1.1.2010 do 31.12.2010 | 3130 | 2080 |
| MVE v nových lokalitách od 1.1.2008 do 31.12.2009 | 2880 | 1830 |
| MVE v nových lokalitách od 1.1.2006 do 31.12.2007 | 2720 | 1670 |
| MVE v nových lokalitách po 1.1.2005 včetně a MVE rekonstruovaná | 2450 | 1400 |
| MVE v nových lokalitách před 1.1.2005 | 1910 | 860 |

Tab. 18: Výkupní ceny energie z MVE dle rozhodnutí ERÚ č. 7/2011 ze dne 23.11.2011

Rekonstruovanou MVE se pro účel tohoto rozhodnutí rozumí stávající MVE, u které byla provedena a dokončena rekonstrukce či modernizace zařízení v takovém rozsahu, že díky technické, provozní, bezpečnostní i ekologické úrovni rekonstruovaného zařízení se tato MVE staví na úroveň nově zřizovaných výroben. Jedná se tedy o rozsáhlý zásah do původního

provedení elektrárny a za rekonstrukci dokončenou se tak považuje taková, která splňuje všechny z následujících bodů:

- výměna či generální oprava turbíny,
- výměna nebo převinutí generátoru,
- oprava elektročástí, jež odpovídá ČSN EN 50160 a spočívá v zabránění působení zpětných vlivů na síť
- výměna regulačních zařízení
- výměna či instalace nového automatizovaného systému řízení.

Jednotlivé prvky, jež jsou předmětem rekonstrukce či modernizace, nesmí být k datu dokončení tohoto procesu starší než 5 let.

V případě užití technologických celků starších 5 let u MVE uvedených do provozu od 1.1.2005 včetně, řadí se tato MVE automaticky do kategorie elektráren uvedených do provozu před 1.1.2005. [27]

4 Ekonomická bilance MVE

Abychom se vyhnuli situaci, kdy je ekonomická nevýhodnost MVE zjištěna až v etapě zpracování, popřípadě jsou odhaleny některé příčiny, jež tuto stavbu zbytečně znevýhodňují, je nezbytné nejprve zpracovat předběžnou ekonomickou bilanci jednotlivých nabízených řešení a na základě jejich porovnání stanovit tu nejvýhodnější. K realizaci tohoto kroku v dostatečně přesné míře potřebujeme zpracovat na základě možných řešení přehled s nimi spojených nákladů a stanovit jejich financování, dále vypočítat na základě hydrologických podmínek a technických specifikací MVE výnos elektrické energie a na závěr pomocí těchto informací a znalosti výkupních cen vypočítat návratnost celé stavby.

4.1 Nabídka společnosti Chlouba spol. s.r.o. + vlastní práce

Nabídka obsahuje jen minimální úpravy původní budovy elektrárny spolu s nutnou opravou náhonu. Turbína a rozvaděčem jsou dodány společností Chlouba spol. s.r.o., přičemž veškeré stavební úpravy a oprava náhonu jsou zajištěny svépomocí majitelem, jež má možnost sehnání potřebného materiálu a techniky. Tato varianta upřednostňuje nízké vstupní náklady na úkor vhodnosti řešení vzhledem k charakteru lokality a je zcela financována z prostředků majitele.

Turbína je v tomto případě zvolena Kaplanova s 60 cm spirálou (Obr. 6). Její maximální hltnost je bohužel jen 300 l/s, minimální hltnost poté 50 l/s přičemž v průměru stále drží účinnost přibližně 80 %.



Obr. 6: Kaplanova turbína od společnosti Chlouba s.r.o.

Toto nedostatečné využití průtoku lokality je zapříčiněno původní starou stavbou, jež byla dimenzována na dvě turbíny, ale po poničení se do této stavby bez výraznějších stavebních úprav větší turbína či dokonce dvě nevejdou. Turbína v nabídce disponuje vrtulí o průměru 32 cm, 40 cm přírubou a čtyřmi rozváděcími a oběžnými lopatkami. Generátor je z původní elektrárny asynchronní s instalovaným výkonem 7,5 kW s napětím 400V/50 Hz.

4.1.1 Náklady na stavbu a provoz

Celková výše nákladů se samozřejmě odvíjí od rozsáhlosti a složitosti celé rekonstrukce či výstavby. Vzhledem k cenovým relacím, ve kterých se tyto projekty pohybují, je třeba brát ohled na vlastní finanční možnosti a pečlivě zvážit, zda budeme schopni celý projekt financovat z vlastních prostředků, či budeme muset využít možnosti úvěru. Průběh návratnosti se pak zároveň liší v závislosti na výši daného úvěru a úroku z něj. Nutno však podotknout, že v naprosté většině případů banky stoprocentní financování z úvěru neposkytují a budeme vždy potřebovat nějaký kapitál či prostředek ručení za daný úvěr.

V následující tabulce je uveden přehled přibližných nákladů na rekonstrukci elektrárny v případě využití nabídky od společnosti Chlouba spol. s.r.o. spolu s vlastními prostředky.

| zařízení, úkon | cena [Kč] |
|----------------------------------------------|------------------|
| kaplanova turbína s příslušenstvím a montáží | 520 000 |
| rozvaděč | 100 000 |
| stavební úpravy budovy elektrárny | 60 000 |
| oprava náhonu | 350 000 |
| celkem | 1 030 000 |

Tab. 19: Náklady na rekonstrukci společnosti Chlouba spol. s.r.o. + vlastní úpravy

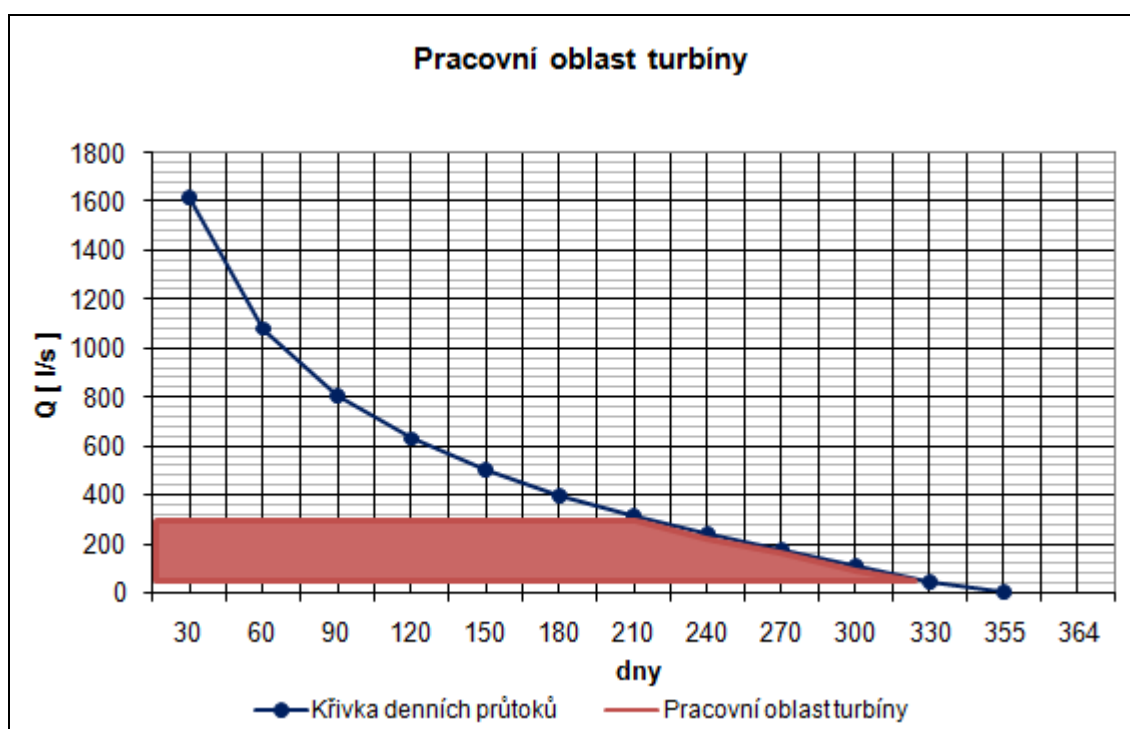
Náklady rozdělíme pro následný výpočet návratnosti investice na část stavební a technologickou, abychom mohli určit velikost odpisů. Stavební část dosahuje celkové částky 410 000 Kč a tvoří přibližně 40 % nákladů, část technologická má hodnotu 620 000 Kč a tvoří zbylých 60 % nákladů. V tabulce nejsou uvedeny provozní náklady, které dosahují hodnoty přibližně 10 000 Kč/rok a další výdaje spojené s cenou pozemku, jež je ve vlastnictví majitele již delší dobu či případně další výdaje jako cestovné při zařizování povolení apod. [7]

4.1.2 Roční výnosy elektrické energie

Množství vyrobené energie se odvíjí od hydrologických podmínek dané lokality spolu s kombinací parametrů zvolených komponentů MVE. K tomu, abychom byli schopni vypočítat přesnější hodnotu vyrobené elektrické práce pro období jednoho roku, je třeba uvažovat kolísání průtoku během tohoto období a uvažovat také rozdílnou účinnost celého soustrojí elektrárny, která se v závislosti na zatížení také mění.

