

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh malé vodní elektrárny pro nízkospádové lokality**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal CHLUMSKÝ**  
Osobní číslo: **E12N0165P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Návrh malé vodní elektrárny pro nízkospádové lokality**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Zásady pro vypracování:

1. Zhodnoťte současný stav trhu se zařízeními pro malé vodní elektrárny.
2. Nalezněte vhodnou lokalitu a navrhňte vhodné řešení využití jejího hydroenergetického potenciálu.
3. Zpracujte problematiku netradičních vodních motorů pro nízkospádové lokality.
4. Zpracujte přibližný výpočet průměrných ročních výnosů elektrické energie a proveďte ekonomický rozbor návratnosti stavby.
5. Zvolený návrh zhodnoťte z hlediska energetického i ekonomického.

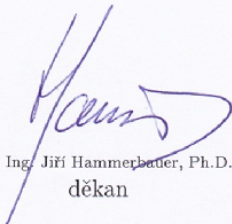


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

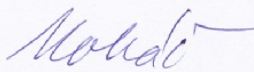
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

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

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014

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



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

V první části této práce jsou uvedena zařízení pro použití na tocích s malými spády a průtoky. Druhá část práce popisuje netradiční vodní turbíny pro tyto elektrárny. V následující části je popsán výběr lokality pro stavbu malé vodní elektrárny a návrh využití jejího hydroenergetického potenciálu. Další část obsahuje ekonomický rozbor návratnosti stavby na základě vypočteného ročního výnosu elektrické energie. V poslední části je zvolený návrh zhodnocen z ekonomického hlediska.

## **Klíčová slova**

Malá vodní elektrárna, spád, průtok, vodní turbíny, šroubová turbína, vodní kola, ekonomické zhodnocení



**Abstract**

The first part of this work characterizes devices for use on rivers with small water heads and flow rates. The second part lists unconventional water turbines for these plants. The following section describes the selection of site for the construction of small hydropower plants and the use of its hydropower potential. Next section provides an economic analysis of return of investment in the construction based on the calculated annual electricity yield. In the last part selected draft is evaluated from the economic aspects.

**Key words**

Small water power plant, water flow, head of water, water turbines, screw turbine, water wheels, economical evaluation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval 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.

.....  
podpis

V Plzni dne 12.5.2014

Michal Chlumský

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu práce Ing. Viktorovi Majerovi, Ph.D. za odborné rady k zadanému tématu a věcné připomínky k vypracování samotné práce a panu Ing. Petru Kubešovi za praktické rady z provozu vodních děl a poskytnutí podkladů pro výpočty. Také bych rád všem dalším zúčastněným poděkoval za pomoc a podporu.

# Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>1 KLASICKÁ ZAŘÍZENÍ PRO MVE .....</b>	<b>12</b>
1.1    VODNÍ TURBÍNY .....	12
1.1.1    Bánkiho turbína .....	12
1.1.2    Kaplanova turbína .....	14
1.1.3    Vírová turbína – Ing. Františka Pochylého, Csc.....	16
1.2    PŘEVODY.....	17
1.2.1    Převody řemenové.....	17
1.2.2    Převody řetězové.....	17
1.2.3    Převody ozubenými koly.....	18
1.3    GENERÁTORY .....	19
1.3.1    Asynchronní generátory .....	19
1.3.2    Synchronní generátory.....	20
1.4    ČESLE.....	22
1.4.1    Čistící stroje česlí.....	22
<b>2 NETRADIČNÍ VODNÍ MOTORY PRO NÍZKOSPÁDOVÉ LOKALITY .....</b>	<b>24</b>
2.1    ŠROUBOVÁ TURBÍNA .....	24
2.2    VÍROVÁ TURBÍNA – FRANZE ZOTLÓTERERA .....	26
2.3    VODNÍ KOLA.....	27
2.3.1    Vodní kola lopatková.....	28
2.3.2    Vodní kola korečková.....	29
2.4    NEOBVYKLÉ VODNÍ MOTORY .....	30
<b>3 NÁVRH ŘEŠENÍ PRO ZVOLENOU LOKALITU.....</b>	<b>31</b>
3.1    POPIS LOKALITY.....	31
3.2    HYDROLOGICKÁ DATA .....	32
3.3    VOLBA TURBÍN .....	33
3.3.1    Varianta A – výpočet vyrobené energie.....	34
3.3.2    Varianta B – výpočet vyrobené energie.....	36
<b>4 ROZBOR INVESTICE .....</b>	<b>38</b>
4.1    VARIANTA A – KAPLANOVA TURBÍNA .....	39
4.1.1    Strojní a stavební část.....	39
4.1.2    Náhon a odtok.....	40
4.1.3    Rybí přechod.....	42
4.1.4    Celkové náklady.....	43
4.2    VARIANTA B – TURBÍNA SEMI-KAPLAN .....	44
4.2.1    Náklady na strojní část.....	44
4.2.2    Celkové náklady.....	44
<b>5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>45</b>
5.1    ZHODNOCENÍ VARIANTY A .....	47
5.1.1    Roční výnos a náklady na provoz.....	47
5.1.2    Výpočet prosté návratnosti .....	47
5.1.3    Posouzení ekonomické efektivnosti investic.....	47
5.1.4    Cash flow.....	48

5.2	ZHODNOCENÍ VARIANTY B .....	50
5.2.1	<i>Roční výnos a náklady na provoz</i> .....	50
5.2.2	<i>Výpočet prosté návratnosti</i> .....	50
5.2.3	<i>Posouzení ekonomické efektivity investic</i> .....	51
5.2.4	<i>Cash flow</i> .....	51
5.3	POROVNÁNÍ OBOU VARIANT .....	52
<b>ZÁVĚR</b> .....		<b>54</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....		<b>1</b>
<b>SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ</b> .....		<b>3</b>



## Seznam symbolů a zkratk

MVE	malá vodní elektrárna
a,c	šířka [m]
B	síla betonu [m]
$C_v$	výkupní cena energie [Kč/MWh]
$\cos \varphi$	účiník [-]
DCF	diskontovaný peněžní tok [Kč]
Dz	daň z příjmu [Kč]
dz	sazba daně z příjmu [-]
E	energie vyrobená za určitý čas [Wh]
g	tíhové zrychlení [ $m^3*s^{-1}$ ]
H	spád [m]
h	výška [m]
IN	investiční náklady [Kč]
l	délka [m]
M	počet dní se shodným průtokem [dny]
MVE	malá vodní elektrárna
$N_a$	roční provozní náklady [Kč]
$N_o$	odpisy [Kč]
$N_U$	úrok z úvěru [Kč]
NPV	čistá návratová hodnota
$\eta$	účinnost [-]
P	výkon [W]
$P,O$	položky upravující základ daně [Kč]
$Q_{xxx}$	průtok za daný počet dní [ $m^3*s^{-1}$ ]
r	diskont [%]
$\rho$	hustota [ $kg*m^{-3}$ ]
S	zdánlivý výkon [VA]
U	úvěr [Kč]
V	objem [ $m^3$ ]
$V_a$	roční výnos [Kč]

## Úvod

Využívání energie vody má na území České republiky dlouhou tradici a také spousta vynálezů pochází z naší země či z některého státního celku, který byl na našem území v minulosti. Ve 20. století za minulého režimu však byla spousta vodních děl zavřena, nejednalo se jen o elektrárny, ale i o mlýny, pily, hamry a další provozy, kde se energie vody transformovala přímo na mechanickou energii. V roce 1930 bylo v Československu v provozu skoro 17 000 takovýchto zařízení. K 1. dubnu 2011 bylo provozováno v České republice přesně 1 400 elektráren do výkonu 1 MW.

Přibližně dvě třetiny hydroenergetického potenciálu jsou již využívány, především oblasti s velkými spády, stále však lze najít spoustu lokalit, kde při zvolení vhodné technologie lze dosáhnout slušného výkonu. MVE jsou zajímavé i pro investory, u některých projektů je reálné dosáhnout návratnosti investice do 10 let od spuštění. Stále se vyvíjejí nové efektivní vodní motory pro použití na lokalitách, kde klasické vodní turbíny nelze použít buď vůbec, nebo s malou účinností.

Kvůli snaze o zastoupení většího podílu obnovitelných zdrojů energie na energetickém mixu ČR se proto stále hledají lokality nové, či využívané v minulosti, kde by bylo možné MVE postavit. Vodní elektrárny vyrábí levnou a čistou energii, zařízení v nich používaná dosahují velmi vysokých účinností. Na rozdíl od fotovoltaiky a větrných elektráren jsou většinou v provozu po značnou část roku, lze relativně přesně předpovídat dosahovaný výkon na základě měření z minulých let a netrpí velkými výkyvy výkonu během dne.

V této práci se zabývám velmi malými spády do 2,5 m, jsou proto uvedeny pouze zařízení, která tuto specifikaci splňují a příslušenství pro ně určené. Dále jsem se snažil tento výběr ještě zúžit a zabývat se stroji buď moderními, nebo sice zastaralými, které však vynikají v jiných faktorech, např. v ceně a jednoduchosti konstrukce. Při popisu současného stavu trhu jsem se zaměřil na české výrobce. [4]

# 1 Klasická zařízení pro MVE

V této části napřed uvádím klasické vodní motory, což jsou zařízení přeměňující energii vody na mechanickou energii a převody potřebné pro změnu prostorového uspořádání soustrojí a především změně otáček, aby bylo možné připojit vhodný generátor. Dále zmiňuji generátory pro přeměnu mechanické energie na elektrickou. Následují česle chránící náhon a vodní motor před vniknutím nežádoucích nečistot či větších ryb společně s proudem vody a čistící stroje česlí zajišťující společně se samočinnou regulací automatický provoz elektrárny pouze s občasnou kontrolou, případně údržbou a čištěním, neustálá přítomnost obsluhy není vyžadována.

## 1.1 Vodní turbíny

Vodní turbíny jsou zařízení pro přeměnu vodní energie na energii mechanickou. Zpravidla pracují na reakčním nebo přetlakovém principu. Dříve se pro malé spády a velké průtoky používala Francisova turbína, avšak tu dnes bez výhrady nahradila především Kaplanova turbína, která dosahuje na nízkých spádech větší účinnosti. Pro malé průtoky se většinou stále používala vodní kola, dnes je lze nahradit několika typy turbín.

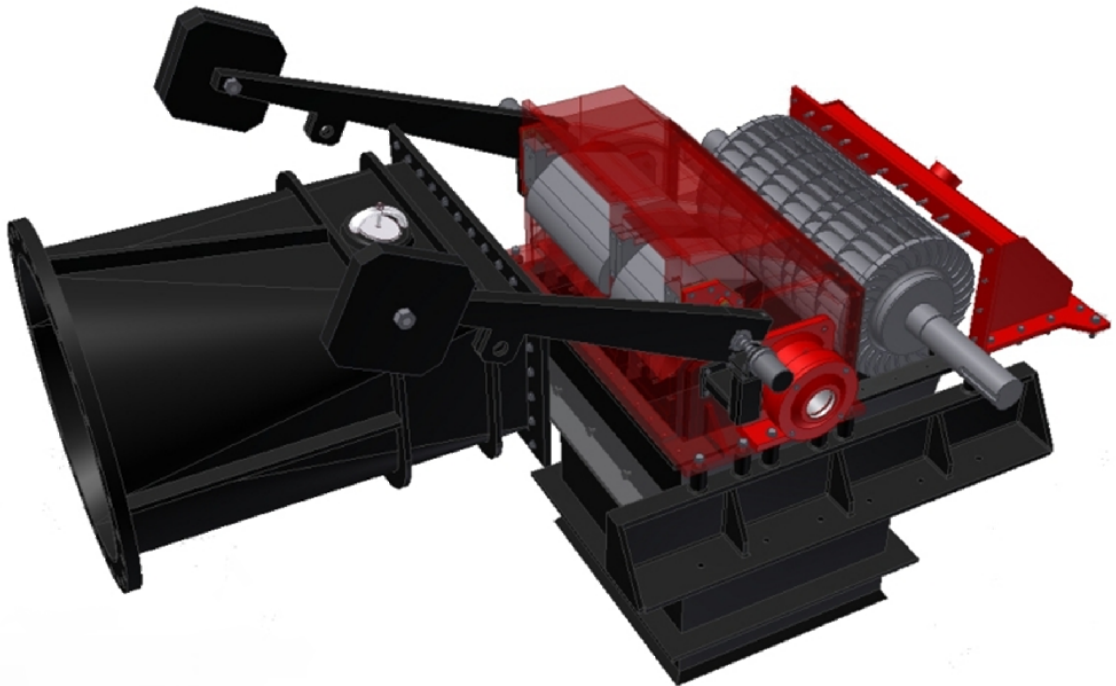
Záměrně neuvádím oblastní diagram (které bývají velmi neaktuální a neúplné) nebo tabulku porovnání všech typů turbín. Parametry běžně vyráběných turbín jsou rozepsány u jednotlivých typů, vždy ale záleží na konkrétním provedení, u větších výkonů bude turbína uzpůsobená přímo na míru dané lokality. Nelze jednoznačně bez předchozích výpočtů nákladů a výnosů říci, že např. pro lokalitu se spádem 2 m a maximálním průtokem  $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je nejlepší Kaplanova turbína s dvojitou regulací, protože má velkou účinnosti a vhodnou maximální hltnost. Po zhodnocení můžeme zjistit, že lépe vyjde použít dvě šnekové turbíny s hltností  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , které sice dosahují nižší účinnosti a tedy menších výnosu, ale jsou levnější. Je však třeba také zohlednit okolí stavby kvůli estetice, hluku a celkovým nákladům.

### 1.1.1 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína, označována též jako „cross-flow“ z důvodu dvojnásobného průtoku vody rotorem, je typ radiální rovnotlaké turbíny, avšak rovnotlaký je až druhý, odstředivě působící průchod vodního proudu. Při vstupu do turbíny působí voda dostředivě. Množství vstupující vody lze regulovat pomocí regulační klapky nebo segmentového uzávěru, za turbínou lze použít savku.

Mezi největší výhody této turbíny patří její dobrá regulovatelnost, nízká cena a odolnost vůči kavitaci a abrazi pískem. Protékající voda je okysličována a není v kontaktu s ložisky, nedochází tedy k jejímu znečištění. Turbínu lze použít pro spády od 1 m a i pro malé průtoky, dosahuje účinnosti 75 – 85 % v závislosti na konstrukci a na případném použití savky pro kompenzaci ztraceného spádu. Pro umístění v oblastech s velkým průtokem je nutné počítat s velikostí turbíny, např. turbína použitelná pro spád 1,8 m a maximální průtok  $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je dlouhá bezmála 3 m a průměr rotoru je 1 m.

V oblastech s proměnlivým průtokem lze použít dvousekční variantu Bánkiho turbíny označovanou jako **Ossberger**. Rotor je rozdělen na 2 sekce v poměru 1 : 2, případně 1 : 3. Při malém průtoku voda proudí skrz užší část rotoru, při středním průtoku pouze širší části a při plném průtoku prochází celou šířkou turbíny. Každá sekce má jinou geometrii lopatek v závislosti na předpokládaném průtoku, díky tomu dosahuje vyšší účinnosti v širším rozsahu plnění než u klasické Bánkiho turbíny.