Na základě znalosti křivky denních průtoků, maximální a minimální hltnosti turbíny, účinnosti této turbíny v závislosti na její hltnosti a účinnosti dalších technologických prvků jako převodů či generátoru, u kterého se podobně jako u turbíny mění účinnost přeměny energie v závislosti na jeho zatížení, budeme schopni vypočítat množství vyrobené energie MVE za dobu jednoho roku. Následující graf znázorňuje pracovní oblast turbíny Kaplan od společnosti Chlouba vzhledem ke křivce denních průtoků lokality. Na první pohled je patrné, že turbína nevyužívá velké části průtoku, jež je k dispozici značnou část roku. Zároveň lze z grafu vyčíst nutnost zastavení provozu elektrárny z důvodu nedostatečného průtoku, a to přibližně na dobu 28 dní během jednoho roku.

Chceme-li stanovit celkovou roční výrobu elektrické energie za období celého roku, musíme v závislosti na zmíněné křivce sečíst dílčí výrobu elektrické energie v jednotlivých úsecích této křivky spolu s uvažováním příslušných hodnot průtoku, spádu a měnicí se účinnosti celého zařízení v závislosti na jeho hltnosti či zatížení.



Graf 3: Pracovní oblast Kaplanovy turbíny společnosti Chlouba spol. s.r.o.

Křivku denních průtoků lze následně rozdělit do několika oblastí, jež se vyznačují určitou hodnotou minimálního průtoku. Vzhledem k charakteru měření se tyto oblasti většinou vyznačují dobou trvání 30 dní a omezeny jsou zpravidla maximálním a minimálním průtokem. Například z Grafu 3 lze vyčíst, že průtok po dobu alespoň 240 dní v oce dosahuje hodnoty 170 l/s, ale zároveň alespoň 210 dní v roce dosahuje 240 l/s. Proto vypočítáme dílčí hodnotu elektrické energie při průtoku 170 l/s jen pro období 30 dní a podobným odčítáním

určíte tuto hodnotu pro celý průběh křivky. Vzhledem k nedostačujícímu minimálnímu průtoku ve spodní části křivky musíme po výpočet celkový počet dní omezit na 327 dní. Vzhledem k maximální hltnosti turbíny 300 l/s bude poté po dobu 210 dní ze zmíněných 327 počítáno s tímto průtokem.

Elektrický výkon pro jednotlivé oblasti stanovíme pomocí vzorce 1.3, přičemž jsme již schopni přesněji určit celkovou účinnost celého zařízení h . Tu vyjádříme pomocí vztahu 4.1.

$$h = h_T \cdot h_P \cdot h_g [-] \quad (4.1)$$

kde h_T = účinnost turbíny, [-]

h_P = účinnost převodu, [-]

h_g = účinnost generátoru, [-]

Jednotlivé hodnoty výroby elektrické energie následně vypočítáme dosazením do vztahu:

$$A_i = P \cdot M \cdot 24 [kWh] \quad (4.2)$$

kde P = elektrický výkon při daném průtoku, [kW]

M = počet dní chodu

24 = počet hodin chodu/den

Dosazením příslušných hodnot budeme schopni sestavit následující tabulku, jež udává kromě odpovídajících hodnot průtoků a účinností i přehled výkonů a celkové elektrické energie pro jednotlivá zmíněná období.

| M [dny] | Q [m ³ /s] | η_g [-] | $\eta_T \cdot \eta_P$ [-] | P [KW] | Ai [KWh] |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,30 | 0,83 | 0,65 | 6,70 | 4825,97 |
| 30 | 0,24 | 0,82 | 0,64 | 5,25 | 3782,48 |
| 30 | 0,17 | 0,82 | 0,64 | 3,80 | 2733,56 |
| 30 | 0,11 | 0,82 | 0,64 | 2,41 | 1732,31 |
| 27 | 0,05 | 0,72 | 0,56 | 0,97 | 627,96 |
| průměr pro Q , $\eta_T \cdot \eta_P$, η_g za dobu M = 327 dní pro Ai za dobu M = 30 dní | 0,24 | 0,82 | 0,64 | 5,44 | 3913,59 |
| celková roční výroba elektrické energie | | | | | 42658,10 |

Tab. 20: Množství vyrobené energie za dobu jednoho roku

Celková roční výroba elektrické energie se následně vypočítá pomocí vzorce 4.3.

$$A_R = \sum_1^{365} A_i \text{ [kWh]} \quad (4.3)$$

kde A_R = roční výroba elektrické energie, [kWh]

A_i = výroba elektrické energie při určitém průtoku, [kWh]

Dosazením do vztahu získáme hodnotu 42 658,1 kWh vyrobené elektrické energie za dobu jednoho roku. Pro další výpočty převedeme tuto hodnotu na $A_R = 42,658$ MW. [7][29]

4.1.3 Rozbor návratnosti stavby

Když již známe celkovou hodnotu nákladů i vyrobené elektrické energie dané MVE, bude dalším logickým krokem určení doby, kdy se nám daná investice vrátí, případně kolik bude následně vydělávat. K tomu abychom toto mohli určit, potřebujeme nejprve znát hodnotu výnosů elektrárny, která je závislá na výši výkupní ceny energie (kapitola 3.3.1). Jak již bylo zmíněno, výrobce má na výběr využít pevné výkupní ceny energie, nebo zvolit formu zelených bonusů v kombinaci s prodejem elektřiny některému z obchodníků za tržní cenu. Situace je taková, že většinou se vyplatí možnost druhá, ale výrobce je poté nucen sledovat vývoj trhu a na případný pokles příslušné tržní ceny reagovat například změnou volby obchodníka popřípadě přechodem na výkupní cenu pevnou. Pro tento případ budeme uvažovat volbu pevné výkupní ceny, která je garantována a výsledná doba návratnosti tak bude představovat spíše maximální než ideální dobu.

Elektrárna Chlumský mlýn dosáhne vzhledem k rekonstrukci zařízení a absenci prvků starších 5 let na výkupní cenu 2450 Kč za 1 MWh. Celkový výnos z energie vyrobené za jeden rok C_R určíme jako násobek této výkupní ceny s roční výrobou elektrické energie dle vztahu:

$$C_R = C_{\min} \cdot A_R \text{ [Kč]} \quad (4.4)$$

kde C_{\min} = minimální výkupní cena energie, [Kč/MWh]

Dosazením do vzorce 4.4 dostáváme:

$$C_R = 2450 \cdot 42,6581 = 104512,345 \text{ Kč}$$

Se zaokrouhlením na celé koruny tedy dostáváme celkovou výši zisku z výroby elektrárny $C_R = 104\,512$ Kč. Opět se jedná jen o spekulativní informaci. Skutečná hodnota bude záviset, jak již bylo řečeno, na hydrologických podmínkách, poruchovosti daného zařízení a jiných faktorech.

Dalším krokem je již samotný výpočet doby návratnosti investice. Stejně jako při výpočtu výkonu konkrétní MVE, i zde můžeme učinit pouze hrubý odhad a zanedbat mnohé vlivy na investici, nebo zvolit složitější postup výpočtu a zahrnout další faktory, jež nám sice

návratnost prodlouží, ale zároveň její hodnotu uvedou do reálných mezí. První z variant je tzv. prostá doba návratnosti, která se určí z jednoduchého vztahu:

$$T_s = \frac{IN}{CF} [-] \quad (4.5)$$

kde IN = investiční náklady, [Kč]

CF = cash flow/rok, kdy $CF = C_R$ -provozní náklady N_P , [Kč]

Při dosazení hodnoty provozních nákladů 10 000 Kč tedy dostaneme:

$$T_s = \frac{1030000}{104512 - 10000} = 10,89 \text{ let}$$

Podle tohoto předběžného odhadu se bude doba návratnosti blížit hodnotě 11 let. Varianta však zanedbává například položku daní, inflaci a další vlivy. Při jejich započítání bude doba návratnosti logicky delší.