**Obrázek 1.1-1** Turbína typu Ossberger [7]

V současné době se v České republice zabývá výrobou turbín typu Bánki nebo Ossberger několik firem, např. **CINK Hydro – Energy k.s.**, **DUMAT soukromý podnik v.o.s.** a **P&S a.s.**, avšak počítají však se spády od 4 metrů. Případný zájemce o tento typ turbíny pro spád do 2,5 m může využít buď nabídky některé zahraniční společnosti, např. německé firmy **OSSBERGER GmbH + Co**, nebo si nechat turbínu vyrobit na míru u některé menší společnosti či soukromého zámečníka. To je možné díky relativně jednoduchému

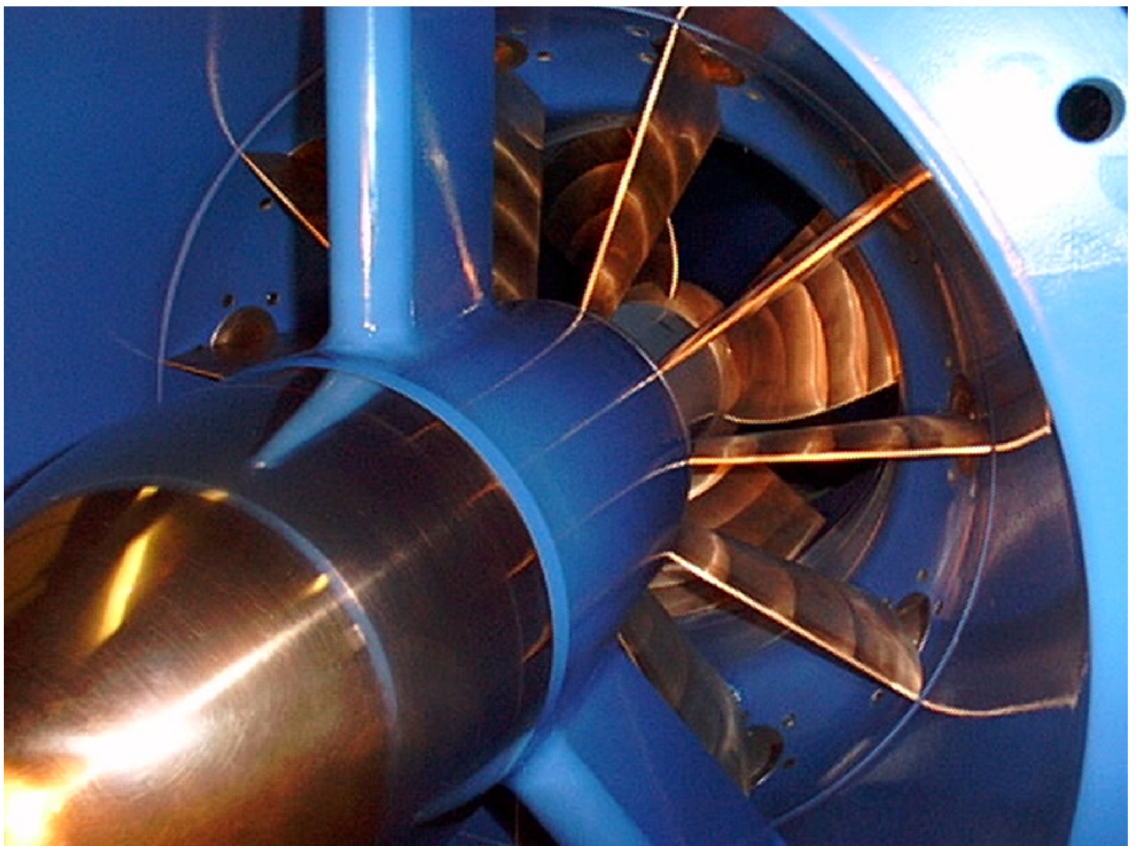
výpočtu rozměrů turbíny, jednoduché konstrukci a toleranci tohoto řešení k drobným nepřesnostem a nedokonalostem při ruční výrobě. [6] [7] [8] [9] [17]

### 1.1.2 Kaplanova turbína

Jedná se o přetlakovou axiální turbínu s natáčecími oběžnými i rozvodnými lopatkami, díky její dobré regulovatelnosti lze Kaplanovu turbínu používat i v lokalitách s měnícím se spádem či průtokem. Je možná vertikální i horizontální montáž, vyrábí se ve spoustě variant, např. šachtová, spirální nebo s obtékaným generátorem. Již od 20% plnění vykazují tyto turbíny dobrou účinnost, při 30 - 100% plnění se účinnost pohybuje mezi 80 % a 90 %.

Pro malé spády lze využít turbíny Propeller, u kterých lze natáčet pouze lopatky rozvaděče a s pevným nastavením lopatek oběžného kola, nebo turbíny Semi-Kaplan, kde lze naopak natáčet lopatky oběžného kola, ale lopatky rozvaděče jsou napevno. Tyto turbíny jsou levnější než Kaplanovy s dvojitou regulací, ale dosahují horší účinnosti při malém plnění.

Velkou výhodou Kaplanovy turbína je velmi vysoká účinnost, avšak je nutné počítat s vyššími pořizovacími náklady, náklady na stravu elektrárny a větší náročností na údržbu. [6]



**Obrázek 1.1-2** Pohled do turbíny typu Kaplan [12]



Kaplanovy turbíny v různých provedeních vyrábí v České republice několik firem. Jelikož se jedná o nejstarší typ vodní turbíny s vysokou účinností i na malých spádech, je seznam nejobsáhlejší.

**CINK Hydro – Energy k.s.** se specializuje na přímoproudé horizontální a kašnové vertikální provedení modulární koncepce pro spády 1 - 15 m. Průměry oběžných kol se pohybují v rozmezí 320 až 3 200 mm v provedení se 3 - 5 lopatkami. Jejich turbíny využívají hydraulicky ovládanou dvoustupňovou regulaci. [7]

**ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o.** vyrábí široké spektrum variant Kaplanovy turbíny, v horizontálním přímoproudém uspořádání (provedení kolenové a šachtové, nebo s úhlovým převodem), v horizontálním uspořádání s ocelovou spirálou vhodném pro malé výkony a ve vertikálním uspořádání (s ocelovou nebo betonovou spirálou). Turbíny jsou určeny pro spády 2 – 40 m a dosahují výkonů 200 – 10 000 kW při průměrech oběžných kol 500 až 3000 mm. Rotory mají 3 až 6 lopatek. [11]

**HYDROHRM, s.r.o.** má v nabídce Kaplanovy turbíny pro spády 1,5 – 20 m v provedeních horizontální S-turbína typu Kaplan a Semi-Kaplan, vertikální turbína typu Kaplan a Z-turbína typu Kaplan. Pro malé spády je určen typ horizontální S-turbíny typu Semi-Kaplan s pevnými rozváděcími lopatkami a regulací řešenou pomocí oběžného kola. [12]

**MAVEL a.s.** neuvádí na svých stránkách přesnou spodní hranici spádu, pro který vyrábí Kaplanovy turbíny, v referencích jsou však uvedeny dvě lokality (Lovosice a Dobrzeń v Polsku) se spády 1,9 m a 2,2 m, kde firma MAVEL a.s. tento typ turbín úspěšně použila, lze ji tedy zařadit taktéž mezi výrobce turbín pro velmi malé spády. Nabízená provedení jsou šachtové, spirálové, s obtékaným generátorem nebo kolenové, regulace může být jednoduchá nebo dvojitá, rotory mají 3 až 6 lopatek. [13]

**P&S a.s.** nabízí dvě varianty přímoproudé turbíny pro spády 1,5 - 6 m v průměrech 500, 750 a 1130 mm s hlností 0,18 - 5,92 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> do výkonu až 150 kW. Nabízené varianty jsou vertikální, horizontální a šikmá s pevným rozváděčem a regulací prováděnou natáčením lopatek oběžného kola pomocí hydraulického agregátu, který je součástí turbíny. [9]

**Strojírny Brno a.s.** vyrábí 2 typy Kaplanovy turbíny. Horizontální přímoproudý s dvojitou regulací pro spády 1 - 15 m a oběžnými koly se 2 až 5 lopatkami v průměrech 500 až 3500 mm. Druhým typ je vertikální s betonovou nebo ocelovou spirálou taktéž s dvojitou regulací, určený pro spády 2 - 25 m, oběžné kolo má 4 nebo 5 lopatek a průměr od 500 do 3500 mm. [14]

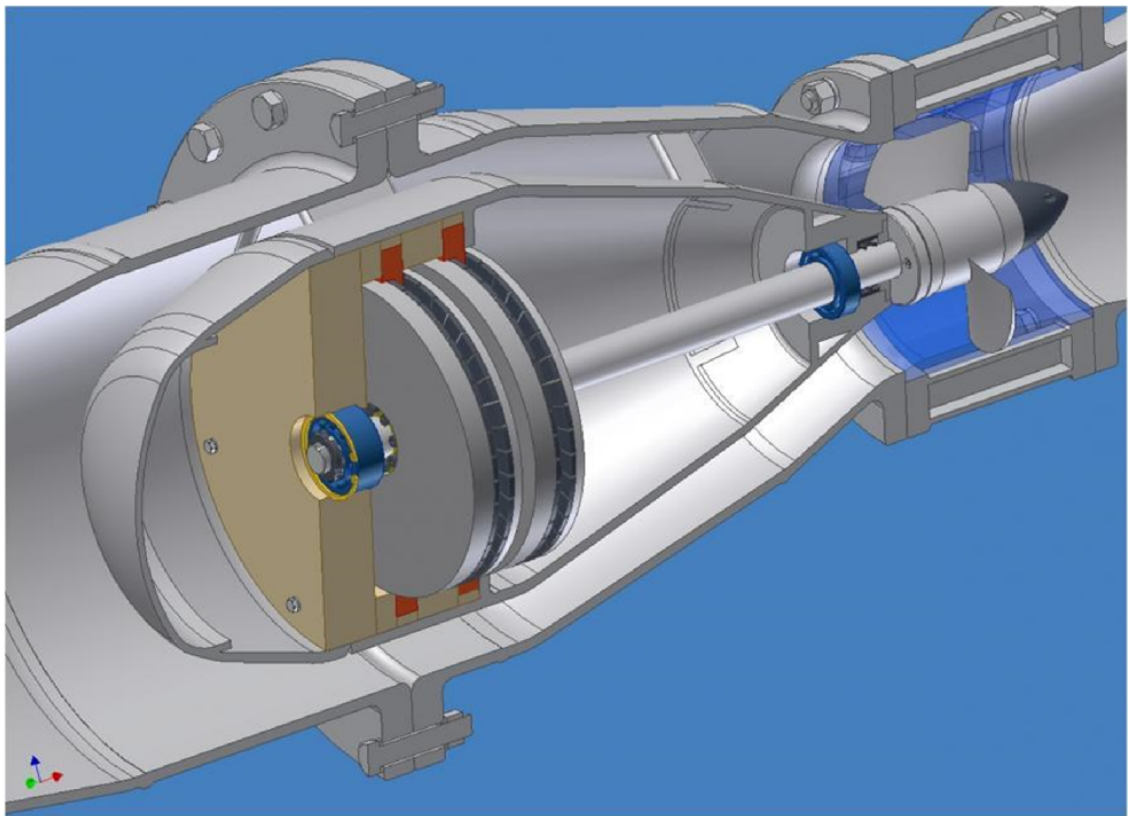
**Ziromont s.r.o.** se specializuje na přímoproudé turbíny pro spády 2 - 10 m s hlností 0,4 až  $10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  s výkony 15 - 500 kW. Nabízí varianty s diagonálním rozváděcím kolem nebo s axiálním oběžným kolem. Regulace může být automatická pomocí hydraulického systému, částečně automatická, či manuální pomocí přestavění za klidu. [15]

Dále lze zmínit ještě firmu **EXMONT-Energo a.s.** zabývající se jak výrobou, tak renovací Kaplanovo i dalších turbín v širokém rozsahu velikostí a výkonů, např. rekonstrukce turbíny Storek pro spád 1,8 m pro MVE v Písku. [16]

### 1.1.3 Vírová turbína – Ing. Františka Pochylého, Csc.

Tato turbína vznikla modifikací Kaplanovy turbíny za účelem vytvořit podstatně jednodušší a levnější turbínu bez rozvaděče použitelnou pro malé spády a velké průtoky. Namísto použití rozvaděče je proud vody přiváděn do oběžného kola ve směru jeho otáčení a za ním se točí opačným směrem, počáteční rotace proudu vody kolem osy rotoru je vytvářena při vstupu do sací roury.

Turbína zatím není v sériové výrobě, stále se testují prototypy. Pro spády 1 – 3 m pracuje vírová turbína s účinností až 86 %, pro vyšší spády do 6 m je vyvíjena dvoustupňová verze turbíny v kaskádovém uspořádání. [18]



**Obrázek 1.1-3** Schéma vrtulové turbíny s obtékaným diskovým generátorem [21]

## 1.2 Převody

V současnosti se malé vodní elektrárny používají téměř výhradně k výrobě elektřiny. Generátory přeměňující mechanickou energii na elektrickou, viz kapitola 1.3, však pracují s vyššími jmenovitými otáčkami, než jakých dosahuje rotor turbíny či vodního kola pro malé spády, je tedy potřeba zařadit mezi vodní motor a generátor převod dorychla. Výjimku tvoří Kaplanova turbína a stroje od ní odvozené, u kterých díky jejím vyšším pracovním otáčkám může být generátor připojen přímo na hřídel turbíny, ale často se zde používá převod kvůli prostorovému uspořádání. [1]

### 1.2.1 Převody řemenové

I když jsou řemenové převody nejstarší zařízení pro přenos výkonů a změnu otáček, díky moderním technologiím jsou i dnes nejčastěji používaným řešením nejen u malých vodních elektráren, ale i v mnoha dalších průmyslových odvětvích. Řemeny jsou vyráběny ze speciálních syntetických materiálů a mimo ploché provedení existují řemeny s klínovým průřezem nebo ozubené řemeny. Kvalitně navržené, vyrobené a udržované řemenové převody dosahují účinnosti až 99 %. U jednostupňového provedení lze realizovat převod až 1 : 15. Přenášené výkony mohou přesáhnout 5 000 kW. Maximální dosažitelné hodnoty se mohou lišit podle typu řemenů a jejich rozměrů. U plochých a klínových řemenů je potřeba počítat s nutným předpětím, prokluzem a většími rozměry řemenic. Naopak ozubené řemeny vynikají minimálními rozměry a tichým chodem. Klínové řemeny lze používat v násobném provedení pro přenášení větších výkonů. [3]

### 1.2.2 Převody řetězové

Řetězové převody jsou prostorově nejméně náročné, vyžadují ale většinou napínací kladku a vždy vhodné rozmístění. Hřídele by měly být umístěny vodorovně vedle sebe, nebo ještě lépe šikmo pod úhlem  $60^\circ$  od země k ose protínající středy obou hřídelů. Důvodem je co nejsnazší odvalování článků řetězu a s tím spojená vyšší životnost a účinnost. Měly by být umístěny od sebe přibližně ve vzdálenosti rovnající se  $5/4$  průměru většího kola. Převody s hřídeli dále od sebe mívají neklidný chod, při větším přiblížení klesá životnost. Maximální dosažitelné hodnoty jsou obdobné jako u řemenových převodů. Řetězy se používají především článkové, jednořadé nebo víceřadé. Řemenové převody je nutné mazat, pro malé rychlosti lze použít tuk, při velkých rychlostech musí být mazivo neustále přiváděno na vnitřní část řetězu. [3]

### 1.2.3 Převody ozubenými koly

Ozubená kola se vyráběla v minulosti ze dřeva nebo v kombinaci dřevo – litina, postupně se přešlo k výrobě pouze z kovu. Zuby podle tvaru dělíme na přímé, šikmé a šípové. Účinnost závisí na provedení, čelní a kuželová ozubení pracují s účinností až 97 %, záleží však také na stavu soukolí. U opotřebovaných ozubených převodů klesá účinnost až na 85 %. Jednostupňová ozubená soukolí lze použít do převodu 1 : 8 až 1 : 10 podle provedení. Pro vyšší hodnoty se konstruuje vícestupňové převodovky nebo kombinace ozubených kol s jinými druhy převodů. Velkou výhodou ozubených převodovek je minimální požadavek na prostor a umístění turbíny, převodovky a generátoru v jedné ose u planetového typu. [3]

Výrobou převodovek s ozubenými soukolími speciálně určených pro malé vodní elektrárny se zabývá firma **Wikov MGI a.s.** pro výkony od 200 kW do 2 MW. Zaměřuje se především na převodovky pro různé varianty Kaplanovy turbíny, ale nabízí i řešení na míru pro další typy vodních motorů. Firma provádí též kompletní servis. [20]

Typ Převodovky	ZP-V	ZP-H	KHVE	ZP-CX
Popis převodovky	Čelní jednostupňová vertikální převodovka	Jedno- nebo dvoustupňová horizontální převodovka	Jednostupňová kuželová převodovka	Speciální čelní převodovka s děleným výkonem
Typ turbíny	Vertikální Kaplanova nebo Francisova	Horizontální nebo šikmá Kaplanova	Horizontální nebo šikmá Kaplanova	Horizontální nebo šikmá Kaplanova
Provedení turbíny	Kompaktní nebo Z-turbína	Šachtové nebo S-turbína	S obtékaným generátorem	Šachtové nebo S-turbína
Výkon [kW]	250 - 2500	450 - 6500	200 - 2000	2000

**Tabulka 1.2-1** Nabídka převodovek pro MVE firmy Wikov MGI a.s. [20]

### 1.3 Generátory

Generátor slouží k přeměně mechanické energie na elektrickou. Rozdělují se podle hodnoty výstupního napětí na málo-, nízko- a vysokonapěťové, v této práci se budu zabývat nízkonapěťovými střídavými generátory pro hodnoty 50 – 1 000 V, které jsou nejvhodnější pro malé spády při dodávání získané elektřiny do veřejné sítě. Generátor volíme podle výkonu, otáček, případně podle druhu výstupního napětí, protože pokud bude vyrobená elektřina používána např. k dobíjení baterií, je lepší mít na výstupu stejnosměrné napětí. Stejnosměrné generátory dnes potkáme pouze u historických vodních děl nebo u svépomocí vyrobených elektráren, protože jsou nahrazeny asynchronními generátory v kombinaci s usměrňovači. [1]

#### 1.3.1 Asynchronní generátory

Nejjednodušším typem generátorů jsou třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko (nebo kroužkovou kotvou) v generátorovém režimu, kdy je rotor motoru roztáčen mechanickým momentem přivedeným na hřídel od turbíny, případně převodovky. U asynchronního motoru lze brát štítkovou hodnotu příkonu jako hodnotu výkonu v generátorovém režimu, čím blíže se této hodnotě dostaneme výkonem turbíny, tím bude generátor pracovat s vyšší účinností. Dále je důležitá hodnota otáček turbíny či výstupu z převodovky pro volbu počtu magnetických pólů, respektive synchronních otáček stroje. Hodnota otáček generátoru závisí na počtu pólových dvojic, viz tabulka 1.3-1.