Při detailnějším výpočtu nás bude zajímat především to, zdali a v jaké míře se nám vyplatí investovat do MVE v porovnání s jinými investičními možnostmi, jež máme s příslušným kapitálem k dispozici. K porovnání investic tak potřebujeme znát takzvané výnosové procento i_v , jež udává míru zhodnocení této případné investice, a to za zvolenou dobu úročení investice T_U . Na základě těchto informací budeme schopni vypočítat tzv. anuitu, která bude vyjadřovat současnou hodnotu částek, jež nám investice pravidelnými výnosy přinese. To poslouží k porovnání investice s jinými možnostmi v podobě vložení částky investičních nákladů na spořicí účet apod. Nejprve vyjádříme kvocient q odvozený z výnosového procenta i_v pomocí vztahu:

$$q = 1 + \frac{i_v}{100} [-] \quad (4.6)$$

kde i_v = výnosové procento, [-]

Anuitu následně vyjádříme pomocí doby úročení vkladu T_U a kvocientu q ze vztahu:

$$a = \frac{(q-1) \cdot q^{T_U}}{(q^{T_U} - 1)} [-] \quad (4.7)$$

kde a = anuita, [-]

T_U = doba úročení vkladu, [roky]

Vzhledem k charakteru investice a spočtenému hrubému odhadu návratnosti, můžeme zvolit dobu úročení vkladu 15 let, což bude zároveň představovat dobu, v níž chceme dosáhnout stejného výnosu jako v případě druhé investice. Výnosové procento v případě částky 1030000 Kč investované na tuto dobu zvolíme v hodnotě 5%, což představuje očekávaný procentuelní výnos v případě druhotné investice. Po dosazení těchto hodnot

získáme:

$$q = 1 + \frac{i_v}{100} = 1 + \frac{5}{100} = 1,05$$

$$a = \frac{(q-1) \cdot q^{T_v}}{(q^{T_v} - 1)} = \frac{(1,05-1) \cdot 1,05^{15}}{(1,05^{15} - 1)} = 0,09634$$

Následně můžeme vyjádřit hodnotu průměrných výrobních nákladů na dobu jednoho oku N_r pomocí vzorce:

$$N_r = a \cdot N_C + N_P \quad [-] \quad (4.8)$$

kde N_C = celkové náklady, [Kč]

N_P = roční provozní náklady, [Kč]

Veškeré potřebné hodnoty jsou již známy a můžeme tedy dosadit do vzorce.

$$N_r = a \cdot N_C + N_P = 0,09634 \cdot 1030000 + 10000 = 109230,2 \text{ Kč}$$

Hodnotu N_r poté využijeme pro výpočet ceny energie, kterou MVE vyrobí. Tuto veličinu označíme jako C_e a je dána poměrem zmíněných výrobních nákladů na dobu jednoho roku a příslušného množství vyrobené energie. Vyjádřena je vztahem 4.8.

$$C_e = \frac{N_r}{A_R} \quad [Kč/kWh] \quad (4.9)$$

kde A_R = množství vyrobené energie za rok, [kWh]

Po dosazení do vzorce získáme hodnotu $C_e=2,56$ Kč/kWh, která by odpovídala zhodnocení dané na jednotku kWh v případě zmiňované náhradní investice. Pokud bychom tedy takovou opravdu našli, jevila by se v období 15ti let o něco málo výhodněji vzhledem k výkupní ceně 2,45 Kč/kWh, jež je platná pro zmiňovanou MVE. Vzorec lze takto obměňovat z pohledu délky investice i jejího zhodnocení a zhruba tak porovnat výhodnost investice do dané stavby.

Pokud bychom investici MVE měli rozložit detailněji, je vhodné zpracovat plán hospodaření pro několik prvních let provozu elektrárny. Pomůže nám to znázornit tok peněz v průběhu návratnosti a následného prospívání MVE. Obvykle se takovýto rozbor znázorňuje pro dobu životnosti daného projektu, v případě MVE tedy většinou 30 let. K tomuto rozboru je nutné znát následující hodnoty:

- tržby MVE za dobu jednoho roku $C_R = 104\,512,35$ Kč,
- provozní náklady $N_P = 10\,000$ Kč,
- výše odpisů O pro jednotlivé roky

Pro jejich určení je nutné stanovit hodnotu stavebního části MVE, jež spadá do 5.

Odpisové skupiny a odepisuje se minimálně po dobu 30 let, a hodnotu strojní části, jež spadá do 3. odpisové skupiny a odepisuje se minimálně po dobu 10 let (viz. kapitola 3.1.1). Výpočet odpisů pro jednotlivé roky se určí v závislosti na volbě rovnoměrného či zrychleného způsobu odepisování podle platných předpisů ze vztahu:

$$O = N \cdot s_K [Kč] \quad (4.10)$$

kde N = investiční náklady na odepisovanou položku, [Kč]

s_K = odpisový koeficient, [-]

Zvolíme-li rovnoměrné odepisování, výpočet odpisů stavební části O_S o nákladech N_S a technologické části O_T o nákladech N_T bude pro první rok vypadat následovně:

$$O_S = N_S \cdot s_K = 410000 \cdot 0,014 = 5740 \text{ Kč}$$

$$O_T = N_T \cdot s_K = 620000 \cdot 0,055 = 34100 \text{ Kč}$$

Pro následujících 29 let v případě O_S a 9 let v případě O_T pak:

$$O_S = N_S \cdot s_K = 410000 \cdot 0,034 = 13940 \text{ Kč}$$

$$O_T = N_T \cdot s_K = 620000 \cdot 0,105 = 65100 \text{ Kč}$$

- hrubý zisk Z , který bude následně tvořit základ pro výpočet daní, podle vzorce:

$$Z = C_R - N_p - O [Kč] \quad (4.11)$$

Kde O tvoří součet odpisů O_S a O_T vždy za jednotlivý rok. Výpočet pro první rok provozu bude tedy po dosazení:

$$Z = C_R - N_p - O = 104512,35 - 10000 - (5740 + 34100) = 54672,35 \text{ Kč}$$

Pro následujících 9 let potom:

$$Z = C_R - N_p - O = 104512,35 - 10000 - (13940 + 65100) = 15472,35 \text{ Kč}$$

- čistý zisk $Z_{\check{c}}$, který znázorňuje hodnotu zisku po odečtení daní.

Ještě nedávno platilo podle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů dle §4 odst. 1e a §19 odst. 1d osvobození od daně z příjmů z provozu MVE do výkonu 1 MW pro fyzické a právnické osoby, a to pro kalendářní rok, v němž byla MVE uvedena do provozu a 5 let bezprostředně následujících. To však bylo změněno uvedením v platnost zákona č. 346/2010 Sb. v rámci jeho první části – Změna zákona o daních z příjmů, který s účinností od 1.1.2011 toto osvobození zrušil. Navíc v našem případě již elektrárna v provozu dříve byla a osvobození od daně uplatnila, takže s aktuální rekonstrukcí by ani v případě platnosti toho osvobození nebylo možné využít. $Z_{\check{c}}$ se určí podle vzorce:

$$Z_{\check{c}} = Z - Z \cdot d_p [Kč] \quad (4.12)$$

kde d_p = daň z příjmu, pro rok 2012 v hodnotě 19%

Po dosažení dostaneme hodnotu $Z_{\check{c}}$ pro první rok 44284,6 Kč, pro následujících 9 let pak hodnotu 12532,6 Kč. Tato hodnota nám ale o návratnosti elektrárny nic nevypráví, jelikož nás v případě investice do MVE bude zajímat především doba návratnosti z pohledu toku hotovosti v rámci provozu elektrárny, který značíme jako Cash Flow (CF). Znázorníme tak hotovostní toky v jednotlivých letech jako rozdíl peněžních příjmů a výdajů pomocí vztahu:

$$CF_i = C_R - N_p - Ni - Dz - N\acute{u} - S \text{ [Kč]} \quad (4.12)$$

kde Ni = investiční náklady na realizaci, jež se započítávají pouze první rok [Kč]

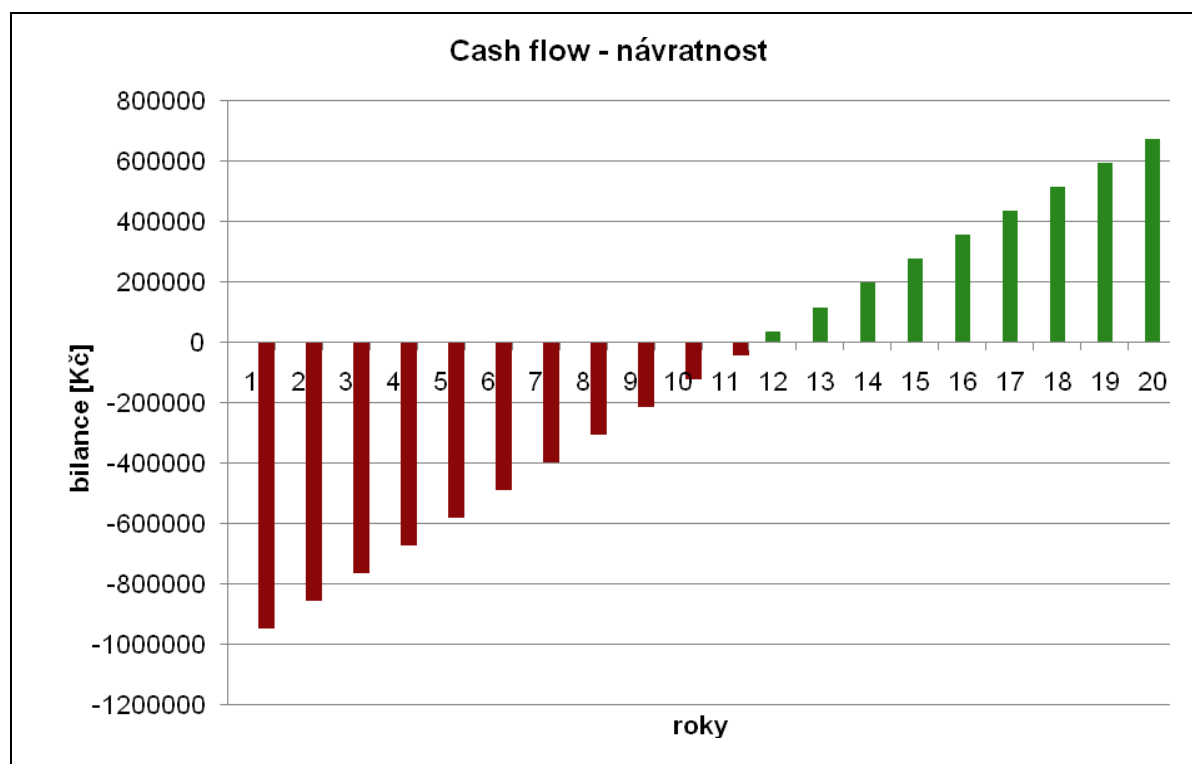
$$Dz = \text{daňové zatížení vypočtené jako } Dz = (Z - N\acute{u}) \cdot d_p \text{ [-]}$$

$N\acute{u}$ = úroky z úvěru dle splátkového kalendáře [Kč]

S = úmor, což je částka, o kterou ročně snížíme dluh způsobený úvěrem [Kč]

Tento tok se vyjádří pro každý jednotlivý rok provozu, přičemž hodnoty se postupně sčítají. V roce, kdy hodnota výsledku bude kladná, bude zároveň označovat i rok návratnosti vložených investic. Metoda ovšem zanedbává vliv inflace, kdy by se pro její vyjádření museli hodnoty tzv. diskontovat, neboli počítat s možností jakési ušlé příležitosti investice kapitálu do jiné výnosné příležitosti o určitém zhodnocení. [7][29][30]

Graf 4 již znázorňuje výsledný průběh toku hotovosti pro prvních 20 let provozu MVE.



Graf 4: Rozbor návratnosti vyjádřený pomocí Cash Flow – návrh Chlouba s.r.o.

K navrácení vložených prostředků tedy dojde v průběhu dvanáctého roku provozu, načež vzhledem k životnosti 30 let bude po dalších 17 let MVE zisková. V porovnání s výpočtem hrubé doby návratnosti je tedy návratnost vyjádřená pomocí toku hotovosti Cash Flow v jednotlivých letech přibližně o 1 rok delší. V průběhu životnosti brané u MVE jako časový interval 30ti let, by investor dosáhl celkového zisku v hodnotě 1 462 344 Kč. Spolu s tímto údajem a s dobou návratnosti necelých 12 let by se dala investice označit za poměrně výhodnou. [29]

4.2 Nabídka společnosti CINK Hydro-Energy k.s.

Tato nabídka je, na rozdíl od předchozí, zaměřena na maximální využití hydroenergetického potenciálu lokality a na úkor vyšší investice by tak měla disponovat podstatně vyššími výkonovými poměry. Rekonstrukce zahrnuje větší přestavbu nynější budovy elektrárny než v případě první nabídky z důvodu nedostatečného místa pro rozměrnější strojní vybavení.

4.2.1 Technický návrh – parametry

Obsahem dodávky, vzhledem k nemožnosti použití stávajícího zařízení kvůli odlišné výkonové relaci, je kompletní soustrojí zahrnující turbínu s příslušenstvím, hydraulickou jednotku, převod, generátor, rozvaděč a řídicí systém. Elektrárna tak bude splňovat plně automatický provoz s jen příležitostným dozorem za účelem promazání ložisek apod. Regulace MVE bude provedena dle hladiny vody u odběru, před tlakovým potrubím. Řídicí systém s programovatelným PLC automatem bude obsahovat veškeré informační a kontrolní úrovně, které zajistí bezpečný provoz a především pak vysokou účinnost a spolehlivost hydroagregátu. Umožněno bude díky tomuto systému i připojení k dálkové komunikaci pomocí systému SCADA nebo díky GSM modemu pro možnost dálkového přenosu dat a hlášení.

Hydraulické charakteristiky:

| | | | | |
|--------------------------------------------------|-----------|---|------|-----|
| hrubý spád | H_b | = | 3,80 | m |
| délka potrubí | L | = | 3,00 | m |
| hydraulické ztráty | \sum_t | = | 0,20 | m |
| čistý spád | H_{net} | = | 3,60 | m |
| maximální průtok při H_{net} | Q_{max} | = | 800 | l/s |
| minimální průtok při H_{net} | Q_{min} | = | 96 | l/s |
| minimální průtok mimo garantovaný rozsah | Q | = | 48 | l/s |

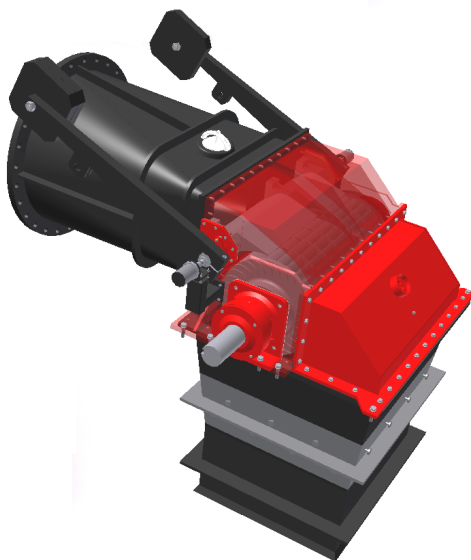
Tab. 21: Hydraulické charakteristiky návrhu společnosti CINK Hydro-Energy k.s.

Turbína s příslušenstvím

- 2 – komorová průtoková turbína, SH 4.138/8g (Obr. 7)
- průměr oběžného kola: 400 mm
- šíře oběžného kola: 1.380 mm
- průměr hřídele: 80 mm
- jmenovité otáčky: 179/min,
- průběžné otáčky max. 414/min
- 2 x nezávislé regulační klapky uložené pomocí bezúdržbových ložisek
- nátokové potrubí
- délka savky: 1,5 m

Otáčky a poloha klapky jsou snímány speciálními senzory. Valivá ložiska jsou navržena pro provoz více než 100 000 hodin. Turbína disponuje masivním základovým rámem a robustní svařovanou skříní. K dispozici je závaží na ocelových ramenech pro případ nouzového odstavení. Ochrana proti korozi je zajištěna základním nátěrem min 100 μ m a vrchním lakem min. 100 μ m. Ve vzdálenosti 1 m je úroveň hluku turbíny maximálně 90 dB.