Přibližný údaj na štítku motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]	690 - 740	910 - 990	1350 - 1490	2260 - 2950
počet magnetických pólů	8	6	4	2
synchronní otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	750	1000	1500	3000

**Tabulka 1.3-1** Přehled otáček a počtu magnetických dvojic elektromotorů [6]

Rotor se musí točit nadsynchronními otáčkami v oblasti záporného skluzu, kdy dochází k brzdění rotoru a k žádoucí indukci elektrické energie ve vinutí statoru. Pokud má motor uvedenou štítkovou hodnotu  $950 \text{ min}^{-1}$ . a chceme jej použít jako generátor, musíme k nejbližším synchronním otáčkám  $1\,000 \text{ min}^{-1}$ . přičíst ještě rozdíl synchronní a štítkové hodnoty, v tomto případě tedy dostáváme  $1\,050 \text{ min}^{-1}$ .



Motory s jednou pólovou dvojicí jsou sice nejmenší a nejlevnější, ale při výpadku dodávky proudu by mohlo dojít k roztržení motoru z důvodu vysokých otáček způsobených otáčením rotoru bez brzdění magnetickým polem statoru. V malých vodních elektrárnách se používají spíše generátory s menším počtem magnetických pólů (4 - 6) a vyššími otáčkami v kombinaci s převodovkou dorychla, protože jsou tyto stroje levné, malé a díky tomu se dobře chladí vlastním během. Navíc nejsou tak náchylné na krátkodobé zvýšení otáček z důvodu vypadnutí proudu. Motory s velkým počtem pólových dvojic a s nízkými otáčkami lze sice použít přímo ve spojení s pomaluběžnou turbínou, ale jsou velké, drahé a špatně se chladí.

Asynchronní generátor nemůže pracovat bez připojení ke zdroji elektřiny, musí odebírat jalový proud potřebný k vytvoření magnetického pole, který je nutno při velkých výkonech kompenzovat pomocí vhodně navržené kompenzace, nejčastěji realizované pomocí kondenzátorové baterie. Déle je třeba počítat s faktem, že elektromotor použitý jako generátor se točí vyššími otáčkami, než pro které je konstruován, a je třeba to brát v potaz při volbě ložisek, hřídele a dalšího příslušenství. [6] [18]

Výrobci asynchronních generátorů v ČR:

**TES VSETÍN s.r.o.** vyrábí generátory řady GAK (generátory s kotvou nakrátko) přímo určené pro malé vodní elektrárny ve vertikálním i horizontálním provedení s rozsahem výkonů od 100 do 1 500 kW při otáčkách 200 – 1 500 min<sup>-1</sup>. Výstupní napětí se pohybuje v hodnotách 400 – 6 600 V. [22]

**Siemens, s.r.o., Odštěpný závod Elektromotory Mohelnice** nabízí generátory se zvýšenou účinností do 30 kW a výstupním napětím 400V, které jsou vhodné i pro použití v MVE. Výrobu větších výkonů zajišťuje mateřská společnost **Siemens, s.r.o.** [27]

### 1.3.2 Synchronní generátory

Taktéž nazývány alternátory. U synchronních generátorů je rotor tvořen magnetem (permanentní magnet, nebo elektromagnet napájený stejnosměrně), který svým otáčením indikuje střídavý elektrický proud do statorového vinutí se železnými jádry. Synchronní generátor s permanentním magnetem může pracovat bez připojení k elektrické síti, ale všechny generátory musí být přifázovány. Rotor se točí synchronními otáčkami (úhlová rychlost rotoru = rychlost postupného magnetického pole statoru), ty je však nutné udržet pomocí turbíny s regulací.

Synchronní generátory jsou dražší než asynchronní a využívají se především ve velkých vodních elektrárnách, ale i jaderných a tepelných. Pro MVE se volí zřídka.

Výrobci asynchronních generátorů v ČR:

**TES VSETÍN s.r.o.** nabízí synchronní generátory pro malé vodní elektrárny v produktových řadách GSH (s hladkým rotorem), GSV (s vyniklými póly) a GSP (s permanentními magnety). Všechny tři řady jsou vyráběny v horizontálním i vertikálním provedení. [22]

Řada	GSH	GSV	GSP
Výkon [kVA]	100 - 10 000	100 - 20 000	500 - 4 000
Napětí [V]	400 - 13 800	400 - 13 800	400 - 6 600
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	100 - 1 500	100 - 1 500	100 - 1 500
Krytí	IP 23 - IP 56	IP 23 - IP 56	IP 23 - IP 56

**Tabulka 1.3-2** Parametry motorů firmy TES VSETÍN s.r.o. [22]



**Obrázek 1.3-1** Synchronní generátor s hladkým rotorem v horizontálním provedení firmy TES Vsetín s.r.o. [22]

## 1.4 Česle

Česle slouží k ochraně vodních motorů před vniknutím velkých i malých nečistot nesených proudem vody na hladině nebo pod hladinou, jakou jsou např. listí, větve, padlé stromy nebo ledové kry. Tyto nečistoty mohou způsobit buď zanešení lopatek provázené snížením výkonu, nebo dokonce poškození samotného stroje. Také zabraňují vplutí větších ryb v kombinaci s elektronickými odpuzovači ryb kvůli malým jedincům, kteří by jinak propluli i skrz jemné česle. Podle velikosti a rozestupu zábran česle dělíme na hrubé (především u derivačních elektráren) a jemné (u všech elektráren). Oba typy česlí způsobují ztráty spádu již svou přítomností, zanášením se tyto ztráty zvětšují, proto je potřeba česle pravidelně čistit. Jemné česle mohou v zimě namrznat, proto bývají někdy vyhřívány za účelem odstranění námrazků.

Pomocí hrubých česlí je zabráněno vstupu velkých a těžkých nečistot, proto jsou tvořeny svisle zabetonovanými traverzami nebo silnostěnnými trubkami s rozestupy 10 až 50 cm. Umísťují se před jez tak, aby zachycené nečistoty byly pokud možno strženy proudem a odplaveny.

Jemné česle jsou situovány v případě ručního čištění téměř kolmo k vodorovné rovině cca 85° od vodorovné roviny, v případě strojního čištění jsou více položené ve směru proudu (60° - 70°). Bývají tvořeny pásovou ocelí o průřezu 60 x 8 mm až 160 x 20 mm s rozestupy 10 – 100 mm podle typu turbíny, resp. jejího nejmenšího průtokového průřezu (např. mezera mezi lopatkou rozváděcího kola a tělesa turbíny). Protože může dojít k úplnému ucpání jemných česlí, musí být jejich konstrukce dostatečně masivní a vhodně navržená s ohledem na průtok náhonu, aby nedošlo k jejich poškození. [3] [6]

Výrobu a montáž česlí většinou obstarává stavební firma nebo ji nabízejí výrobci turbín, existují i specializované firmy jako třeba **Ševčík - vodohospodářská zařízení s.r.o.** [23]

### 1.4.1 Čistící stroje česlí

V rámci plné automatizace malých vodních elektráren byly vyvinuty čistící stroje pro ochranné rošty vtokových objektů. Pohon čistících strojů česlí může být realizován pomocí hydrauliky (dvouramenné a teleskopické provedení), řetězů nebo lan. Hydraulické čističe mohou z vody vytahovat nečistoty o větší váze než hrablo tažené řetězem či lanem, navíc s nimi lze v zimě rozbíjet led. Shrabky vytažené z vody je ovšem potřeba ručně

odstranit. Na široké vtokové objekty lze umístit pojezdové čistící stroje na kolejnicích, které jsou taktéž plně automatické, to však v případě MVE není většinou zapotřebí. [3]



**Obrázek 1.4-1** Čistící stroj česlí MVE Hradiště, vlastní foto

Nejčastěji se výrobou čistících strojů česlí v České republice zabývají samotní výrobci vodních turbín, např. **CINK Hydro – Energy k.s.**, **P&S a.s.**, nebo **Strojírny Brno a.s.**. Na trhu jsou však i výrobci, kteří vyrábějí pouze tyto stroje, např. **Ševčík - vodohospodářská zařízení s.r.o.**, většinou se ale specializují na velké elektrárny. [7] [9] [14] [23]

## 2 Netradiční vodní motory pro nízkospádové lokality

Mezi netradiční motory jsem zařadil stroje, které se běžně v energetice nepoužívají, ale u MVE může mít jejich volba značné výhody. U šroubové turbíny to může být cena jak samotné turbíny, tak montáže. Lze ji instalovat do jezu, nebo v samonosné železné konstrukci, navíc nemusí být umístěna nízko pod úroveň spodní vody jako turbína typu Kaplan. Dále jsem uvedl vodní kola, která jsou sice překonána z pohledu účinnosti, ale vynikají cenou a jednoduchostí, stejně jako ostatní uvedená zařízení. V současnosti již existují kvalitní převodovky s vysokou účinností, díky tomu i přes jejich morální stáří nic nebrání v použití vodních kol na lokalitách s vhodnými podmínkami.

### 2.1 Šroubová turbína

Taktéž označována jako šneková nebo Archimedova turbína, podle Archimedova čerpadla. Šnekové čerpadlo se využívá od starověku dodnes, především k čerpání odpadních vod, protože mu nevádí nečistoty ve vodě a dokáže je taktéž přenášet. V 19. století přišla poprvé myšlenka použít čerpadlo v reverzním režimu jako turbínu a během 20. století byla dále rozvíjena. V České republice tento typ vodní turbíny poprvé vyrobila firma SIGMA Hranice, zabývající se výrobou čerpadel, v současné době šroubové turbíny vyrábí například firma GESS-CZ, s.r.o. s výkony až 500 kW.

Turbínu tvoří silnostěnná roura obehnaná dvou až čtyřchodým závitem, tzv. šnekem. Voda postupně protéká všemi závity a svojí hmotností (potenciální energií) turbínou pomalu otáčí. Samotný rotor je umístěn ve žlabu, který může být zakrytý shora kvůli estetice nebo ochraně před namrzáním. Lze také místo žlabu použít dutý válec. Převodovka a generátor jsou připojeny přímo k hřídeli turbíny nad vrchní hladinou mimo dosah vody. K mazání spodního ložiska je potřeba užívat k přírodě nezávadné mazivo, protože je v kontaktu s vodou. Šnekové turbíny lze použít pro spády v rozpětí 1 – 10 m a průtoky  $0,1 - 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a dosahují velmi dobré účinnosti již od 20% plnění, proto není třeba regulace. Rozhodneme-li se však po turbínu s regulátorem, lze použít frekvenční měnič s rekuperací, který zajišťuje regulaci rychlosti otáčení turbíny pomocí změny frekvence. Před turbínou bývá umístěn boční přepad pro případ nadměrného průtoku, voda může dosahovat maximálně tak vysoko, aby při stojící turbíně nepřetékala samovolně vrchem přes závity. Umístěním několika turbín vedle sebe je lze využít i pro několikanásobný maximální průtok.

Mezi největší výhody této turbíny patří její jednoduchost, odolnost vůči nečistotám, možnost instalace do jezu a příznivý vliv na ekosystém vodního toku. Okysličuje vodu



a vodní živočichové turbínou proplují bez poškození. Je však třeba počítat s její velikostí a hlukem provázejícím její provoz. Šroubová turbína je rovněž levnější než klasické rychloběžné turbíny a díky své konstrukci by měla dosahovat velmi dlouhé životnosti, navíc u ní nedochází ke kavitaci. Lze jí použít jako doplňkovou turbínu pro jalové přepady u turbín typu Bánki a Kaplan. [6] [10]



**Obrázek 2.1-1** Šroubová turbína v ocelovém žlabu [18]

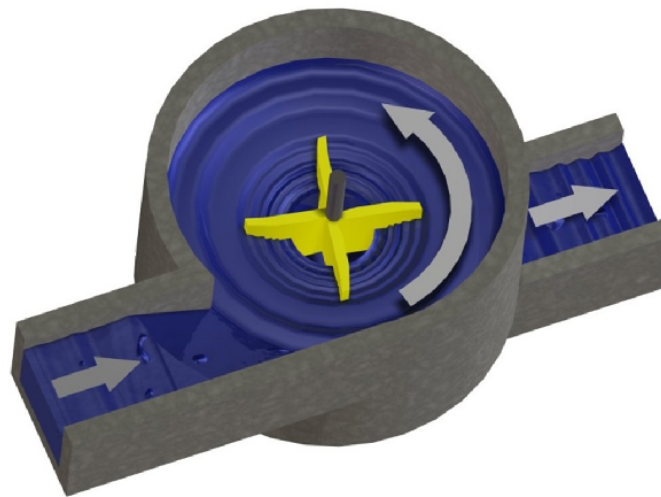
V České republice se výrobou šroubových turbín zabývají dvě firmy:

**GESS-CZ, s.r.o.**, z jejichž katalogu jsem vycházel při popisu provozních vlastností tohoto vodního motoru, a **KOVOSVIT MAS, a.s.** [10] [28]

## 2.2 Vírová turbína – Franze Zotlötererera

Jedná se o nový typ turbíny patentovaný v roce 2007 v Rakousku použitelný pro malé průtoky a spády od 0,7 – 5 m. Turbína je umístěna vertikálně ve středu betonového válce nad odtokem. Voda je do válce vedena přivaděčem z vrchu, proud se točí kolem turbíny a postupně se k ní přibližuje s rostoucí rychlostí, čímž vytváří vír. Díky tomu na lopatky působí proud s nejvyšší rychlostí a turbína dosahuje účinnosti 70 – 80 %.

Vírová turbína vyniká oproti ostatním typům svojí jednoduchostí a šetrností k životnímu prostředí. Na rozdíl od klasických turbín ji sice nelze regulovat, ale její výroba je levnější a při provozu okysličuje vodu, navíc není potřeba ji chránit před vniknutím ryb či nečistot, protože ty bezpečně propadnou mezi lopatkami do odtoku. [18]



Obrázek 2.2-1 Princip vírové turbíny Franze Zotlötererera [18]



Obrázek 2.2-2 Vírová turbína v provozu u Ober-Grafendorfu [18]

## 2.3 Vodní kola

Přestože se před vynálezem vodních turbín používala k využití energie vody výhradně vodní kola, v dnešní době je lze již označit za netradiční řešení. Podle dochovaných záznamů historicky první vodní kola byla používána v antickém Římě, byla ale umístěna horizontálně, aby mohlo být kolo spojeno přímo s hřídelem mlýnského kamenu. Ani stáří a jednoduchost vodních kol však neubírá nic na jejich použitelnosti pro malé spády i v dnešní době, naopak se opět začínají používat díky svojí nízké ceně, možnosti vyrobit si vodní kolo svépomocí a mnohdy i turistické atraktivitě. Navíc lze kola vyrábět pomocí moderních postupů a materiálů, ale i přes to existuje v České republice několik sekerníků zabývajících se koly dřevěnými. Vodní kola nejsou náchylná na nečistoty a jsou bezpečná pro vodní živočichy. Nepotřebují složitou regulaci ani vzdouvací zařízení a lze je použít v místech s proměnlivým průtokem, protože vynikají velkou setrvačností. U některých typů kol jsou ztráty způsobené vzestupem spodní hladiny vody při velkém průtoku samovolně kompenzovány větším plněním. Mohou pracovat i s nulovými spády (s proudící vodou) a dosahují výkonu až 50 kW. Klasická vodní kola mohla pracovat pouze s malými průtoky, pro střední a velké průtoky byla vyvinuta kola typu Poncelet nebo Zuppinger. Vzhledem k jejich konstrukci je potřeba počítat s nutností použít převodovku a s hlukem, protože vodní kola nebývají nijak zakryta. [2] [6]

Vodní kola se dělí dle následujících kritérií:

a) Podle převážně využívaného druhu energie vody

- Kinetické energie u lopatkových kol
- Potenciální energie u korečkových kol

b) Podle způsobu přivádění vody na kolo

- Kola na horní vodu (rotace ve směru nebo proti spodní vodě)
- Kola na střední vodu
- Kola na spodní vodu

c) Podle rotace kola (pouze u kol na horní vodu)

- Ve stejném směru jako spodní voda
- V opačném směru než spodní voda



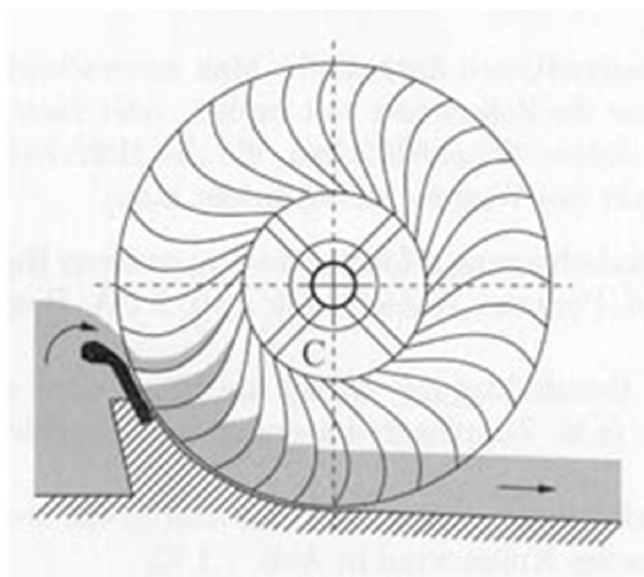
Typ vodních kol	Lopatková	Korečková
Spád [m]	0,1 - 2,5	1,6 - 10
Průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	1,5 - 5	0,1 - 1,5
Účinnost [%]	20 - 65	65 - 80

**Tabulka 2.3-1** Porovnání parametrů vodních kol [2] [6]

V současnosti si staví vodní kola především nadšenci nebo se využívají na mikrospádech, kam nelze instalovat klasické turbíny. Stále častěji se však s vodními koly lze setkat v rekonstruovaných mlýnech, které nyní slouží jako restaurace nebo penziony a kde jsou vodní kola jak turistickým lákadlem, tak vítanou úsporou na účtech za elektrickou energii.

### 2.3.1 Vodní kola lopatková

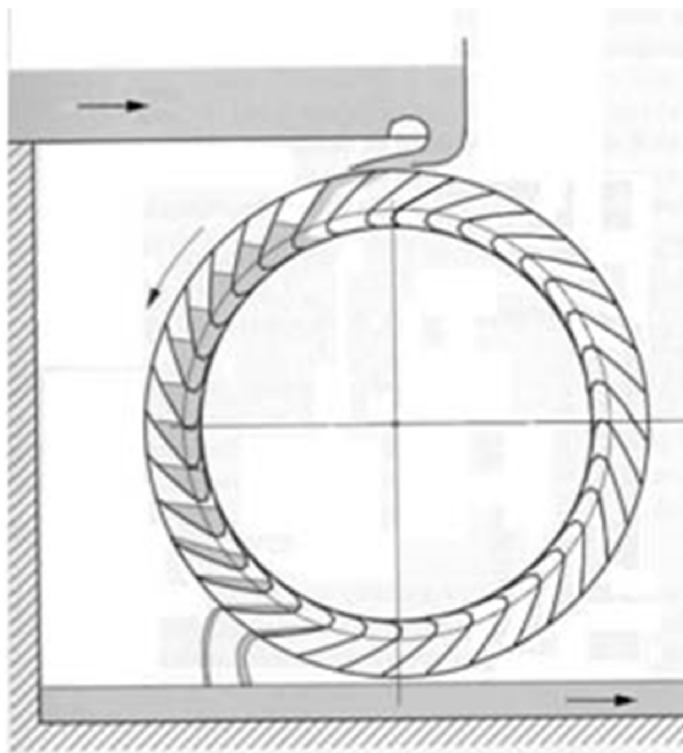
První typ vodních kol využívající kinetickou energii vody. Aby nedocházelo k přetékání vody přes lopatky, bývala kola umístěna ve žlabu. Výhodnější je použít tento typ kola na spodní, případně střední vodu, kdy dosahuje vyšší účinnosti. Oproti korečkovým kolům zvládá větší průtoky. Nejjednodušším typem lopatkového kola je stříkový hřebenáč, který však dosahuje velmi malé účinnosti, protože využívá pouze kinetickou energii vody. Za účelem zvýšení účinnosti bylo vyvinuto Zuppingerovo kolo, jehož lopatky nejsou rovné, nýbrž mají určitý rádius, a mimo kinetické dokáží využívat i potenciální energii vody. Tento tvar také snižuje ztráty při nátoku a odtoku vody. Stále se jedná o velmi levné zařízení, kterému nevadí nečistoty nebo změny průtoku, ale je potřeba počítat s nutností stavby obloukového žlabu (tzv. volete). [2] [6] [19]



**Obrázek 2.3-1** Zuppingerovo kolo [19]

### 2.3.2 Vodní kola korečková

Zdokonalená verze vodního kola nemá po obvodu lopatky, ale speciálně tvarované komory, kterým se říká korečky. Přivedený proud vody nejprve působí na kolo svojí kinetickou energií a poté plní korečky až do poloviny jejich hloubky, takže kolo využívá i potenciální energii vody. Proto by měla voda proudit přibližně dvakrát rychleji, než se točí samotné kolo, aby mohly být korečky dostatečně naplněny a využito se ideální množství vody, respektive její váha. Korečková vodní kola se občas používají v uzpůsobeních pro střední nátok, ale nejčastější jsou kola s horním nátokem. Kolo s horním nátokem může být navrženo pro otáčení ve směru proudění spodní hladiny vody, nebo proti směru. Kola s obráceným chodem mají tu výhodu, že jim nevadí vzestup spodní hladiny, dokonce v této situaci dosahují vyšší účinnosti. Kola s normálním chodem jsou vyšší spodní vodou brzděna, avšak celkově dosahují vyšší účinnosti cca o 5 %. Protékající voda je okysličována a není v kontaktu s ložisky, nemůže tedy dojít k jejímu znečištění. [2] [6] [19]

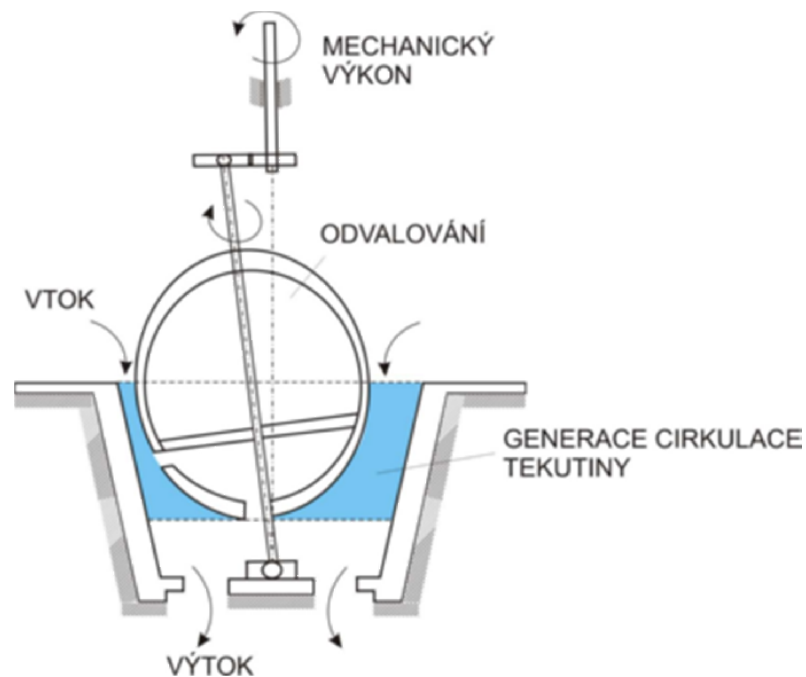


**Obrázek 2.3-2** Korečkové vodní kolo s obráceným chodem [19]

## 2.4 Neobvyklé vodní motory

Existují i různé neobvyklé vodní motory, které se však používají minimálně, protože klasické vodní turbíny dosahují výborných účinností a pokrývají většinu energeticky významných spádů. Tato zařízení jsou proto většinou předmětem zájmu spíše nadšenců a kutilů, nebo jsou užívána jako přenosný stroj energie. Lze zmínit turbínu Savonius. Obdobně jako u větrného motoru Savonius, i zde se jedná o dva půlkruhové žlaby posazené dutinami proti sobě s určitým překrytím, rozdíl je především v horizontálním uložení. Turbínu Savonius lze využít i při nulovém spádu, resp. na vodním toku dostatečně širokém a hlubokém, aby do něj mohla být celá turbína umístěna. Tento typ turbíny dosahuje nízké účinnosti a výkonů v řádech stovek wattů až několika kilowattů, proto se používá spíše jako přenosná elektrárna pro dočasné použití.

Za zmínku také stojí vynález Ing. Miroslava Sedláčka, svislá bezlopatková turbína Setur. Využívá hydrodynamického paradoxu, v zúženém místě turbíny se díky proudění vody odvaluje gumová koule na pružném hřídeli a pohání elektrický generátor. Lépe princip přiblíží obrázek 1.4-1. Turbínu lze používat jako přenosný zdroj elektrické energie, může pracovat se spády 0,6 m – 20 m a s průtoky v řádech jednotek až stovek litrů, maximálně dosahuje výkonu cca 7 kW. Turbína je stále ve vývoji, ale již dnes je možné zakoupit některý z několika typů nabízených společností Mechanika Králův Dvůr s.r.o. [6] [24]



Obrázek 2.4-1 Princip turbíny Setur [24]

### 3 Návrh řešení pro zvolenou lokalitu

#### 3.1 Popis lokality

Pro návrh malé vodní elektrárny jsem zvolil bývalý mlýn v Horním Poříčí nyní sloužící jako penzion. Od jezu přes řeku Otavu vede k budově penzionu 90 metrů dlouhý náhon pro původní mlýnské kolo na spodní vodu. Náhon společně s přílehlými pozemky patří obci, jez Ing. Kubešovi. Obě strany počítají se spoluprací. V současnosti je náhon zakončen na úrovni budovy penzionu hrazením, přes které voda volně přepadá do spodního odtoku. Odtud voda dále teče k rybníku, z něhož voda pokračuje do bočního ramena řeky Otavy.

Tuto lokalitu jsem zvolil, protože byla využívána již v minulosti, obec počítá s jejím opětovným využitím (legislativní řízení by mělo být dokončeno do konce roku 2014) a kvůli její turistické atraktivitě. Otava bývá v létě častým cílem vodáků a poblíž penzionu je rekreační a výukové středisko ČVUT Praha.



**Obrázek 3.1-1** Pohled na lokalitu v mapě, zdroj mapy.cz + vlastní úpravy

Pozn. k obrázku 3.1-1: šedý čtverec představuje MVE, černě je naznačena trasa nového kanálu, modře dole řeka Otava, nahoře slepé rameno, spojnice mezi nimi označuje původní náhon, dále červeně navrhovaný rybí přechod, zelené body značí čtyři více než stoleté stromy, které musí zůstat zachovány

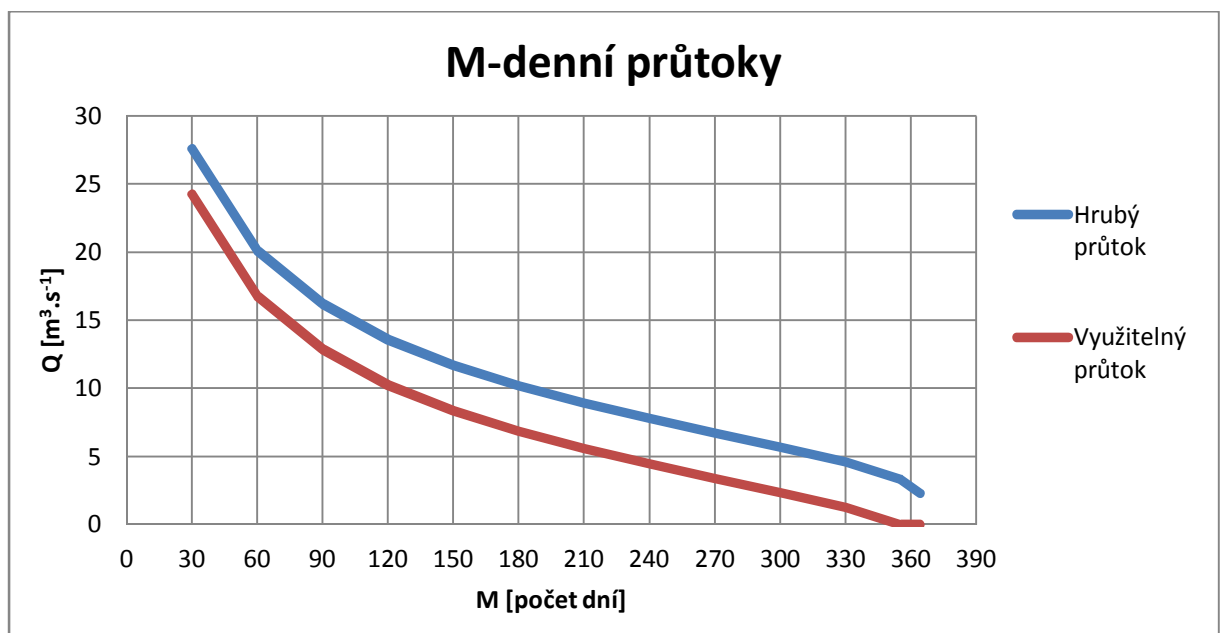
### 3.2 Hydrologická data

Hydrologické údaje vypracovala pobočka Českého hydrometeorologického ústavu v Českých Budějovicích na žádost Ing. Kubeše k datu 24. ledna 2008. Norma ČSN 75 1400 doporučuje ověření platnosti dat po pěti letech, avšak podle doplňujících informací byly údaje průměrného průtoku a m-denní průtoky odvozeny za období 1931 – 1980, proto není potřeba nechávat vypracovat posudek nový.