Tab. 22 obsahuje přehled výkonových poměrů turbíny v závislosti na její hltnosti a s ní související účinnosti.



Obr. 7: 2-komorová průtoková turbína SH 4.138/8g

| | | | | | | |
|--------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| hltnost turbíny [%] | 100% | 90% | 60% | 30% | 17% | 12% |
| množství vody Q [l/s] | 800 | 720 | 480 | 240 | 136 | 96 |
| účinnost η_T [%] | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 75% |
| výkon turbíny P_g [kW] | 23 | 20 | 14 | 7 | 4 | 2,5 |

Tab. 22: Výkonové poměry turbíny v závislosti na hltnosti

Hydraulická jednotka

- hliníková nádrž na olej
- zubové čerpadlo s elektrickým pohonem
- tlakový akumulátor
- ovládání pomocí proporcionálních a přímých ventilů
- hydraulické válce
- galvanizované trubky, tlakové armatury

Jednotka musí být umístěna v prostředí od 0°C do 40°C při maximální vlhkosti 90%, to vše v maximální výšce 1000 m.n.m.

Spojka, řemenový převod

- řemenový převod s klínovým řemenem
- ložiska na předloze, ložiskové domky
- napínací ústrojí řemene

Součástí provedení je i ochranný kryt řemene a rotujících částí. Bezpečnostní faktor je úměrný dvojnásobku nominálního výkonu.

Asynchronní generátor

- horizontální konstrukce
- nominální výkon PN = 20 kW (včetně 15% servisního faktoru)
- jmenovité otáčky 1.021/min.
- průběžné otáčky max. 2.352/min (15 min)
- frekvence 50 Hz, napětí 400 V
- krytí IP 55, chlazení IC 01, třída izolace F/B
- senzory pro měření teploty vinutí a ložisek 5 x PT100
- kotvy pro generátor

Valivá ložiska jsou navržena pro více než 40 000 hodin provozu. Generátor má vlastní ventilaci a vyhřívání vinutí je provedeno antikondenzačně.

Řídicí systém

- SIMATIC S7-300
- 5,6“ barevný LCD panel v provedení touch screen
- vizualizace procesů
- automatická pětistupňová kompenzace jalového výkonu, jmenovitý instalovaný výkon 13 kVAr/400V, regulace $\cos \varphi$ 0,85 – 0,98
- zdroj záložního napětí pro řídicí systém (včetně osvětlení)

- interface pro dálkové ovládání a signalizaci (SCADA)
- komunikační kabel (Cu) mezi turbínou a řídicím systémem
- tlaková hladinová sonda 0-1 m/ 4-20 mA, včetně držáku a kabelu

Systém zajišťuje automatický provoz MVE s občasným dozorem, paralelně s veřejnou elektrickou sítí. Provedení umožňuje manuální regulaci a disponuje poruchovou automatikou, která v případě identifikace závady zajistí odstavení soustrojí a po pomnutí poruchy pak jeho opětovné najetí. Vše je provedeno v robustní ocelové skříni s otvory pro kabely na spodní straně.

Rozvaděč

- napětí 400 V, frekvence 50 Hz
- ochrany: podpět'ová, přepět'ová, frekvenční, nadproudová, zpětně wattová, nesymetrie proudu
- hlavní vypínač generátoru a analyzátor sítě

Stejně jako u řídicího systému je provedení v robustní ocelové skříni s otvory pro kabely na spodní straně. Silový kabel mezi generátorem a rozvaděčem je v hliníkovém provedení.

4.2.2 Náklady na stavbu a provoz

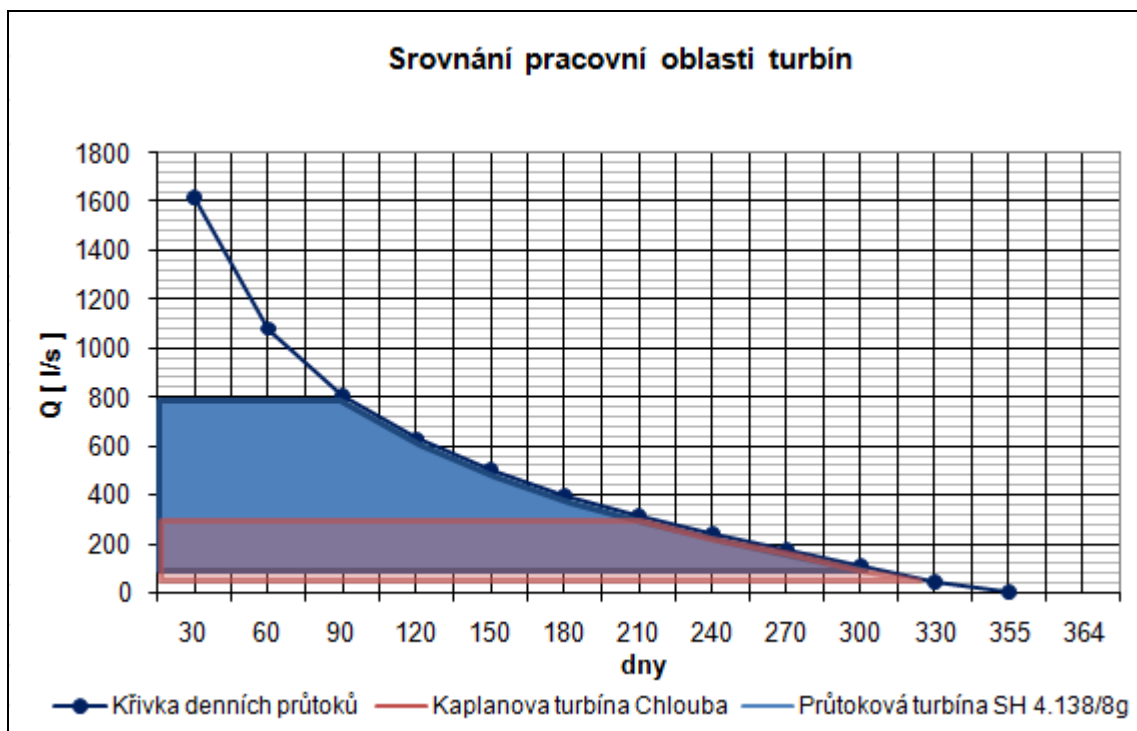
Celkové náklady na uvedené strojní zařízení jsou odhadovány na 1 750 000 Kč. Dále je nutno započítat náklady na opravu náhonu a stavební úpravy budovy elektrárny vzhledem k vyšší prostorové náročnosti soustrojí. Co se týče financování projektu, bude v tomto případě počítáno jak s úplným samofinancováním projektu, tak i částečným financováním pomocí úvěru, načež budou tyto varianty srovnávány. Parametry úvěru byly získány na základě zadání Komerční bance a spolu s přehledem investičních nákladů jsou uvedeny v následující tabulce.

| investiční náklady [Kč] | |
|-------------------------|-----------|
| strojní část | 1 750 000 |
| stavební část | 550 000 |
| celkem | 2 300 000 |
| provozní náklady | 6 000 |
| zdroje | |
| vlastní kapitál [Kč] | 1 800 000 |
| úvěr [Kč] | 500 000 |
| úroková sazba [%] | 9,59 |
| doba splácení (roky) | 2 |

Tab. 23: Přehled investičních nákladů a jejich zdrojů se zadáním úvěru v Komerční bance

4.2.3 Roční výnosy elektrické energie

Stejně jako v předchozím případě (kapitola 4.1.2) nejprve stanovíme pracovní oblast zvolené turbíny v závislosti na daných hydrologických podmínkách lokality a následně vypočteme roční výnosy elektrické energie. Graf 4 znázorňuje pracovní oblast průtokové turbíny SH 4.138/8g pro zajímavost v porovnání s Kaplanovou turbínou Chlouba z předchozího návrhu. [7]



Graf 5: Srovnání pracovní oblasti Kaplanovi turbíny Chlouba s průtokovou turbínou SH 4.138/8g