Lokalita se nachází na 65. km řeky Otavy, číslo hydrologického pořadí 1-08-01-113. Plocha povodí je 1 009,84 km<sup>2</sup>, dlouhodobá průměrná roční výška srážek dosahuje 891 mm, dlouhodobý průměrný průtok ( $Q_a$ ) je 13,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Pro výpočet využitelných průtoků  $Q_v$  byla odečtena hodnota sanačního průtoku  $Q_{355}$  od hodnot  $Q_M$ . Údaje  $Q_a$ ,  $Q_{M_d}$ ,  $Q_N$ , jsou ve třídě II.

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_M$ [m <sup>3</sup> /s]	27,6	20,1	16,2	13,6	11,7	10,2	8,92	7,78	6,73	5,7	4,6	3,34	2,3
$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	24,26	16,76	12,86	10,26	8,36	6,86	5,58	4,44	3,39	2,36	1,26	0	0

Tabulka 3.2-1 M-denní průtoky ( $Q_{M_d}$ )



Graf 3.2-1 M-denní průtoky ( $Q_{M_d}$ )

### 3.3 Volba turbín

Rozdíl horní a spodní hladiny vody v náhonu a odtoku (hrubý spád) se pohybuje v rozmezí 1,85 – 1,89 m. Při určování čistého spádu využitelného turbínou je potřeba od hrubého spádu odečíst ztrátovou výšku tvořenou hydraulickými ztrátami před, za turbínou, objemovými ztrátami, ztrátami v náhonu, odtoku atd. Hodnotu čistého spádu  $H = 1,6$  m jsem převzal z nabídky firmy CINK Hydro – Energy k.s.

Vzhledem k malému spádu a rozsahu průtoků cca 1 – 24 m<sup>3</sup>/s se jeví jako vhodná volba turbína typu Kaplan, Semi-Kaplan nebo šneková turbína. Turbíny lze kombinovat, např. použít několik turbín s menší maximální hltností, protože budou turbíny pracovat s vyšší účinností, případně budou využívat i malé průtoky. Ideální by zřejmě byla vrtulová turbína Ing. Františka Pochylého, Csc. vyvíjená speciálně pro tyto podmínky, ale zatím je stále ve fázi vývoje a na běžném trhu není dostupná. Vodní kola jsou pro takto velké průtoky nepoužitelná a Bánkiho turbína by kvůli ztracenému spádu dosahovala malého výkonu.

U varianty A padla volba na klasickou Kaplanovu turbínu s dvojitou regulací. Ve druhém případě jsem rozšířil variantu A o turbínu typu Semi-Kaplan, díky čemu se doba využití dostala z 210 dní na 330 dní v roce. Původní záměr byl porovnat možnosti relativně drahé Kaplanovy turbíny s levnější šnekovou turbínou, nebo se soustrojím složeným ze dvou turbín typu Semi-Kaplan, kde by jedna turbína měla hltnost přibližně polovinu navrhovaného maximálního průtoky. Zástupci dvou výrobců mi byla nabídnuta spolupráce, v jednom případě přímo konkrétní typ zařízení při telefonickém rozhovoru, avšak po odeslání údajů o lokalitě komunikace, i přes mé urgencye, ustala. Druhou firmou mi byla nabídnuta šroubová turbína s maximální hltností 3 500 l/s. Pro průtok  $Q_{120}$  by bylo potřeba osadit náhon třemi turbínami, z nichž každá má průměr šneku 2,7 m. Tuto variantu jsem kvůli prostorovému a estetickému hledisku zavrhl. Další kontaktování zástupci firem vyrábějících turbíny vhodné pro tento návrh neměli zájem nebo neodpověděli. Při vypracovávání varianty B jsem s laskavým svolením autora vycházel z diplomové práce Ing. Ondřeje Pytlíka (Posouzení možnosti stavby malé vodní elektrárny, ZČU FEL, 2012), konkrétně z údajů o turbínách HH 1000 SSK.

### 3.3.1 Varianta A – výpočet vyrobené energie

V prvním případě jsem zvolil klasickou Kaplanovu turbínu v přímoproudém provedení, která díky dvojité regulaci dokáže pracovat s širokým rozsahem průtoků. Proto jsem pro maximální průtok vybral hodnotu  $Q_{60} = 16,76 \text{ m}^3/\text{s}$ . Díky tomu bude turbína v chodu po menší počet dní v roce, ale bude dosahovat vyšších výkonů. Firmou CINK Hydro – Energy k.s. mi byla nabídnuta jejich turbína typu AD 3 - 178 (3 nastavitelné lopatky oběžného kola, průměr 1 780 mm) s minimální hltností  $Q_{\min} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  a s maximální hltností  $Q_{\max} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$

<b>Plnění turbíny [%]</b>	100	80	60	40	26
<b><math>\eta_t</math> [%]</b>	86,2	89,8	90,1	88,4	83,7
<b><math>\eta_p \cdot \eta_g</math> [%]</b>	92,6	93,3	93,3	92,8	89
<b><math>\eta_c = \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g</math> [-]</b>	0,798	0,838	0,84	0,82	0,745

**Tabulka 3.3-1** Závislost účinnosti na plnění turbíny Kaplan [7]

Teoretický hydroenergetický potenciál lokality s průtokem  $Q_{60}$ :

$$P_{teor} = Q * \rho * g * H = 16,76 * 1\,000 * 9,81 * 1,6 = 279\,506 \text{ W} \doteq 279,5 \text{ kW} \quad (3.1)$$

kde:  $P_{teor}$  – teoretický výkon [W],

$Q$  – průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$\rho$  – hustota vody [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$g$  – tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$H$  – spád [m]

Výpočet teoretického výkonu turbíny pro největší průtok:

$$P_t = Q_{max} * \rho * g * H * \eta_t = 16,76 * 1\,000 * 9,81 * 1,6 * 0,862 = 227 \text{ kW} \quad (3.2)$$

kde:  $P_t$  – výkon turbíny [kW]

$Q_{max}$  – maximální průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$\eta_t$  – účinnost turbíny [-]

Výpočet elektrického výkonu při maximálním průtoku:

$$P_e = P_t * \eta_p * \eta_g = 227 * 0,926 = 210 \text{ kW} \quad (3.3)$$

kde:  $P_e$  – výkon dodávaný do sítě [W]

$\eta_p$  – účinnost převodovky [-]

$\eta_g$  – účinnost generátoru [-]

Dále vypočítám množství elektrické energie vyrobené během dnů se stejným průtokem.

$$E_Q = Q * \rho * g * H * \eta_c * M * 24 = 16,76 * 1\,000 * 9,81 * 1,6 * 0,798 * 60 * 24 = 302,4 \text{ MWh} \quad (3.4)$$

kde:  $E_Q$  – vyrobená energie [Wh]

$\eta_c$  – účinnost soustrojí [-]

$M$  – počet dní se shodným průtokem [dny]

<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	16,76	12,86	10,26	8,36	6,86	5,58	4,44	3,39	2,36	1,26
<b><math>\eta_c</math> [-]</b>	0,798	0,84	0,841	0,82	0,82	0,745	0	0	0	0
<b>P<sub>e</sub> [kW]</b>	210	186,3	135,4	107,6	88,3	65,2	0	0	0	0
<b>Počet dní</b>	60	30	30	30	30	30	30	30	30	30
<b>E<sub>Q</sub> [MWh]</b>	302,4	134,2	97,5	77,5	63,6	46,9	0	0	0	0

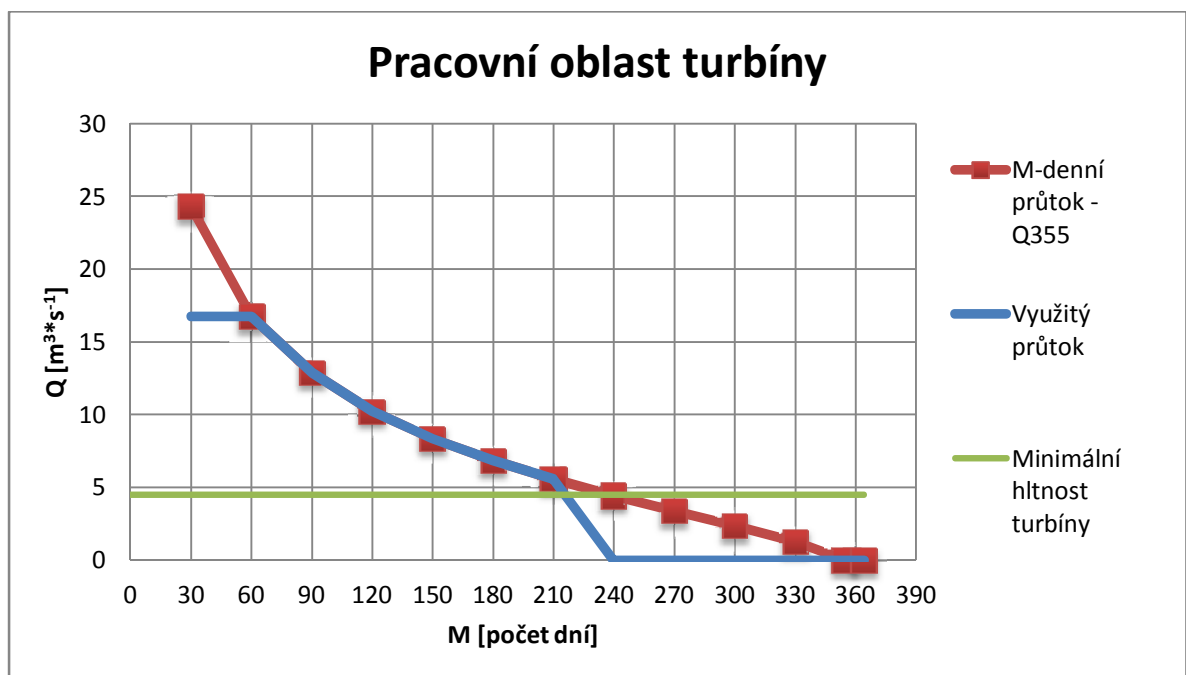
**Tabulka 3.3-2** Výpočet vyrobené energie

Celkové množství elektrické energie vyrobené za rok získám součtem dílčích výnosů:

$$E_a = \sum E_Q = 722 \text{ MWh} \quad (3.5)$$

kde:  $E_a$  – elektrická energie vyrobená za rok [MWh]

$E_Q$  - elektrická energie vyrobená během dní se stejným průtokem [MWh]



**Graf 3.3-1** Pracovní oblast turbíny ve variantě A



Graf 3.3-1 znázorňuje pracovní oblast zvolené Kaplanovy turbíny, je to plocha pod křivkou využitého průtoku až do bodu, kde protíná minimální hltnost turbíny, v tomto případě poběží soustrojí 210 dní v roce.

### 3.3.2 Varianta B – výpočet vyrobené energie

Ve druhé variantě jsem rozšířil variantu A o turbínu typu Semi-Kaplan. Pro výběr generátoru pomocí následujícího vzorce spočítám maximální výkon druhé turbíny při 100% plnění s připojenou převodovkou. Podle tabulky volím účinnost turbíny při maximální hltnosti 80 %, účinnost řemenových převodů 92 %.

Poznámka k tabulce 3.3-3: Podle údajů výrobce asynchronního motoru je při nižším zatížení jeho účinnost vyšší než při jmenovitém výkonu, nejedná se o chybu.

<b>Plnění turbíny [%]</b>	100	75	60	36
<b><math>\eta_t</math> [%]</b>	80	75	70	60
<b><math>\eta_p \cdot \eta_g</math> [%]</b>	0,867	0,873	0,875	0,875
<b><math>\eta_c = \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g</math> [-]</b>	0,693	0,654	0,612	0,525

**Tabulka 3.3-3** Závislost účinnosti na plnění turbíny Semi-Kaplan [27] [29]

$$P_{tp} = Q_{max} * \rho * g * H * \eta_t * \eta_p = 3,5 * 1000 * 9,81 * 1,6 * 0,8 * 0,92 = 40,4 \text{ kW} \quad (3.6)$$

kde:  $P_{tp}$  – výkon turbíny za převodovkou [W]

Pro výpočet maximálního elektrického výkonu generátoru je třeba ve výpočtu výkonu zohlednit účinnost generátoru.

$$P_e = P_{tp} * \eta_g = 40,4 * 0,942 = 38,1 \text{ kW}$$

Poté vypočítám elektrickou energii vyrobenou během dní, kdy průtok dosahuje stejné hodnoty.

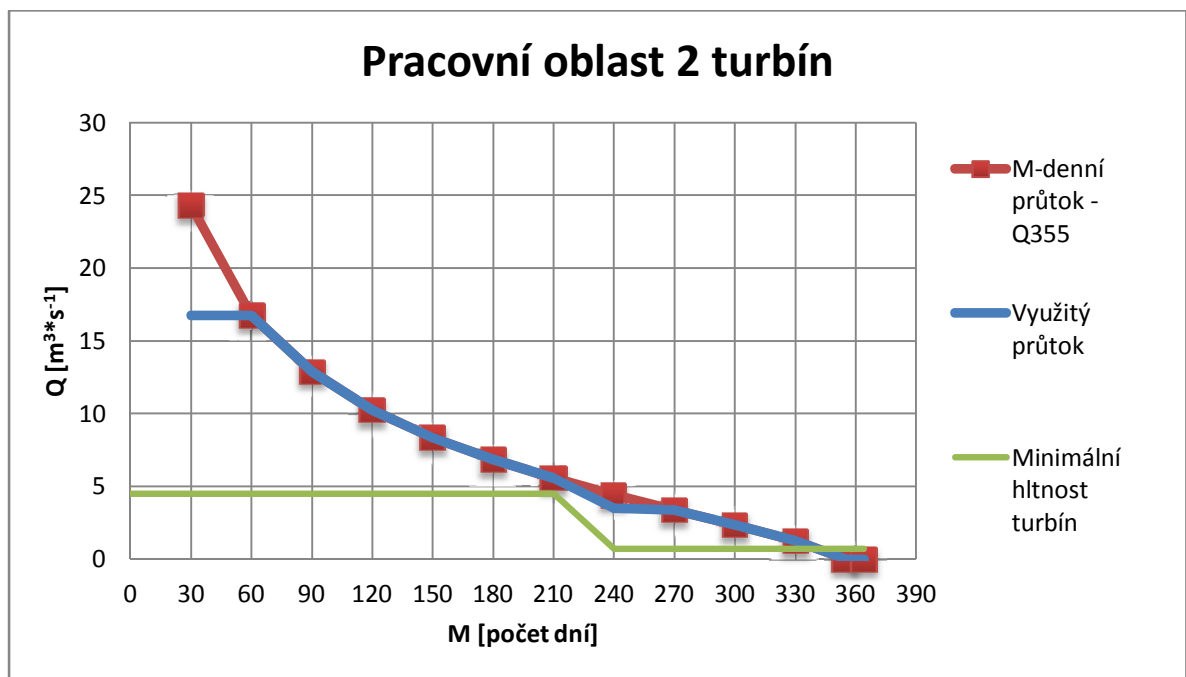
$$E_Q = Q * \rho * g * H * \eta_c * M * 24 = 3,5 * 1\,000 * 9,81 * 1,6 * 0,693 * 30 * 24 = 27,4 \text{ MWh}$$

Kaplanova turbína							Turbína Semi-Kaplan			
<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	16,76	12,86	10,26	8,36	6,86	5,58	3,5	3,39	2,36	1,26
<b>η<sub>c</sub> [-]</b>	0,798	0,84	0,841	0,82	0,82	0,745	0,693	0,693	0,612	0,525
<b>P<sub>e</sub> [kW]</b>	210	186,3	135,4	107,6	88,3	65,2	38,1	36,9	22,7	10,4
<b>Počet dní</b>	60	30	30	30	30	30	60	30	30	30
<b>E<sub>Q</sub> [MWh]</b>	302,4	134,2	97,5	77,5	63,6	46,9	27,4	26,6	16,3	7,5

Tabulka 3.3-4 Výnos energie varianty B

Celkové množství elektrické energie vyrobené za rok při použití dvou turbín:

$$E_a = \sum E_Q = 800 \text{ MWh}$$



Graf 3.3-2 Pracovní oblast turbín ve variantě B

V grafu 3.3-2 vidíme, že přidaná turbína typu Semi-Kaplan rozšiřuje pracovní oblast elektrárny i o průtoky, které Kaplanova turbína s minimální hltností  $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nedokáže využít. Díky tomu křivka využitého průtoku protíná křivku minimální hltnosti až v bodě 330, elektrárna tedy bude pracovat 330 dní v roce. Dále je vidět, že 30 dní potřeče tak velký průtok, že ho nebude schopná Kaplanova turbína zpracovat celý, ten zůstane nevyužit kvůli velikosti náhonu, není totiž na tak velký průtok dimenzován.

## 4 Rozbor investice

Významným krokem před realizací návrhu je určení celkových nákladů, které bude potřeba investovat pro uskutečnění našeho záměru, a odhad zisku. Reálné náklady se mohou lišit od sum ve výpočtech, protože nelze předem odhadnout a započítat všechna rizika spojené s výstavbou MVE. U odhadu ročních výnosů elektrárny se počítá s hodnotami průtoků získaných dlouhodobým měřením a průměrováním, ve skutečnosti tedy nebude zisk každý rok stejný a bude se měnit podle aktuálních průtoků.

Cenu výkopových a stavebních prací jsem konzultoval s panem Martinem Zamrzlou, majitelem firmy zaměřené na stavby a zemní práce. Také jsem čerpal z Českých stavebních standardů. Při určování ceny kovodělných prací jsem vycházel ze svých zkušeností získaných při brigádě v zámečnictví. Pokud u ceny není přímo uveden zdroj, jedná se o odhad na základě studování obdobných projektů nebo zprůměrování cen nabídek více výrobců či dodavatelů. [30]



**Obrázek 4-1** Pohled na stávající náhon vypuštěný kvůli čištění, vlastní foto

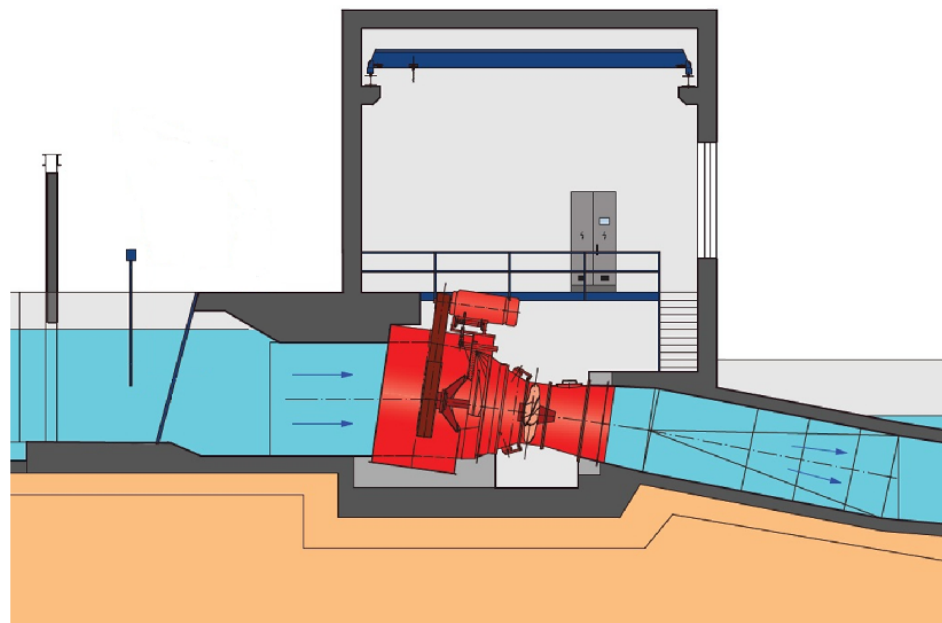
## 4.1 Varianta A – Kaplanova turbína

### 4.1.1 Strojní a stavební část

Nabídka od firmy CINK Hydro – Energy k.s. zahrnuje:

- kaplanovu turbínu AD 3 – 178 s dvojitou regulací (jmenovité otáčky  $143 \text{ min}^{-1}$ , životnost ložisek přes 100 000 hodin)
- hydraulickou jednotku
- řemenový převod (převodový poměr 1:5,3, plochý řemen, životnost ložisek přes 100 000 hodin)
- asynchronní generátor (jmenovitý výkon 226 kW, jmenovité otáčky  $759 \text{ min}^{-1}$ , krytí IP 55, životnost ložisek přes 100 000 hodin)
- řídicí systém zajišťující automatický provoz MVE s občasným dozorem a s možností manuální regulace, kompenzaci jalového výkonu, automatické fázování, obsahuje navíc hladinové sondy, poruchovou regulaci (zastavení v případě poruchy a opětovné najetí) a záložní zdroj napětí pro řídicí systém
- rozvaděč TN-C, 3+PEN, 3x400/230VAC, 50Hz
- dokumentace a dohled při montáži třetí stranou

Cena kompletu je 13 656 060 Kč s DPH.



**Obrázek 4.1-1** Náčrso budovy pro přímoproudou Kaplanovu turbínu bez čistícího stroje česlí, zleva stavidlo, odpuzovač ryb a jemné česle [7]

Vyčíslení stavební části obsahuje náklady na stavbu budovy a její vybavení (elektrické rozvody, jeřáb, bezpečnostní systém, transformátor), hrubé a jemné česle, dvě stavidla s elektrickým pohonem, čistící stroj česlí a elektrický odpuzovač ryb.

Protože se jedná o elektrárnu s výkonem nad 100 kW, je nutné použít transformátor 0,4/22 kV pro připojení do sítě vysokého napětí. Pro výběr transformátoru je třeba znát zdánlivý výkon motoru, který spočítám podle vztahu 4.1. Dosazuji hodnotu maximálního výkonu a účinníku pro 100% zatížení, abych vypočítal maximální možný zdánlivý výkon.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{226}{0,88} = 257 \text{ kVA} \quad (4.1)$$

kde: S – zdánlivý výkon [VA]

P – výkon generátoru [W]

cos  $\varphi$  – účinník generátoru [-]

Na základě výpočtu volím transformátor se zdánlivým výkonem 400 kVA, je to nejbližší tabulková hodnota a bude zatížen maximálně na 64 %, což je výhodné pro nízkou hodnotu ztrát naprázdno. Celkový odhad s 10% rezervou, se započítanou dopravou a montáží soustrojí stanovuji na částku 5 000 000 Kč.

#### 4.1.2 Náhon a odtok

Další významnou položkou v nákladech bude rekonstrukce přívodního a odpadního kanálu. Protože potřebný největší průtok bude téměř dosahovat maximální hlnosti turbíny  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , je stávající kanál malý, viz rovnice 4.2. Současný náhon má hloubku 1,4 m a šířku 5,5 m (v přední části s obdélníkovým průřezem) a délku 90 m, odtok má zanedbatelnou velikost a délku 40 m, slouží pouze k odvodu přepadu přes hráz. Aby nový kanál byl co nejužší, volím betonovou variantu, kde lze využít rychlosti proudění až do hodnoty  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , což bude i hodnota výpočtová. Pro zachování určité rezervy bude návrhový průtok  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$S_p = a * h = 5,5 * 1,4 = 7,7 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

$$S = a * h \rightarrow a = \frac{S}{h} = \frac{18}{1,4} = 12,86 \text{ m} \quad (4.3)$$

kde:  $S_p$  – průřez původního kanálu [ $\text{m}^2$ ]

S – průřez navrhovaného kanálu [ $\text{m}^2$ ]

a – šířka náhonu [m]

h – hloubka náhonu [m]

Kvůli více než stoletým stromům, které nesmí být poraženy, nebude původní náhon rozšířen a bude zavezen, nový náhon povede mezi těmito stromy, kde je pro něj dostatek místa, viz obrázek 3.1-1. Díky tomu se využije část hlíny vykopané při hloubení nového kanálu. Další část se použije pro výstavbu náspu kolem rybího přechodu, protože by se jinak nacházel již na úrovni dolní hladiny po celé své délce. Ústít bude nad jezem. Dojde tím k ušetření nákladů na odvoz nevyužité zeminy.

Protože kanál bude vybetonovaný, je potřeba k hodnotám šířky a hloubky přičíst ještě tloušťku betonu  $B = 0,5$  m. Celkový objem zeminy, kterou bude potřeba vybagrovat pro přípravu náhonu:

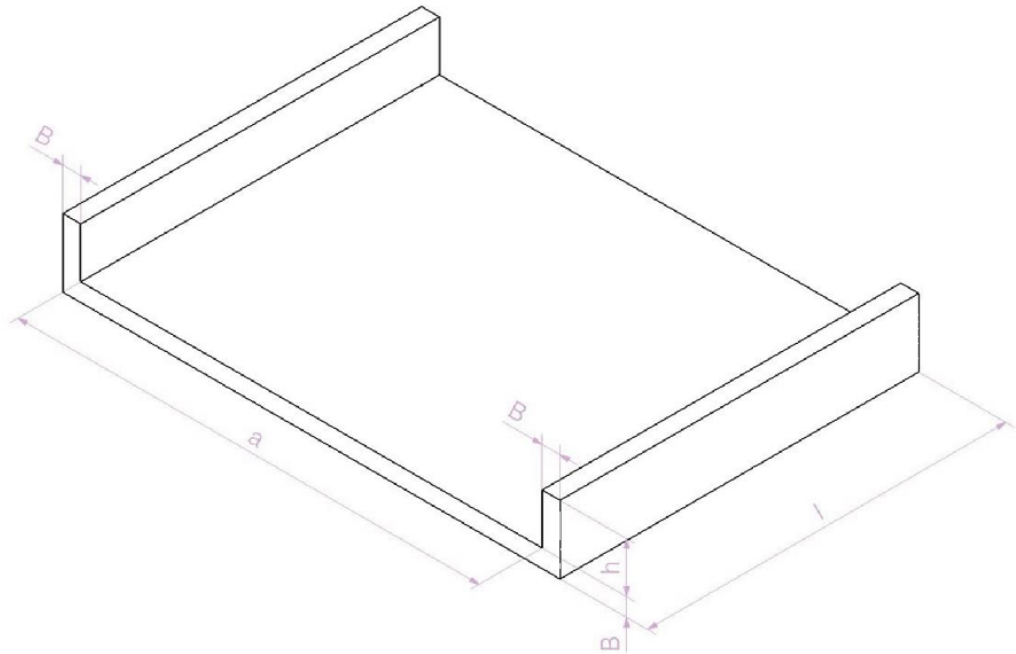
$$\begin{aligned} V_z &= (a + 2 * B) * (h + B) * l_n + (a + 2 * B) * (h + B) * l_o \\ &= (12,86 + 2 * 0,5) * (1,4 + 0,5) * 90 + (12,86 + 2 * 0,5) \\ &\quad * (1,4 + 0,5) * 40 = 3\,423 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4.4)$$

kde:  $V_z$  – objem zeminy [ $\text{m}^3$ ]

$B$  – síla betonu [m]

$l_o$  – délka odtoku [m]

$l_n$  - délka náhonu [m]



**Obrázek 4.1-2** Nákres vodního kanálu, vlastní tvorba

Objem betonu pro celou délku koryta vypočítám podle vztahu:

$$V_b = (2 * (h + B) * B + a * B) * (l_n + l_o) \quad (4.5)$$

$$= (2 * (1,4 + 0,5) * 0,5 + 12,86 * 0,5) * (90 + 40) = 1\,083\,m^3$$

kde:  $V_b$  – objem betonu [ $m^3$ ]

Po vynásobení cenou betonu vhodného pro stavbu kanálu 1 500 Kč/ $m^3$  dostávám částku 1 624 500 Kč. Cena za zpracování zeminy (vykopání, zasypání náhonu, úprava terénu) je odhadnuta na částku 700 Kč/ $m^3$ , díky zmíněnému využití při dalších úpravách lokality, celkem tedy 2 396 100 Kč.

Celkově náklady na náhon a odtokový kanál činí 4 020 600 Kč.

### 4.1.3 Rybí přechod

Pro umožnění nerušené migrace ryb se vodní díla opatřují rybím přechodem. Protože se v tomto případě jedná o derivační vodní elektrárnu s vysokou rychlostí proudu v náhonu, rybí přechod musí spojovat přímo hlavní koryto řeky se slepým náhonem. Doporučená rychlost proudu se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,6 m/s. Rybí přechod bude umístěn po proudu od náhonu, takže ryby plující proti proudu ve slepém ramenu budou lákány tzv. vábícím proudem. [6] [18]

Aby byl přechod pro ryby co nejvíce přírodní, rozhodl jsem se pro peřejovou variantu, viz obrázek 4.1-3. Také vizuálně bude působit na případné návštěvníky a vyvažovat betonový náhon vodní elektrárny. Strouha bude lichoběžníkového průřezu, směrem po proudu se bude pozvolna zužovat a prohlubovat, průřez tedy bude přibližně konstantní, což využiji pro výpočet objemu zeminy určené k odstranění. Koryto přechodu nebude rovné nýbrž zvlněné s nepravidelně rozestavěnými kameny v jednotlivých řadách, břehy nebudou zpevněny.

$$V_r = \frac{a + c}{2} * v * l = \frac{1,5 + 4,5}{2} * 1 * 200 = 600\,m^3 \quad (4.6)$$

kde:  $V_r$  – objem rybího přechodu [ $m^3$ ]

$a$  – spodní šířka strouhy [m]

$v$  – výška náhonu [m]

$c$  – vrchní šířka náhonu [m]

Pro výpočet ceny opět použiji hodnotu 700 Kč/ $m^3$ , která pokrývá jak výkop, tak finální úpravu. Cena rybího přechodu i s kameny je odhadnuta na 500 000 Kč.





**Obrázek 4.1-3** Peřejový rybí přechod v Plzni - Hradišti, vlastní foto

#### 4.1.4 Celkové náklady

Celkové investiční náklady získám součtem dílčích položek. Pro další výpočty je potřeba vyčíslit roční náklady na provoz. V nich zohledňuji vlastní spotřebu elektrické energie samotné elektrárny a přidružených zařízení, náklady na mazivo pro pravidelnou údržbu a paušální příspěvek do fondu oprav, např. pro výměnu ložisek a řemenů při jejich přílišném opotřebení. Taktéž započítávám plat pro údržbu a kontrolu konajícího pracovníka, elektrárna je schopna automatického provozu, ale měla by být v pravidelných intervalech kontrolována čistota česlí a odstraňovány shrabky, aby nedocházelo ke zbytečnému snížení průtoku a tím pádem i výkonu. Také je nutné myslet na nečekané události, jako jsou dlouhodobý výpadek elektřiny, nebo snížení průtoku způsobené např. ucpáním jemných česlí z důvodu závady na čistícím stroji. Ročním náklady odhaduji na 125 000 Kč.

<b>Strojní vybavení</b>	13 656 060 Kč
<b>Budova a další vybavení</b>	5 500 000 Kč
<b>Náhon a odtok</b>	4 020 600 Kč
<b>Rybí přechod</b>	500 000 Kč
<b>Celkové náklady</b>	23 676 660 Kč

**Tabulka 4.1-1** Celkové náklady - varianta A



## 4.2 Varianta B – turbína Semi-Kaplan

Náklady varianty B rozšíří náklady varianty A. Náhon, odtok i rybí přechod mohou zůstat stejné, budovu bude třeba rozšířit, aby bylo možné umístit turbíny vedle sebe, ale rozdíl v ceně by se měl vejít do 10% rezervy vyhrazené při odhadu v kapitole 4.2.1.

### 4.2.1 Náklady na strojní část

- turbína typu Semi–Kaplan HH 1000 SSK se 4 natáčecími lopatkami oběžného kola (maximální hlnost  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , minimální  $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , jmenovité otáčky  $260 \text{ min}^{-1}$ ), provozní uzávěr, regulace, savka a řemenový převod s převodovým poměrem 1:5,9 o celkové ceně 2 268 000 Kč
- generátor se zvýšenou účinností Siemens 1LE1501 a výkonem 45 kW (400V, jmenovité otáčky  $1 475 \text{ min}^{-1}$ ) o ceně 66 756 Kč
- převoz, montáž, testování – 600 000 Kč
- rozvaděč, kompenzátor, řídicí systém – 400 000 Kč

### 4.2.2 Celkové náklady

Celkové náklady získám součtem dílčích nákladů a přičtením varianty A. Opět je nutné počítat s provozními náklady, v tomto případě bude elektrárna v chodu větší část roku a bude obsahovat 2 soustrojí. Roční provozní náklady této varianty odhaduji na částku 185 000 Kč.