Na základě znalosti průtokových poměrů, spádu a účinnosti jednotlivých částí soustrojí pak stejně jako v předchozím případě sestavíme tabulku s výpočtem množství vyrobené energie za jeden rok (Tab. 24).

| M [dny] | Q [m ³ /s] | $\eta_T \cdot \eta_P \cdot \eta_g$ [-] | P [KW] | Ai [KWh] |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|--------|----------|
| 30 | 0,80 | 0,69 | 19,44 | 13995,31 |
| 30 | 0,80 | 0,69 | 19,44 | 13995,31 |
| 30 | 0,80 | 0,70 | 19,66 | 14158,04 |
| 30 | 0,63 | 0,70 | 15,49 | 11149,46 |
| 30 | 0,50 | 0,69 | 12,15 | 8747,07 |
| 30 | 0,40 | 0,68 | 9,53 | 6864,41 |
| 30 | 0,31 | 0,68 | 7,49 | 5394,70 |
| 30 | 0,24 | 0,67 | 5,65 | 4066,78 |
| 30 | 0,17 | 0,67 | 4,08 | 2939,01 |
| 30 | 0,11 | 0,66 | 2,56 | 1840,34 |
| 5 | 0,09 | 0,59 | 1,94 | 233,04 |
| Průměr pro Q , $\eta_T \cdot \eta_P \cdot \eta_g$ za dobu M = 305 dní pro Ai za dobu M = 30 dní | 0,44 | 0,67 | 11,39 | 8201,65 |
| celková roční výroba elektrické energie | | | | 83383,47 |

Tab. 24: Množství vyrobené energie za dobu jednoho roku

Dosažením do vztahu 4.3 následně získáme celkové množství vyrobené elektrické energie za dobu jednoho roku v hodnotě 83 383,47 kWh. Pro další výpočty tuto hodnotu opět převedeme na $A_R = 83,383$ MW. [7]

4.2.4 Rozbor návratnosti stavby

Opět jako v minulém případě vyjádříme tok hotovosti Cash Flow pro jednotlivé roky provozu elektrárny a tyto promítneme do grafu. Výkupní cena energie bude v tomto případě počítána po variantu prodeje společnosti E.ON za cenu 1,26 Kč/kWh, což je aktuální cena pro výkup silové elektrické energie pro rok 2012. Tato částka se samozřejmě rok od roku mění, ale investor má v případě nespokojenosti právo každý rok variantu prodeje energie změnit. Vzhledem k vyšší investici v tomto případě a s tím související vyšší výkonové relaci se cena výkupu energie na konečném rozboru návratnosti o to více promítne a je tedy v nejlepším zájmu investora, zvláště pak v případě využití úvěru, dbát každý rok na zajištění co nejvyšší výkupní ceny. Zároveň bude uplatněno právo na zelené bonusy ve výši 1,40 Kč/kWh. Hodnoty dosadíme do vzorce 4.4 a získáme částku ročních tržeb v hodnotě:

$$C_R = (1260 + 1400) \cdot 83,383 = 221798,78$$

Forma odepisování stavební i strojní části majetku MVE bude stejně jako v předchozím případě volena rovnoměrně. Zároveň je počítána varianta, kdy je na část investičních nákladů využít úvěr (dle Tab. 23). Budeme tak schopni určit, jak významně se promítne splácení tohoto případného úvěru do celkového rozboru návratnosti. V každé bance je v rámci dohody

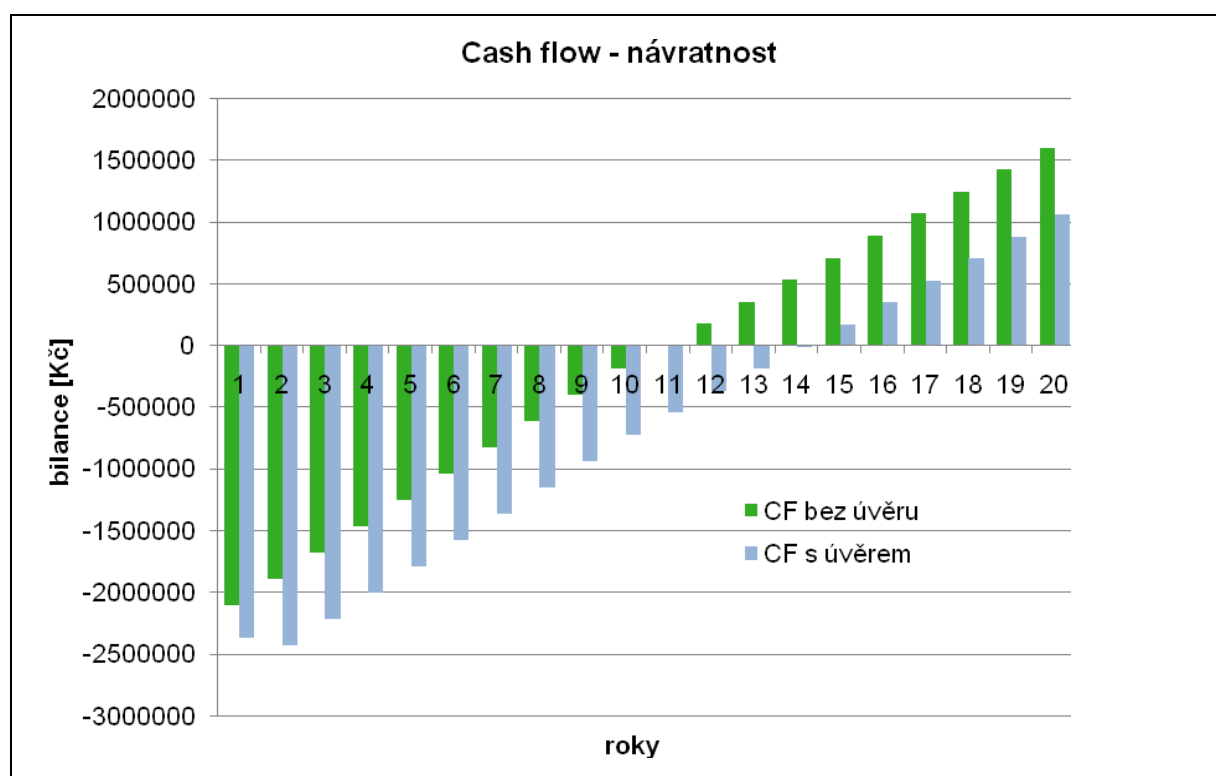
o poskytnutí úvěru sestaven splátkový kalendář, podle kterého jsme schopni určit výši splátek úroku a úmoru daného úvěru. Splátky úroku zde představují tu část, kterou splácíme fiktivní částku určenou úrokem z dlužné částky. Úmor poté představuje takovou částku, o kterou ročně snížíme stav dluhu. Splátky úvěru lze odečítat ze základu pro výpočet daní, avšak u úmoru, jelikož je placen ze zisku provozovatele, tato možnost není.

Následující tabulka obsahuje souhrnné údaje pro splátky v jednotlivých letech po součtu měsíčních částek úroku a úmoru pro příslušný rok dle nabídky úvěru od Komerční Banky.

| rok | počáteční hodnota dluhu [Kč] | úrok [Kč] | úmor [Kč] | roční splátka [Kč] |
|-----|------------------------------|-----------|-----------|--------------------|
| 1 | 500 000 | 37 666 | 238 070 | 275 736 |
| 2 | 261 931 | 13 805 | 261 931 | 275 736 |

Tab. 25: Přehled splátek úvěru pro jednotlivé roky

Hodnoty splátek úvěru a úmoru pro jednotlivé roky ovlivní výpočet daňového zatížení pro tyto roky a tím i celek rozboru návratnosti pro celé období (vzorec 4.12). Výsledné průběhy toku investic pro variantu úplného financování investorem a variantu částečného krytí nákladů za pomoci úvěru jsou znázorněny v Grafu 5. Opět je třeba připomenout, že zadané hodnoty nebyly diskontovány.



Graf 6: Rozbor návratnosti vyjádřený pomocí Cash Flow – návrh CINK Hydro-Energy s.r.o.

Při úplném financování investorem bude v tomto případě doba návratnosti přibližně 11 let a za 30 let provozu bude činit zisk z jejího provozu 3 380 910 Kč. Tato varianta by se za daných okolností dala považovat za ekonomicky přijatelnou. Oproti tomu v případě využití úvěru ve výši 500 000 Kč se tato doba prodlouží vlivem jeho splácení o více než 3 roky a tento zisk bude ve výši 2 839 218 Kč. Patrná změna v průběhu toku financí je právě v prvních dvou letech provozu elektrárny, kdy se investor potýká se splácením daného úvěru. Vezmeme-li v úvahu výši úvěru vzhledem k celkové výši investice do MVE, dospějeme k závěru, že v případě financování úvěrem a vlastním kapitálem v poměru 1:1 by doba návratnosti narostla do ekonomicky již nevýhodných hodnot kolem 20 let. Pokud tedy investor nedisponuje příslušným kapitálem nebo možností razantně výhodnější půjčky, je v tomto i mnoha jiných případech podobná investice spíše nevýhodná. [7][29][30]

5 Závěr

Cílem práce bylo přiblížit problematiku procesu návrhu či rekonstrukce MVE od počátečního výběru lokality, přes možnosti na trhu s příslušným zařízením, související legislativu, až po energeticko-ekonomický rozbor navrhovaných možností a jejich technických specifikací.

Na základě porovnání třech zastaralých vodních děl umožňující finančně ne příliš nákladnou rekonstrukci bylo vybráno to s nejvyšším hydroenergetickým potenciálem a následně byly popsány dva návrhy řešení k jeho rekonstrukci a zpracovány jejich energeticko-ekonomické bilance. První návrh, jenž využívá nabídky firmy Chlouba s.r.o. a vlastních možností investora v rámci výstavby, je zaměřen na redukci vstupních investic na úkor nižšího využití hydroenergetického potenciálu lokality. Návrh druhý byl naopak zaměřen na maximální využití tohoto potenciálu za cenu vyšších vstupních nákladů za plně odpovídající soustrojí a rozsáhlejší přestavbu stávající MVE. Tato varianta, založená na návrhu rekonstrukce společnosti CINK Hydro-Energy s.r.o., byla propočtena po případ plného financování investorem i pro částečné krytí nákladů pomocí úvěru.

Tabulka 26 obsahuje souhrn základních parametrů energeticko-ekonomické bilance uvedených řešení.

| varianta | Chlouba s.r.o.+vlastní práce | CINK Hydro-Energy s.r.o. | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|
| vlastní kapitál [Kč] | 1030000 | 2300000 | 1800000 |
| úvěr [Kč] | - | - | 500000 |
| množství vyrobené energie/rok [kWh] | 42658 | 83383,47 | 83383,47 |
| výkupní cena [Kč/kWh] | 2,45 | 1,26 + 1,40 | 1,26 + 1,40 |
| roční tržby [Kč] | 104512,3 | 221798,8 | 221798,8 |
| zisk za 30 let provozu [Kč] | 1462344 | 3380910 | 2839218 |
| přibližná doba návratnosti (roky) | 11,5 | 11 | 14 |

Tab. 26: Energeticko-ekonomická bilance jednotlivých návrhů rekonstrukce MVE Chlumský mlýn

První varianta s návratností menší než 12 let při poměrně nízké vstupní investici by se dala považovat za poměrně výhodnou. Navíc počítá s využitím minimální garantované výkupní ceny 2,45 Kč/kWh, takže pomocí vhodné kombinace dotace zelených bonusů a prodeje energie některému z obchodníků by se roční tržby daly případně navýšit.

Varianta druhá disponuje návratností 11 let v případě úplného financování investorem a využívá zmiňované možnosti výkupní ceny silové elektřiny (společnosti E.ON) v kombinaci se zeleným bonusem. Poměr vstupních výdajů obou variant je zhruba úměrný poměru jejich zisku za dobu provozu a z hlediska dlouhodobé investice je tedy vzhledem k trvalým vyšším výnosům druhá varianta výhodnější. To platí však především pro případ, disponuje-li investor

potřebným kapitálem a nemusí tak využít možnosti úvěru. V takovém případě (varianta třetí) se splácení daného úvěru na toku hotovosti razantně promítne, a byť jen částečné krytí nákladů tímto způsobem může navýšit dobu návratnosti do ekonomicky nepřijatelných hodnot. Doba návratnosti 14 let by sice mohla být ještě považována za přijatelnou, ale faktem je, že obvykle je zapotřebí úvěru podstatně vyššího a návratnost tímto neúměrně roste.

Z hlediska energetického je druhý návrh vzhledem k 95% nárůstu množství vyrobené energie bezpochyby výhodnější, především pak z pohledu dlouhodobé investice s minimálními nároky na údržbu a novým, spolehlivějším, zařízením. Z ekonomického hlediska tato varianta také vyniká, především pak stabilním vyšším výnosem a pravděpodobně také delší životností zařízení s nižšími náklady na provoz a údržbu. Otázkou však zůstává nutnost využití úvěru a jeho případná velikost, která značně ovlivní dobu návratnosti stavby a tím samozřejmě atraktivnost investice. V případě varianty s využitím úvěru 500 000 Kč se ale stále jedná o poměrně výhodnou investici s relativně nízkou dobou návratnosti.

Vzhledem k nově zrušenému osvobození od daně z příjmů z provozu MVE do výkonu 1 MW pro fyzické a právnické osoby po dobu prvních 5 let jejich provozu podle zákona č. 346/2010 Sb. přišli investoři zároveň o možnost snadnějšího vyrovnání se s úvěrem, který je při stavbě nové MVE takřka nezbytný. Výkupní ceny energie z vodních elektráren navíc stále zaostávají za výkupními cenami energie ze slunečních elektráren či některých výroben na spalování biomasy a mnoho majitelů zastaralých vodních děl, kteří vzhledem k nižší investici nejsou zákonitě nuceni využít úvěr, tak s jejich rekonstrukcí odůvodněně váhá.

Je pravdou, že existuje mnoho dalších možností, jak výhodně investovat daný kapitál nutný k realizaci stavby, nutno však dodat, že v případě MVE jde o stabilní zdroj energie s jistými příjmy v dlouhém časovém horizontu. Stále se navíc jedná o nejefektivnější obnovitelný zdroj energie disponující takřka bezporuchovým provozem a šetrností k životnímu prostředí. České řeky stále disponují nevyužitým hydroenergetickým potenciálem či nespočetným množstvím zastaralých vodních děl vhodných k rekonstrukci, kde je otázka investice nanejvýš aktuální. Lze tedy jen doufat, že se tato oblast dočká větší podpory ze strany státních orgánů či ekologů a investoři již nebudou mít důvod s jejich stavbou váhat.

[27]

Použitá literatura

Monografické publikace

- [1] DUŠIČKA, Peter, et al. *Malé vodní elektrárny*. 2. vydání. Bratislava : Jaga group, v.o.s., 2003. 184 s.
- [2] GABRIEL, Pavel; ČIHÁK, František; KALANDRA, Petr. *Malé vodní elektrárny*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 321 s.
- [3] LEDNICKÁ, Miroslava; ČÍŽEK, Bedřich. *100 Let elektřiny pro veřejné osvětlení a domácnosti v Křemži*. Obec Křemže : Ing. Bedřich Čížek, 2006. 56 s.
- [4] GABRIEL, Pavel; KUČEROVÁ, Jitka. *Navrhování vodních elektráren*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2000. 195 s.
- [5] MELICHAR, Jan; VOJTEK, Jan; BLÁHA, Jaroslav. *Malé vodní turbíny : Konstrukce a provoz*. Praha : ČVUT v Praze, 1998. 299 s.
- [6] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny: Projektování a provoz*. Praha: Akademie věd České republiky, 2002. 271 s.
- [7] PAŽOUT, František. *Vodní elektrárny: Ekonomika a předpisy*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990. 504 s.