<b>Turbína + příslušenství</b>	2 680 000 Kč
<b>Generátor</b>	66 756 Kč
<b>Převoz, montáž, testování</b>	600 000 Kč
<b>Elektrické vybavení, ovládání</b>	400 000 Kč
<b>Ostatní náklady (Varianta A)</b>	23 676 660 Kč
<b>Celkové náklady</b>	27 423 416 Kč

Tabulka 4.2-2 Celkové náklady - varianta B

## 5 Ekonomické zhodnocení

Před samotnými výpočty výnosů a následného zhodnocení je třeba si zjistit potřebné hodnoty platné pro daný typ zařízení a především pro aktuální rok. Dále zvolit způsob prodeje vyrobené elektřiny, zjistit úroveň daně z příjmu, odpisů apod.

Prodej vyrobené elektřiny lze realizovat dvěma způsoby. Jedna možnost je využití zelené bonusy, kdy výrobce prodává elektřinu odběrateli za smlouvanou cenu a k tomu dostává bonus od OTE, a.s. (operátor trhu), což je společnost pověřená vyplácením zelených bonusů. Druhá možnost je prodej za pevně stanovenou výkupní cenu. [5]

Daň z příjmu je stanovena na hodnotu 19 %. Tento údaj je platný pro rok 2014, ale bude dosazen do výpočtů pro celou dobu životnosti. Nelze totiž dopředu odhadnout, jestli tato hodnota po dobu životnosti zůstane neměnná, případně jak se změní. [26]

U MVE lze využít možnosti odpisů. Volím možnost rovnoměrných odpisů. Strojní vybavení spadá do 3. odpisové skupiny s minimální dobou odpisů 10 let (koeficient pro 1. rok je 5,5 a pro další roky 10,5), stavební části spadají do 5. odpisové skupiny s minimální dobou odpisů 30 let (koeficient pro 1. rok je 1,4 a pro další roky 3,4). [26]

Vyhláška č. 347/2012 Sb. se změnami 350/2013 Sb. stanovuje životnost nových vodních elektráren na dobu 30 let. [5]

Druh podporovaného zdroje	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
	od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
					Vysoký tarif	Nízký tarif
Nová MVE	1.1.2013	31.12.2013	3 295	2 475	2 600	2 362
	1.1.2014	31.12.2014	3 230	2 410	-	-

**Tabulka 5.1-1** Přehled cen pro výkup elektřiny z MVE podle cenového rozhodnutí ERÚ č.4/2013 [25]

Protože v dané lokalitě nebylo v předchozích pěti letech nainstalováno žádné energetické zařízení, spadá tento návrh do kategorie nových lokalit. Navíc od letošního roku není možné čerpat zelené bonusy pro vysoký a nízký tarif. Pro výpočty zvolím pevnou výkupní cenu 3 230 Kč/MWh. Pokud se vlastník rozhodne pro zelené bonusy kombinované s prodejem obchodníkovi, tak většinou nemá garantovanou cenu a ta může klesnout. Vlastník ale může zvolit jiného odběratele s výhodnější výkupní cenou, což nelze dopředu ve výpočtech odhadnout. Tato varianta se také volí v případech, kdy provozovatel používá

vyrobenou elektřinu k pokrytí části spotřeby elektřiny, např. v případě, kdy MVE zásobuje elektřinou průmyslový objekt. [25]

Pro zpracování výpočtů jsem použil „Výpočtovou pomůcku EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC I - III“ z internetových stránek tzb-info.cz. Výpočet cash flow jsem prováděl v MS Office Excel 2010, na ostatní výpočty jsem použil finanční kalkulačtor ze stránek tzb-info.cz. Pro výpočty uvažuji 7% diskont a 2% roční změnu výnosu z pořizovaného zařízení. [25]

U zhodnocení obou variant nejprve uvažuji situaci, kdy celou investici pokryje obec ze svých zdrojů. Pokud by v tomto případě vyšla investice jako nevýhodná, nemělo by smysl uvažovat výpočet se zohledněním úvěru.

V současnou chvíli nelze čerpat dotace na stavbu MVE z Operačního programu životního prostředí. Ani u agentur poskytujících zprostředkování dotací z fondů Evropské unie v tuto chvíli neexistuje výzva pro čerpání dotací na investici pro využívání vodní energie, možnost dotace tedy ve výpočtech nebude zahrnuta. [31]

## 5.1 Zhodnocení varianty A

### 5.1.1 Roční výnos a náklady na provoz

Prodej elektřiny bude realizován připojením do sítě vysokého napětí přes transformátor 0,4/22 kV, ve výpočtech musí být zahrnuta ještě jeho účinnost 97 %. Roční výnos varianty A bude:

$$V_a = E_a * \eta_{tr} * C_v = 722 * 0,97 * 3\,230 = 2\,262\,098 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

Kde:  $V_a$  – roční výnos [Kč]

$C_v$  – pevná výkupní cena elektrické energie [Kč/MWh]

$\eta_{tr}$  - účinnost transformátoru [-]

Roční náklady již byly určeny v kapitole 4.1.4 na částku 125 000 Kč.

### 5.1.2 Výpočet prosté návratnosti

Nejjednodušší a velmi často používané ekonomické hledisko je prostá doba návratnosti. Výpočet počítá s prostým hotovostním tokem, který je konstantní pro každý rok, až do doby, kdy dojde k úplnému splacení investice. Výstup je vždy celé číslo, nelze tedy přesně určit měsíc splacení. V tomto případě bude varianta A zaplacená během jedenáctého roku. Další nevýhodou je zanedbání doby po splacení investice a nerespektování jiných investičních příležitostí. [25]

$$T_p = \frac{IN}{CF} = \frac{IN}{V_a - N_a} = 11 \text{ let} \quad (5.2)$$

Kde:  $T_p$  – doba návratnosti [roky]

$IN$  – investiční náklady [Kč]

$V_a$  – roční výnos [Kč]

$N_a$  – roční provozní náklady [Kč]

### 5.1.3 Posouzení ekonomické efektivity investic

#### Diskontovaná doba návratnosti

Metoda diskontované doby zohledňuje diskontovaný peněžní tok. Je v ní započítána také možnost investice stejné částky do alternativního projektu se stejným rizikem. Proto je tato doba podstatně delší než doba prosté návratnosti. [25]

$$T_{ds} = \frac{IN}{\frac{CF}{(1+r)^t}} = 20 \text{ let} \quad (5.3)$$

Kde:  $T_{ds}$  – diskontovaná doba návratnosti [roky]

$r$  – diskont [%]

$t$  – rok, ke kterému diskontovanou návratnost uvažujeme

### Čistá návratová hodnota

Čistá návratová hodnota respektuje celou dobu životnosti, pro rok 0 uvažuje pouze počáteční investici, provoz spojený s prvními zisky, náklady apod. začíná v roce 1. Vychází-li čistá návratová hodnota jako kladné číslo, investice do daného projektu má smysl. [25]

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 5\,554\,544 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

Kde: NPV – čistá návratová hodnota [Kč]

DCF – diskontovaný cash flow [Kč]

$t$  – doba životnosti projektu [roky]

### Vnitřní výnosové procento (IRR)

Vnitřní výnosové procento značí trvalý roční výnos uvažované investice, který určíme jako diskont při nulové čisté návratové hodnotě. Zadaný odhad diskontu 7 % je menší než vypočítané IRR, proto lze investici schválit. [25]

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow IRR = r = 9\% \quad (5.5)$$

#### 5.1.4 Cash flow

Přesným a přehledným ekonomickým nástrojem je cash flow, čili hotovostní tok, což je rozdíl výnosů a výdajů pro jednotlivé roky uvažované životnosti. Tento výpočet může zahrnovat případný úvěr a dotace. V případě návrhu A vidíme, že pro uvažované náklady a příjmy by se investice zaplatila po 11 letech a od 12. roku by již pouze vydělávala, pokud by nedošlo k závažnější poruše, kterou by nepokryly z roční náklady či fond oprav. [25]

$$CF_t = V_a - N_a - IN + U - N_U - D_Z - S \quad (5.6)$$

$$D_Z = (V_a - N_a - N_O - N_U \mp P, O) * dz \quad (5.7)$$

kde:  $CF_t$  – cash flow [Kč]

$N_U$  – úroky z úvěru [Kč]

$D_Z$  – daň ze zisku [Kč]

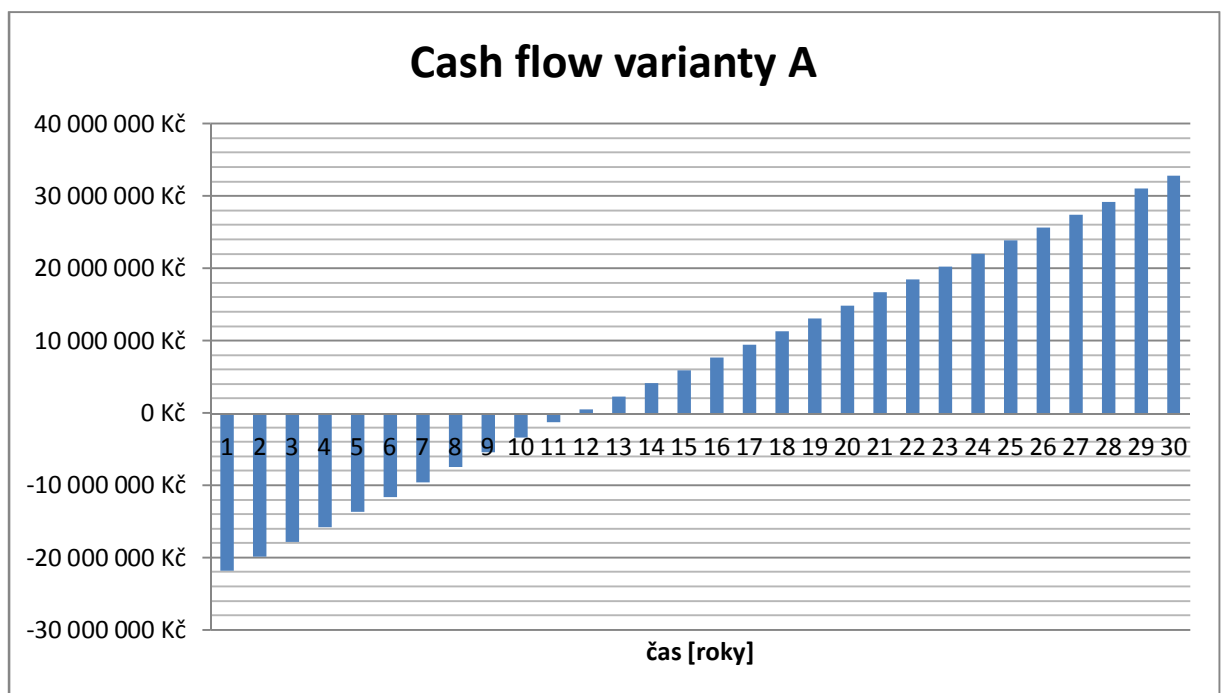
$U$  – úvěr [Kč]

$S$  – úmor [Kč]

$N_O$  – odpisy [Kč]

$P, O$  – položky upravující základ daně [Kč]

$dz$  – sazba daně z příjmů [-]



**Graf 5.1-1** Cash flow varianty A

## 5.2 Zhodnocení varianty B

Před zhodnocením varianty B napřed porovnáním nákladů a výnosů obou návrhu zjistím, zda má rozšíření o druhou turbínu smysl.

Varianta	A - 1 turbína	B- 2 turbíny
Investiční náklady	23 676 660 Kč	27 423 416 Kč
	100 %	116 %
Výnos - provozní náklady	2 137 098 Kč	2 321 480 Kč
	100 %	109 %

**Tabulka 5.2-1** Porovnání nákladů a výnosů obou variant

Z tabulky 5.2-1 vyplívá, že při instalaci dvou turbín získáme každý rok o 9 % větší výnos na úkor jednorázových investičních nákladů vyšších o 16 % oproti návrhu s jednou turbínou. Výhodnost rozšíření o druhou turbínu bude lepší zhodnotit pomocí ekonomických hledisek pro získání přesnějších údajů.

### 5.2.1 Roční výnos a náklady na provoz

Prodej elektřiny bude realizován připojením do sítě vysokého napětí přes transformátor 0,4/22 kV, ve výpočtech musí být zahrnuta ještě jeho účinnost 97 %. Roční výnos varianty B bude:

$$V_a = E_a * \eta_{tr} * C_v = 800 * 0,97 * 3\,230 = 2\,506\,480 \text{ Kč}$$

Roční náklady již byly určeny v kapitole 4.2.2 na částku 185 000 Kč.

### 5.2.2 Výpočet prosté návratnosti

Výpočet prosté návratnosti vychází o rok delší než ve variantě A, z tohoto hlediska je varianta B o něco méně výhodná. [25]

$$T_p = \frac{IN}{CF} = \frac{IN}{V_a - N_a} = 12 \text{ let}$$

### 5.2.3 Posouzení ekonomické efektivity investic

#### Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti vychází pro variantu B o dva roky vyšší, tato varianta se tedy v tomto ohledu jeví opět o něco méně výhodná. [25]

$$T_{ds} = \frac{IN}{\frac{CF}{(1+r)^t}} = 22 \text{ let}$$

#### Čistá návratová hodnota

I v tomto případě je čistá návratová hodnota číslo větší než 0, což značí, že se investice vyplatí, ale výsledek je menší než u varianty A, návrh A se tedy jeví z tohoto hlediska výhodněji. [25]

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 4\,690\,947 \text{ Kč}$$

#### Vnitřní výnosové procento (IRR)

IRR opět vychází stejně v obou případech a podle tohoto hlediska lze oba návrhy označit za shodně výhodné. [25]

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow IRR = r = 9 \%$$

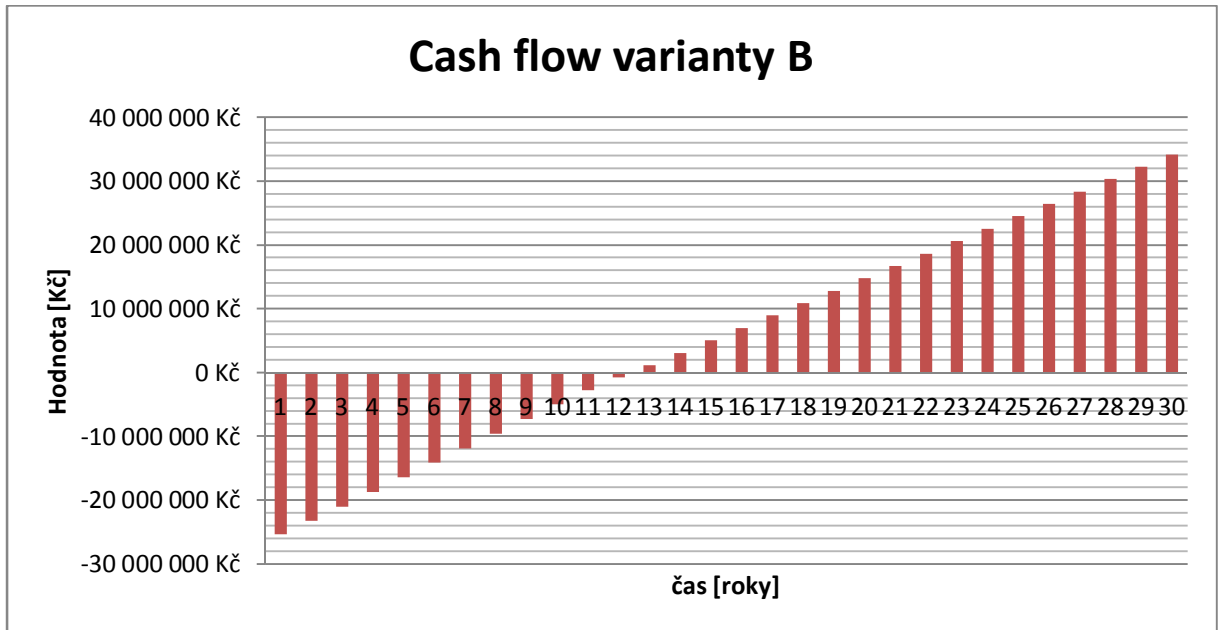
### 5.2.4 Cash flow

Podle zhodnocení peněžních toků bude varianta B splacena ve 12. roce provozu a od 13. roku bude generovat zisk, na rozdíl od varianty A, který se zaplatí již v 11. roce. [25]

$$CF_t = V_a - N_a - IN + U - N_U - D_Z - S$$

$$D_Z = (V_a - N_a - N_O - N_U \mp P, O) * dz$$

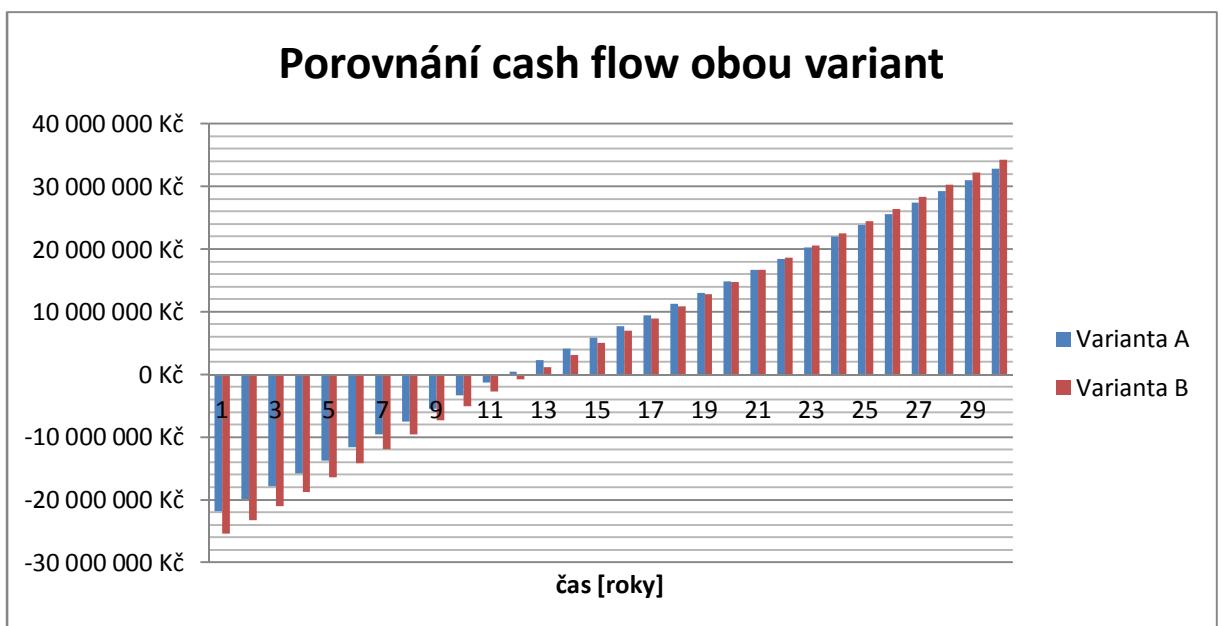




Graf 5.2-1 Cash flow varianty B

### 5.3 Porovnání obou variant

Graf 5.3-1 zobrazuje porovnání obou variant z pohledu hotovostních toků. Jak je z něj patrné, varianta B má o rok delší dobu splatnosti, ale přinese vyšší celkový zisk. To je způsobeno vyššími výnosy, protože přidáním turbíny typu Semi-Kaplan vyrobí elektrárna každý rok o 78 MWh více energie.



Graf 5.3-1 Porovnání cash flow obou variant

	Varianta A	Varianta B
<b>Investiční náklady</b>	23 676 660 Kč	27 423 416 Kč
<b>Maximální elektrický výkon</b>	210 kW	210 kW
<b>Množství energie vyrobené za rok</b>	722 MWh	800 MWh
<b>Roční výnos za energii prodanou do sítě</b>	2 262 098 Kč	2 506 480 Kč
<b>Roční náklady na provoz</b>	125 000 Kč	185 000 Kč
<b>Doba prosté návratnosti</b>	11 let	12 let
<b>Diskontovaná doba návratnosti</b>	20 let	22 let
<b>Čistá návratová hodnota</b>	5 554 544 Kč	4 690 947 Kč
<b>Vnitřní výnosové procento</b>	9%	9%
<b>Celkový výnos po 30 letech</b>	32 858 014 Kč	34 260 193 Kč

**Tabulka 5.3-1** Porovnání obou návrhů

Na základě ekonomických hledisek by mohly být pro realizaci doporučeny obě varianty. I přes vyšší celkový výnos vychází téměř ze všech hledisek varianta B jako méně výhodná. Je třeba také brát v potaz, že v případě varianty A bude nutné provádět údržbu pouze jednoho soustrojí, budova MVE bude moci být menší a v obdobích malých průtoků elektrárna nepoběží, proto bude v korytě řeky stále dostatek vody. Proto volím variantu A jako vhodnou pro realizaci.

Záleží však také na pohledu a možnostech investora. Většina drahých částí MVE má vysokou teoretickou životnost a rozdíl v celkovém výnosu bude po uvažovaných 30 letech růst každých 5 let o cca 1 000 000 Kč ve prospěch varianty B.

V případě, že nebude investor schopen zaplatit investiční náklady varianty A ze svých finančních prostředků, může využít úvěru na část nákladů, nebo dokonce na celé náklady. Pro výpočet jsem využil opět finanční kalkulačtor na [tzb-info.cz](http://tzb-info.cz) a úvěrovou kalkulačku na internetových stránkách České Spořitelny, a.s. Zde jsem zjistil hodnotu roční úrokové sazby 12,1 % a zvolil dobu splácení 5 let. Po dosazení těchto hodnot jsem zjistil, že maximální výše úvěru, kdy bude mít investice stále smysl, je částka 5 000 000 Kč. Tím by vzrostla prostá doba návratnosti na 14 let, diskontovaná doba návratnosti na 30 let a vnitřní výnosové procento by kleslo na 7 %. Pro vyšší částku klesá vnitřní výnosové procento do záporných čísel a diskontovaná doba návratnosti překračuje životnost 30 let. [25] [32]

## Závěr

V prvních dvou kapitolách jsem se zabýval běžnými i neobvyklými vodními motory použitelnými pro velmi malé spády, které jsou v současnosti běžně dostupné na trhu či jsou ve stádiu vývoje. Uvedl jsem i některá další zařízení nezbytná pro chod MVE, např. generátory a převodovky.

Následující třetí kapitola popisuje lokalitu, kterou jsem zvolil pro svůj návrh MVE. Uvedl jsem hydrologická data říčního profilu a vypočítal hydroenergetický potenciál pro mnou zvolený návrhový průtok následovaný volbou turbín společně s výpočtem maximálních dosažitelných výkonů. Zvolil jsem dvě varianty využití potenciálu dané lokality, variantu A s jednou turbínou typu Kaplan s velkou hltností a variantu B, kde je použita tatáž turbína v kombinaci s turbínou o malé hltnosti typu Semi-Kaplan.

Kapitola čtvrtá obsahuje popis strojních zařízení, stavebních a montážních prací společně s dalšími doprovodnými náklady nezbytnými k realizaci MVE pro vyčíslení celkových nákladů pro jednotlivé varianty. Kapitola dále obsahuje výpočet vodního kanálu a rybího přechodu.

V závěrečné kapitole jsem vypočítal celkové roční výnosy při prodeji vyrobené elektřiny do rozvodné sítě za pevně stanovenou výkupní cenu a na základě této hodnoty a nákladů z předchozí kapitoly jsem zhodnotil výhodnost návrhu na základě několika ekonomických hledisek. Z vyhodnocení výsledků v této kapitole lze konstatovat, že obě varianty jsou výhodné, varianta A však z několika hledisek vychází lépe, a proto jsem ji zvolil jako projekt vhodný pro realizaci. Pro MVE v dané lokalitě tedy navrhuji soustrojí s Kaplanovo turbínou AD 3 – 178 od firmy CINK Hydro Energy k.s., která bude ročně dodávat do sítě vysokého napětí celkové množství elektrické energie 722 MWh s finančním výnosem 2 262 098 Kč a s ročními náklady 125 000 Kč. Investiční náklady na tuto variantu dosahují částky 23 676 660 Kč. Podmínkou ovšem je, že bude mít investor dostatek vlastních finančních prostředků pro pokrytí investičních nákladů, protože pokud bude použit úvěr na částku větší než 5 000 000 Kč, nebude již investice výhodná. V tom případě bude lepší provést jiný návrh, lze zvolit menší průtok a ušetřit jak na ceně turbíny, tak na stavbě náhonu. Případně lze využít původní náhon pro rybí přechod, což by znamenalo další ušetření.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003, 175 s. ISBN 80-889-0545-1.
- [2] ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.: vodní elektrárny*. 2. vyd., přeprac. V Plzni: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2000, 126 s. ISBN 80-708-2675-4.
- [3] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 271 s. ISBN 80-200-0828-4.
- [4] Ministerstvo životního prostředí [online]. 2008-2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz>
- [5] Energetický regulační úřad [online]. 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/>
- [6] Abeceda malých vodních pohonů [online]. 2001 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz>
- [7] CINK Hydro – Energy k.s. - *Vodní turbíny a MVE* [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://cink-hydro-energy.com/cs>
- [8] DUMAT soukromý podnik v.o.s. - *Technologické celky* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.dumat.cz>
- [9] P&S a.s. - *Vodní turbíny a čistící stroje české* [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.p-s.cz>
- [10] GESS-CZ, s.r.o. - *Malé vodní elektrárny* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.gess.cz>
- [11] ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o. - *Vodní turbíny* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.ckdsh.cz/cs/>
- [12] HYDROHROM, s.r.o. - *Vodní turbíny* [online]. 2000 - 2010 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.hydrohrom.cz>
- [13] MAVEL a.s. - *Vodní elektrárny* [online]. 2005 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.mavel.cz/home.html>
- [14] Strojírny Brno a.s. - *Vodní turbíny a hydro-mechanická zařízení* [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.strojirnybrno.cz/index.php?jazyk=cz&id=uvod>
- [15] Ziromont s.r.o. [online]. 2002 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.ziromont.cz>

- [16] EXMONT-Energo a.s. [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.exmont.cz>
- [17] OSSBERGER GmbH + Co [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.ossberger.de/cms/en/home/>
- [18] Wikipedie - *Internetové encyklopedie* [online]. 2014 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní\\_strana](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana)
- [19] Vodní kola [online]. 2009 - 2012 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.vodnikola.cz/index.html>
- [20] Wikov MGI a.s. [online]. 2014 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.wikov.cz/cz/>
- [21] Konstrukterům turbín se v Brně daří. *Česká televize* [online]. 24.11.2011 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-brno/zpravy/154394-konstrukterum-turbin-se-v-brne-dari/>
- [22] TES VSETÍN, s.r.o. [online]. Rok vydání neuveden [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.tes.cz>
- [23] Ševčík - vodohospodářská zařízení s.r.o. [online]. 2003 - 2010 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sevcik-vz.cz>
- [24] Bezlopatková odvalovací turbína. *Akademie věd České republiky* [online]. 16.8.2011 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://press.avcr.cz/sd/novinky/hlavni-stranka/110816-bezlopatkova-odvalovaci-turbina.html>
- [25] Tzb-info [online]. 1.1.2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [26] Účetní kavárna [online]. Wolters Kluwer, a.s., 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.ucetnikavarna.cz>
- [27] Siemens s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/answers/cz/cz/>
- [28] KOVOSVIT MAS, a.s. [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/>
- [29] PYTLÍK, Ondřej. *Posouzení možnosti stavby malé vodní elektrárny*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. ZČU FEL.
- [30] České stavební standardy [online]. 2014 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.stavebnistandardy.cz/default.asp?ID=1>
- [31] *Operační program životního prostředí* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.opzp.cz>
- [32] Česká spořitelna a.s. [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <https://www.csas.cz>

## Seznam tabulek a obrázků

<b>Graf 3.2-1</b>	M-denní průtoky ( $Q_{Md}$ )	strana 32
<b>Graf 3.3-1</b>	Pracovní oblast turbíny ve variantě A	strana 35
<b>Graf 3.3-2</b>	Pracovní oblast turbín ve variantě B	strana 37
<b>Graf 5.1-1</b>	Cash flow varianty A	strana 49
<b>Graf 5.2-1</b>	Cash flow varianty B	strana 52
<b>Graf 5.3-1</b>	Porovnání cash flow obou variant	strana 52
<b>Obrázek 1.1-1</b>	Turbína typu Ossberger	strana 13
<b>Obrázek 1.1-2</b>	Pohled do turbíny typu Kaplan	strana 14
<b>Obrázek 1.1-3</b>	Schéma vrtulové turbíny s obtékaným diskovým generátorem	strana 16
<b>Obrázek 1.3-1</b>	Synchronní generátor s hladkým rotorem v horizontálním provedení firmy TES Vsetín s.r.o.	strana 21
<b>Obrázek 1.4-1</b>	Čistící stroj česlí MVE Hradiště	strana 23
<b>Obrázek 2.1-1</b>	Šroubová turbína v ocelovém žlabu	strana 25
<b>Obrázek 2.2-1</b>	Princip vírové turbíny Franze Zotlöterera	strana 26
<b>Obrázek 2.2-2</b>	Vírová turbína v provozu u Ober-Grafendorfu	strana 26
<b>Obrázek 2.3-1</b>	Zuppingerovo kolo	strana 28
<b>Obrázek 2.3-2</b>	Korečkové vodní kolo s obráceným chodem	strana 29
<b>Obrázek 2.4-1</b>	Princip turbíny Setur	strana 30
<b>Obrázek 3.1-1</b>	Pohled na lokalitu na mapě	strana 31
<b>Obrázek 4-1</b>	Pohled na stávající náhon vypuštěný kvůli čištění	strana 38
<b>Obrázek 4.1-1</b>	Nákres budovy pro přímoproudou Kaplanovu turbínu bez čistícího stroje česlí, zleva stavidlo, odpuzovač ryb a jemné česle	strana 39
<b>Obrázek 4.1-2</b>	Nákres vodního kanálu	strana 41
<b>Obrázek 4.1-3</b>	Peřejový rybí přechod v Plzni – Hradišti	strana 43
<b>Tabulka 1.2-1</b>	Nabídka převodovek pro MVE firmy Wikov MGI a.s.	strana 18
<b>Tabulka 1.3-1</b>	Přehled otáček a počtu magnetických dvojic elektromotorů	strana 19
<b>Tabulka 1.3-2</b>	Parametry motorů firmy TES VSETÍN s.r.o.	strana 21
<b>Tabulka 2.3-1</b>	Porovnání parametrů vodních kol	strana 28
<b>Tabulka 3.2-1</b>	M-denní průtoky ( $Q_{Md}$ )	strana 32
<b>Tabulka 3.3-1</b>	Závislost účinnosti na plnění turbíny Kaplan	strana 34
<b>Tabulka 3.3-2</b>	Výpočet vyrobené energie	strana 35
<b>Tabulka 3.3-3</b>	Závislost účinnosti na plnění turbíny Semi-Kaplan	strana 36
<b>Tabulka 3.3-4</b>	Výnos energie varianty B	strana 37
<b>Tabulka 4.1-1</b>	Celkové náklady – varianta A	strana 43
<b>Tabulka 4.2-2</b>	Celkové náklady – varianta B	strana 44
<b>Tabulka 5.1-1</b>	Přehled cen pro výkup elektřiny z MVE podle cenového rozhodnutí ERÚ č.4/2013	strana 45
<b>Tabulka 5.2-1</b>	Porovnání nákladů a výnosů obou variant	strana 50
<b>Tabulka 5.3-1</b>	Porovnání obou návrhů	strana 52