Internetové zdroje

- [8] CINK HYDRO ENERGY K.S. *CINK: Vodní turbíny a malé vodní elektrárny* [online]. © 2010 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/cz>
- [9] ČKD BLANSKO HOLDING, a.s. *ČKD BLANSKO: Small Hydro - Vodní turbíny a hydrotechnická zařízení* [online]. © 2007 [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: <http://www.ckdblansko.cz/small-hydro-vodni-turbiny-a-hydrotechnicka-zarizeni/-/>
- [10] DUMAT - SOUKROMÝ PODNIK V.O.S. *DUMAT - soukromý podnik v.o.s.: Technologické celky* [online]. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <http://www.dumat.cz/>
- [11] EXMONT - ENERGO A.S. *EXMONT - Energo a.s.: Výroba, rekonstrukce, opravy a montáže energetických zařízení* [online]. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <http://www.exmont.cz/>
- [12] HYDROHROM, s.r.o. *Vodní elektrárny: Komplexní řešení pro využití vodní energie* [online]. Hydrohrom s.r.o. Turbíny a vodní elektrárny, © 2000-2010 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.hydrohrom.cz/CZ/index.html>
- [13] MAVEL A.S. *MAVEL* [online]. 2005 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.mavel.cz/home.html>
- [14] P&S A.S. *P&S a.s.* [online]. art STUDIO PRESTO, © 2010 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: <http://www.p-s.cz/>
- [15] SH CONTROL S.R.O. *SH Control s.r.o.: Software a hardware pro řízení* [online]. SH Control, © 2008 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.shcontrol.cz/cz/>

- [16] ZIROMONT S.R.O. *Ziromont s.r.o.* [online]. © 2002 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.ziromont.cz/>
- [17] LAIKA, Viktor. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. 2001 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <http://mve.energetika.cz/>.
- [18] KOPEČNÝ, Karel. *TRUHLÁŘSTVÍ Karel Kopečný* [online]. 21.5.2003 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://karel.kopecny.sweb.cz/>
- [19] SOCHA, Přemysl. *Vodní kola: pro stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství* [online]. © 2009 - 2012 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.vodnikola.cz/>
- [20] *Pila Kudrna: Mlýnská kola se vrací, energie přírody* [online]. 2009 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.pilakudrna.cz/>
- [21] STROJÍRNY BRNO, a.s. *Strojírny Brno, a.s.* [online]. [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://www.strojirnybrno.cz/index.php?jazyk=cz&id=uvod>
- [22] GESS-CZ, s.r.o. *GESS-CZ, s.r.o.: Malé vodní elektrárny* [online]. 3.12.2009 [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <http://www.gess.cz/cz/male-vodni-elektrarny-snekove-turbiny.html>
- [23] Siemens: Generátory. SIEMENS, s.r.o. *Siemens: Industry Automation & Drive Technologies* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=d8c4eef3c2&ctxp=home>
- [24] Odštěpný závod Elektromotory Frenštát: Produkty. SIEMENS, s.r.o. *Siemens: Odštěpný závod Elektromotory Frenštát* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/industry/OZ_Frenstat/Pages/Produkty.aspx
- [25] TES VSETÍN S.R.O. *TES: Elektrické stroje pro klasické* [online]. © 2009 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.tes.cz/>
- [26] WIKOV HOLDING. *WIKOV* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.wikov.cz/cz/>
- [27] OPIČKA, František. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. Praha : 1999 [cit. 2010-05-10]. Vodní elektrárny. Dostupné z WWW: <http://www.spvez.cz/pages/voda.htm>.
- [28] ČSN online. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *ČSN online pro jednotlivce* [online]. 3.4. Praha [cit. 2012-02-05]. Dostupné z WWW: <http://csnonline.unmz.cz/>.
- [29] VAŠÍČEK, Jiří. *Zásady ekonomického hodnocení energetických projektů*. TOPINFO S.R.O. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. ČVUT FEL, 20.6.2005 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2565-zasady-ekonomickeho-hodnoceni-energetickyh-projektu>
- [30] M.C.SOFTWARE S.R.O. *Evidence majetku: Kalkulátor odpisů majetku* [online]. © 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://odpisy-majetku.mcsoftware.cz/index.php?kat=kalkulacka>

Zdroje obrázků, tabulek a grafů

- Obr. 1 vlastní zdroje
- Obr. 2 Průtoková turbína Ossberger. In: *CINK Hydro-Energy k.s.* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger>
- Obr. 3 CINK HYDRO-ENERGY K.S. Turbína Microcross. In: *CINK Hydro-Energy k.s.* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger?page=micro>
- Obr. 4 WIKOV: Malé vodní elektrárny - mechanické převodovky pro malé vodní elektrárny. In: WIKOV HOLDING. *WIKOV: Vodní energetika* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.wikov.cz/pages_data/cz_hydro_cz.pdf
- Obr. 5 WIKOV: Malé vodní elektrárny - mechanické převodovky pro malé vodní elektrárny. In: WIKOV HOLDING. *WIKOV: Vodní energetika* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.wikov.cz/pages_data/cz_hydro_cz.pdf
- Obr. 6 vlastní zdroje
- Obr. 7 CINK Hydro-Energy k.s.
- Graf 1 vlastní zdroje
- Graf 2 [17][22]
- Graf 3 vlastní zdroje
- Graf 4 vlastní zdroje
- Graf 5 vlastní zdroje
- Graf 6 vlastní zdroje
- Tab. 1 ČHMÚ, České Budějovice
- Tab. 2 ČHMÚ, České Budějovice
- Tab. 3 ČHMÚ, České Budějovice
- Tab. 4 [17][18]
- Tab. 5 [8][10][14]
- Tab. 6 [8][9][12][21]
- Tab. 7 [8][9][10][12][13][14][16][21]
- Tab. 8 [8][9][12][13][21]
- Tab. 9 [8]

| | |
|---------|------------------------|
| Tab. 10 | [23] |
| Tab. 11 | [24] |
| Tab. 12 | [25] |
| Tab. 13 | [23] |
| Tab. 14 | [25] |
| Tab. 15 | [23] |
| Tab. 16 | [26] |
| Tab. 17 | [8][14] |
| Tab. 18 | [27] |
| Tab. 19 | vlastní zdroje |
| Tab. 20 | vlastní zdroje |
| Tab. 21 | vlastní zdroje |
| Tab. 22 | CINK Hydro-Energy k.s. |
| Tab. 23 | vlastní zdroje |
| Tab. 24 | vlastní zdroje |
| Tab. 25 | vlastní zdroje |
| Tab. 26 | vlastní zdroje |
| Tab. 27 | [27] |
| Tab. 28 | [27] |

Přílohy

Příloha č. 1 – Výkupní ceny a zelené bonusy pro špičkové a pološpičkové akumulční MVE

Špičkový či pološpičkový provoz akumulční MVE³ je stanoven v příslušném povolení k nakládání s vodami nebo v jiném platném povolení či rozhodnutí. Výrobce elektřiny z OZ v tomto případě může uplatňovat nárok na výkupní ceny nebo zelené bonusy v dvoutarifních pásmech s aktuálními cenami, které jsou obsaženy v následujících tabulkách.

| datum uvedení do provozu | výkupní ceny elektřiny v pásmu VT [Kč/MWh] | výkupní ceny elektřiny v pásmu NT [Kč/MWh] |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2012 do 31.12.2012 | 3800 | 2885 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2011 do 31.12.2011 | 3800 | 2690 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2010 do 31.12.2010 | 3800 | 2795 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2008 do 31.12.2009 | 3800 | 2420 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2006 do 31.12.2007 | 3800 | 2180 |
| MVE uvedená do provozu po 1.1.2005 včetně a MVE rekonstruovaná | 3470 | 1940 |
| MVE uvedená do provozu před 1.1.2005 | 2700 | 1515 |

Tab. 27: Výkupní ceny elektřiny pro špičkové nebo pološpičkové MVE dle rozhodnutí ERÚ č. 7/2011.

| datum uvedení do provozu | Zelené bonusy v pásmu VT [Kč/MWh] | Zelené bonusy v pásmu NT [Kč/MWh] |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2012 do 31.12.2012 | 2240 | 2090 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2011 do 31.12.2011 | 2240 | 1895 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2010 do 31.12.2010 | 2240 | 2000 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2008 do 31.12.2009 | 2240 | 1625 |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2006 do 31.12.2007 | 2240 | 1385 |
| MVE uvedená do provozu po 1.1.2005 včetně a MVE rekonstruovaná | 1910 | 1145 |
| MVE uvedená do provozu před 1.1.2005 | 1140 | 720 |

Tab. 28: Zelené bonusy pro špičkové nebo pološpičkové MVE dle rozhodnutí ERÚ č. 7/2011.

kde VT – pásmo platnosti vysokého tarifu stanovené provozovatelem distribuční soustavy v délce 8 hodin denně

NT – pásmo platnosti nízkého tarifu, které platí mimo VT

³ Podle ČSN 75 0120.

